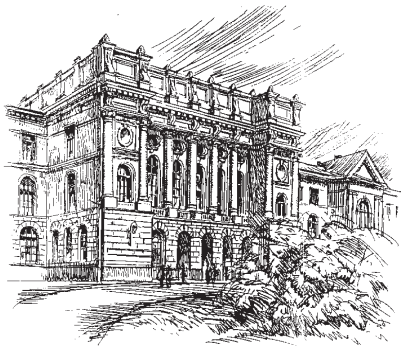
3(106)/2010



Научно-технические ведомости СПбГПУ

НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета

Министерство образования и науки РФ
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ СПбГПУ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Васильев Ю.С., академик РАН (председатель); *Алферов Ж.И.*, академик РАН;
Костюк В.В., академик РАН; *Лопота В.А.*, чл.-кор. РАН;
Окрепилов В.В., чл.-кор. РАН; *Патон Б.Е.*, академик НАН Украины и РАН;
Рудской А.И., чл.-кор. РАН; *Федоров М.П.*, чл.-кор. РАН;
Фортов В.Е., академик РАН.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Васильев Ю.С., академик РАН (главный редактор); *Арсеньев Д.Г.*, д-р техн. наук, профессор;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор (зам. гл. редактора);
Боронин В.Н., д-р техн. наук, профессор; *Глухов В.В.*, д-р экон. наук, профессор;
Дегтярева Р.В., д-р ист. наук, профессор; *Иванов А.В.*, д-р техн. наук;
Иванов В.К., д-р физ.-мат. наук, профессор; *Козловский В.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор;
Рудской А.И., чл.-кор. РАН (зам. гл. редактора); *Юсупов Р.М.*, чл.-кор. РАН.

СЕРИЯ «НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ СЕРИИ

Васильев Ю.С., академик РАН — председатель;
Арсеньев Д.Г., д-р техн. наук, профессор;
Башкарев А.Я., д-р техн. наук, профессор;
Глухов В.В., д-р экон. наук, профессор;
Козлов В.Н., д-р техн. наук, профессор;
Рудской А.И., д-р техн. наук, профессор;
Федотов А.В., д-р экон. наук, профессор.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Васильев Ю.С., академик РАН — председатель;
Акопова М.А., д-р пед. наук, профессор;
Боронин В.Н., д-р техн. наук, профессор — зам. председателя;
Дегтярева Р.В., д-р ист. наук, профессор — зам. председателя;
Иванов А.В., д-р техн. наук;
Ильин В.И., д-р физ.-мат. наук, профессор;
Кузнецов Д.И., д-р филос. наук;
Матенев О.А., технический секретарь;
Снетков В.Н., д-р юр. наук, профессор.

Журнал выходит под научно-методическим руководством Российской академии наук с 1995 года.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Журнал издается в пяти сериях:

Наука и образование;
Физико-математические науки;
Экономические науки;
Информатика, телекоммуникации, управление;
Гуманитарные и общественные науки.

Журнал зарегистрирован в Госкомпечати РФ. Свидетельство № 013165 от 23.12.94.

Подписной индекс **18390** в каталоге «Газеты. Журналы» агентства «Роспечать».

Журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки на сайте http://www.elibraru.ru.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции и издательства: Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
Тел. редакции серии (812) 294-47-72.

© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2010

Содержание

Энергетика и электротехника

Соловьев Ю.В., Таджибаев А.И. *Анализ изменения аэродинамических и прочностных свойств изолированных проводов линий электропередачи в условиях эксплуатационных нагрузок* 9

Сухичев М.И., Титков В.В. *Тепловые процессы в шинах электроустановок* 14

Платонов И.Д., Лапидус А.А. *Критерии проявления шунтирующего эффекта асинхронных электродвигателей в сети 0,4 кВ* 21

Туапетел Дж.В. *Влияние вторичных течений газа в межлопаточных каналах на потери кинетической энергии в турбинной ступени* 27

Белько В.О., Емельянов О.А. *Работоспособность сегментированных электродов современных металлопленочных конденсаторов* 32

Осипов А.В., Голушко А.Н., Бирюков А.В. *Повышение эффективности работы парциального отсека паровой турбины благодаря физическому и численному моделированию* 40

Конищев М.А. *Совместная работа ГЭС и ВЭС в составе энергокомплекса с гидравлическим аккумулированием энергии* 45

Боровков В.М., Михайлов С.А. *Распределение затрат на ремонт по структурным подразделениям генерирующих компаний* 52

Беседин С.Н., Окунев Е.И., Рассохин В.А. *Микротурбинный генератор электрической мощностью 100 кВт (МТГ-100)* 57

Боровков В.М., Скулкин С.В. *Эксергетический анализ тепловой схемы индивидуального теплового пункта на стадии проектирования* 61

Машиностроение

Пухова О.В. *Энергетически эффективные грузовые платформы в автоматизированных линиях по пакетированию грузов* 67

Кожубаев Ю.Н., Прокофьев О.В., Филимонов В.И. *Моделирование поточно-транспортной системы ленточных конвейеров* 73

Смирнов В.Н., Никитин С.В. *Логистическая модель исследований волновых процессов* 78

Яскевич Л.Ф. *Расчет индивидуальной подвески гусеничной машины с наилучшей плавностью хода* . 85

Русинов Р.В., Шеломов В.Б., Добрецов Р.Ю. *Эффективность теплового цикла быстроходного дизеля с предельно высокой степенью сжатия* 92

Сюсюка Е.Н. *Повышение точности обработки поверхностей катания опорных узлов цементных печей на базе шагового привода* 96

Загороднев Д.И., Санакулова Л.А., Симонова Л.А. *Оптимизация материальных потоков в распределенной системе управления машиностроительного предприятия на основе эвристических алгоритмов* 101

Смирнов В.Н., Баженов А.А. , Сапунова Т.В. *Расчет поля напряжений в сыпучем грузе на рабочем полотне крутонаклонного конвейера с перегородками* 107

Андронов А.А. *Разработка системы показателей эффективности эксплуатации транспортных и технологических машин лесного хозяйства* 111

Латышенок, М.Б., Шемякин А.В., Тараканова Н.М., Конов И.В. *Теоретическое обоснование конструкции универсального моечного устройства абразивно-кавитационного действия* 114

Обработка металлов

Виторский Я.М., Рудской А.И. , Шаболдо О.П. *Особенности тёплой деформации жаропрочного ниобиевого сплава марки ЛН-1 при прокатке* 119

Кольцова Т.С., Насибулин А.Г., Толочко О.В. *Новые гибридные композиционные материалы: медь—углеродные нановолокна* 125

Материаловедение

Галимов Э.Р., Маминов А.С., Беляев А.В. *Определение механических свойств сварных соединений методом мультифрактального анализа* 131

Жарин Д.Е, Шафигуллин Л.Н., Симонова К.В. *Звукопоглощающие термореактивные матричные композиционные материалы* 134

Башенко В.В., Шаронов Н.И. *Особенности электронно-лучевой сварки прессованно-штампованных алюминиевых сплавов* 139

Шаронов Н.И. *Применение электронно-лучевой сварки в турбостроении* 143

Дрокина В.В. *Особенности конструирования литейных форм, получаемых методом трехмерной печати, при производстве алюминиевых отливок* 149

Экология

Боголепов И.И., Лаптева Н.А. *Шумовая карта города: проблемы и решения* 153

Кузеванов В.Я., Сизых С.В. *Экологические ресурсы ботанических садов: связь биоразнообразия и общества* 161

Филимонов А.А. *Развитие экономики и проблема безопасности биологических ресурсов стран БРИК* ... 170

Овсянникова С.В. *Загрязнение окружающей среды и динамика показателей содержания тяжелых металлов в почвах (на примере Кемеровской области)* 181

Плахова Л.В., Вишневская Н.Л. *Проблемы организации контроля и оценки безопасности наноматериалов и нанотехнологий для окружающей среды* 185

Вишневская Н.Л., Сивак Е.Ю., Чернышева В.М. *Водоснабжение промышленного города и здоровье детского населения* 188

Уманец В.Н. *Вероятностная оценка геоэкологического риска загрязнения геосфер отходами ЖКХ* 191

Моделирование. Математические методы

Наумов И.В. *Среднее горизонтальное перемещение упругого полупространства под прямоугольной областью нагружения от касательной нагрузки* 197

Барышников С.О., Куликов С.А. *Повышение точности выполнения технологических операций в судоремонте промышленным роботом* 201

Аврунин А.С., Мельников Б.Е., Паршин Л.К., Тихилов Р.М., Шубняков И.И. *О физической природе жесткости и прочности костной ткани* 205

Антонова О.В., Боровков А.И. *Методика расчёта гидродинамического состояния подпятников гидрогенераторов* 210

Цаплин А.И., Бочкарев С.В. *Математическая модель подачи сжиженного природного газа в двигатель* 216

Вопросы образования

Нурулин Ю.Р., Скворцова И.В., Нурулин Д.Ю. *Анализ методов открытых инноваций в политехническом университете* 221

Виноградова Е.Б., Мудрова Е.Б. *Перспективы подготовки научно-педагогических кадров университета* 226

Казаков В.А., Бареева Р.З., Сайфетдинова М.К. *Роль производственной практики в формировании профессиональных навыков спасателей* 231

Кашеваров А.Н. *О некоторых тенденциях в современной публицистике и научно-популярной литературе при освещении церковной жизни в годы Великой Отечественной войны* 236

Аладышкин И.В. *Образ «Единственного...» в советской историографии* 244

Тебряев А.А. *О понятии «правопреемство» как категории гражданского права* 251

Хроника событий

Рудской А.И., Морачевский А.Г. *Академик Александр Александрович Байков (к 140-летию со дня рождения)* 255

Александров С.Е., Морачевский А.Г. *Академик Николай Семенович Курнаков (к 150-летию со дня рождения)* 258

Аладышкин И.В. *Политехники в годы блокады. Часть 2: Протоколы заседаний партбюро ВКП(б) и открытых партсобраний ЛПИ (Из материалов Центрального государственного архива историко-политических документов)* 261

Боголепов И.И. Мой жизненный путь 270

Сведения об авторах, контактные данные 273

Аннотации, ключевые слова 280

Contents

Power engineering and electrical engineering

Solovyev Y.V., Tadzhibaev A.I. *Behavior of aerodynamic and strength characteristics of covered conductors under influence of service factors* 9

Sukhichev M. I., Titkov V. V. *Advanced thermal diagnosis of electrical contacts* 14

Platonov I. D., Lyapidus A.A. *Criteria of display of shunting effect of asynchronous electric motors in the network 0,4 kv* 21

Tuapetel J.V. *nfluence of secondary gas flows in passages of blades to kinetic energy loss in turbine stage* 27

Belko V. O, Emeljanov O. A. *working capacity of the segmented electrodes modern металлопленочных condensers* 32

Osipov A.V., Golushko A.N., Biryukov A.V. *Using the physical and numerical modelling for improvement the effectiveness of partial steam turbine compartment* 40

Konishchev M.A. *Joint operation Wind and hydro power stations in hybrid system with hydro energy storage* 45

Borovkov V.M, Mihajlov S.A. *Distribution of expenses to repair on structural divisions of the generating companies* 52

Besedin S.N., Okunev E.I., Rassokhin V.A. *Microturbine generator of power of 100 kW (MTG-100)* 57

Borovkov V.M., Skulkin S.V. *Exergic analysis of the thermal scheme of individual heat point on the design stage* 61

Mechanical engineering

Pukhova O.V. *Energy efficiency lifting platform for automatic palletizing equipment* 67

Kozhubaev U.N., Prokofiev O.V., Filimonov V.I. *Thread-transport band system simulation* 73

Smirnov V. N, Nikitin S.V. *Logistical model of researches of wave processes* 78

Yaskevich L.F. *Calculation of individual caterpillar suspension with the best running smoothness* 85

Rusinov R.V., Shelomov V. B, Dobretsov R. Yu. *To definition the engine capacity and the slipping frictional shifting elements capacity on the track-laying vehicle turn* 92

Sjusjuka E.N. *Increase of accuracy of processing of driving surface basic knots of cement furnaces on the basis of the step-by-step drive* 96

Zagorodnev D.I., Sanakulova L.A., Simonova L.A. *Optimization of material streams on the basis of heuristic algorithms in the distributed control system of a company for mechanical engineering* 101

Smirnov V.N., Bazhenov A.A., Sapunova T.V. *Calculation of stress field in bulk materials at work fabrics steeply inclined conveyor walls* 107

Andronov A.A. *System engineering of indicators ef-fektivnosti of operation transport and technologists-chesky of cars of the forestry* 111

Latyshonok M. B., Shemjakin A.V., Tarakanova N.M., Konov I.V. *Theoretical substantiation of a design of the universal washing device of abrazivno-cavitational action* 114

Processing of metals

Vitorsky Ia.M., Rudskoy A.I., Shaboldo O.P. *Hot-cold deformation features of creep-resisting niobium alloy LN-1 during the rolling* 119

Koltsova T.S., Nasibulin A.G., Tolochko O.V. *New hybrid composite materials: copper — carbon nanofibers* 125

Science of materials

Galimov E.R., Maminov A.S., Belyaev A.V. *Determination of mechanical properties of welded connections by the multifractal analysis method* 131

Zharin D.E., Shafigullin L.N., Simonova K.V. *Sound-proof thermojet matrix composite materials* 134

Bashenko V. V, Sharonov H. And. *Features of electron beam welding of ressed no-stamped aluminium alloys* 139

Sharonov N.I. *Application of electron beam welding in turbine construction* 143

Drokina V.V. *Features of designing of the casting moulds received by a method of the three-dimensional press, by manufacture aluminium castings* 149

Ecology

Bogolepov I.I., Lapteva N.A. *Noise map of the city — yesterday, today, tomorrow* 153

Kuzevanov V. Ya., Sizykh S.V. *Ecological resources of botanical gardens: biodiversity and society communication* 161

Filimonov A.A. *Development of economy and safety of bric countries genetic diversity* 170

Ovsyannikova S.V. *Environmental contamination and dynamics of indicators of the maintenance of heavy metals in soils (on an example of the Kemerovo region)* 181

Plakhova L.V., Vishnevskaya N.L. *Problems of monitoring and evaluation of safety nanomaterials and nanotechnology in environmental health* 185

Vishnevskaya N.L., Sivak E, Chernyshova V.M. *Water supply of the industrial city and health of children* 188

Umanets V.N. *Probabilistic estimation geoecological risk of pollution of geospheres departure Housing-public facilities (HPF)* 191

Modelling. Mathematical methods

Naumov I.V. *Average horizontal moving of elastic semispace under rectangular area нагружения from a loading tangent* 197

Baryshnikov S.O., Kulikov S.A. *Technological operations precision raise to industrial robot in ship repair* 201

Avrunin A.S., Melnikov B.E., Parshin L.K., Tihilov R. M., Shubnjakov I.I. *About the physical nature of rigidity and durability of a bone fabric* 205

Antonova O.V., Borovkov A.I. *Design procedure of a hydrodynamic condition step-bearings hydrogenerators* 210

Tsaplin A.I., Bochkarev S.V. *Development of mathematical model of liquefied natural gas supply to the engine* 216

Education issues

Nurulin Y.R., Skvortsova I.V., Nurulin D.Y. *The analysis of methods of open innovations at polytechnical university* 221

Vinogradova E.B., Mudrova E.B. *Prospects of preparation of scientific and pedagogical shots of university .* 226

Kazakov V. A, Bareeva R. Z, Sajfetdinova M. K. *Rescues' professional skills shaping in process of practical training* 231

Kashevarov A.N. *About some tendencies of the contemporary journalism and popular scientific literature in the review of church life during the World War II* 236

Aladyshkin I.V. *The image «The only thing ...» in the soviet historiography* 244

Tebriaev A.A. *About notion «succession» as categories of the civil right* 251

Chronicle of events

Rudskoj A.I., Morachevskij A.G. *Academician Alexander Aleksandrovich Baykov (To the 140 anniversary from the date of a birth)* 255

Aleksandrov S.E., Morachevskij A.G. *Academician Nikolay Semenovich Kurnakov (To the 150 anniversary from the date of a birth)* 258

Aladyshkin I.V. *Polytechnicals in days of blockade. The part 2: Reports of sessions of party bureau C.P.S.U.(B.) and open Communist Party meetings LPI (From materials of the Central state archive of history -political documents)* 261

Bogolepov I.I. *My course of life* 270

About the authors, contact information 273

Abstracts, key words 280

УДК 621.315.17

Ю.В. Соловьев, А.И. Таджибаев

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

В электрических сетях 35 кВ и ниже все шире внедряются линии с изолированными проводами и полимерными конструкциями [1].

Исследования в области обеспечения надежности электрических сетей и линий электропередачи (ЛЭП) уже проводились как российскими, так и зарубежными учеными [2, 3, 4], однако применительно к линиям с изолированными проводами — в недостаточной мере. Статистические данные о повреждаемости свидетельствуют, что вместе с ростом протяженности таких линий растет объем отказов в их работе и повреждений по неустановленным причинам, что говорит о недостаточной изученности условий возникновения и развития дефектов при воздействиях эксплуатационных факторов.

Анализ состояния оборудования сетей и ЛЭП 35 кВ и ниже показал, что более половины отказов на линии связано с повреждениями проводов и узлов их крепления, которые оказались наиболее уязвимыми элементами. Вместе с тем из всего объема повреждений более 40 % произошло по неустановленным причинам. Это связано с неизученностью механизмов зарождения и развития дефектов в этих проводах в условиях воздействия эксплуатационных факторов, что требует внесения коррективов и уточнений в существующие модели и математический аппарат для исследования неизолированных проводов [5].

Разработка моделей и математического аппарата, который бы учитывал влияние эксплуатационных нагрузок на техническое состояние (ТС) изолированных проводов, позволит в дальнейших исследованиях определить ресурсные показатели сетей и ЛЭП с такими проводами, а также обеспечить решение задачи управления ТС сетевых предприятий.

В статье предлагается модель колебаний одиночного изолированного провода (однофазного исполнения) в пролете линии рассматриваемого класса напряжения в условиях гололедно-ветровой нагрузки, приводящей к возникновению опасных вибраций, которую можно использовать для анализа влияния аэродинамических свойств провода на ТС. Изолированный провод рассматривается в качестве системы с распределенными параметрами, и математическое описание его колебаний производится на основании дифференциальных уравнений в частных производных, в которых отклонение произвольной точки провода от равновесного положения является функцией координаты этой точки и времени. Новизна модели связана с учетом эксплуатационных факторов, аэродинамических характеристик изолированного провода, а также свойств линейной арматуры и конструкций, несущих механическую нагрузку. Учет различных факторов и связей между ними позволил сформировать общее дифференциальное уравнение, определяющее характер колебаний изолированного провода:

$$\gamma EI\frac{\partial^4 u}{\partial l^4}+\gamma\left[T_{\text{ср}}+\frac{EF}{2(L+EF)}\int_0^L(\frac{\partial u}{\partial l})^2 dl\right]\frac{\partial^2 u}{\partial l^2}+$$

$$+(\mu+\rho_p)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\gamma e\frac{\partial u}{\partial t}=f_p(l,t), \qquad (1)$$

где EI — жесткость провода на изгиб; EF — жесткость провода на растяжение; $u=u(l,t)$ — поперечное смещение провода от положения равно-

весия; l — линейная координата вдоль провода; L — длина пролета между опорами; ρ_p — масса единицы длины провода; μ — присоединенная масса единицы длины провода; $T_{ср}$ — величина среднего натяжения провода в положении равновесия; γ — коэффициент, учитывающий свойства линейной арматуры; e — коэффициент демпфирования; $f_p(l, t)$ — внешняя нагрузка.

Из формулы (1) можно заключить, что характер изменения состояния провода определяется рядом факторов: величиной натяжения изолированного провода в пролете между опорами с учетом выполнения требований по монтажу, климатических условий (температурные изменения, гололедные отложения, ветровая нагрузка и т. д.); значениями параметров жесткости провода на изгиб и растяжение, зависящих от характеристик и свойств материалов токоведущей жилы и защитной полимерной оболочки, процессы старения в которых при эксплуатации зачастую не учитываются; качеством и свойствами применяемой линейной арматуры и полимерных конструкций, несущих механическую нагрузку; значением коэффициента демпфирования, зависящего от свойств материалов, конструкции провода и величины его натяжения. Внешняя нагрузка на провод в правой части (1) может быть представлена модулем суммарного вектора, проекции которого на продольную и поперечную оси провода представляют собой соответственно силу лобового сопротивления провода (X) и боковую силу (Y). В свою очередь каждая из этих сил может быть представлена как сумма двух составляющих: $X_{ср} + \Delta X$ и $Y_{ср} + \Delta Y$, где $X_{ср}$ и $Y_{ср}$ — средние значения сил X и Y, соответствующие заданному углу атаки, а ΔX и ΔY — переменные составляющие сил X и Y, которые в общем случае есть сложные функции времени и частоты. Переменные составляющие сил ΔX и ΔY — источник вибрации провода, причем между данными силами и деформациями провода возникает обратная связь, что позволило определить безразмерные коэффициенты, отражающие зависимость характера нагрузки от геометрических параметров провода:

$$c_x = \frac{2\Delta X}{dV_0^2}; \quad c_y = \frac{2\Delta Y}{dV_0^2}, \tag{2}$$

где d — диаметр провода, V_0 — скорость ветра.

Безразмерные параметры c_x и c_y в наиболее опасных условиях возникновения резонансных явлений [6], когда колебания синхронизируют частоту периодической силы с одной из собственных частот колебаний провода, могут превышать двукратное значение, а амплитуда вибрации провода может достигать максимально возможного значения

$$A = \frac{40\, c_y d}{\pi^3 c_x}. \tag{3}$$

Исследования на модели позволили определить характер изменения параметра c_x и амплитуды пульсации натяжения провода от скорости ветра при вибрации. Установлена корреляционная связь (рис. 1) между характером изменения безразмерного коэффициента сопротивления и пульсационной нагрузкой тяжения изолированного провода $T_п$ с диаметром d = 20 мм при переменных ветровых нагрузках. Это позволяет принять безразмерный коэффициент c_x, характеризующий аэродинамические свойства изолированного провода в воздушном потоке, в качестве одного из параметров, определяющих его техническое состояние.

Накопление усталостных напряжений внутри провода приводит к снижению его прочностных характеристик, которые служат основным критерием для определения фактической прочности провода при оценке его ТС согласно [7].

В условиях возникновения резонансных явлений безразмерный коэффициент c_x при небольших длинах пролета ЛЭП определяется следующим образом:

$$c_x = c_{x0}\left[1 + 25\left(\frac{d^2}{\mu + \rho_p}\right)^2\right], \tag{4}$$

где c_{x0} — коэффициент сопротивления провода при отсутствии вибрации; d, μ, ρ_p — обозначенные выше конструктивные параметры.

Переменные напряжения, вызываемые вибрацией провода, связаны с его изгибом и удлинением в процессе колебаний. Максимальные изгибные напряжения при вибрации возникают в узлах крепления провода к опорной конструкции. При определении напряженного состояния провода с целью выявления дефектов на ранней стадии развития необходимо принимать во внимание конструктивные особенности провода с учетом свойств полимерных материалов защитной оболочки. При определении максимальных

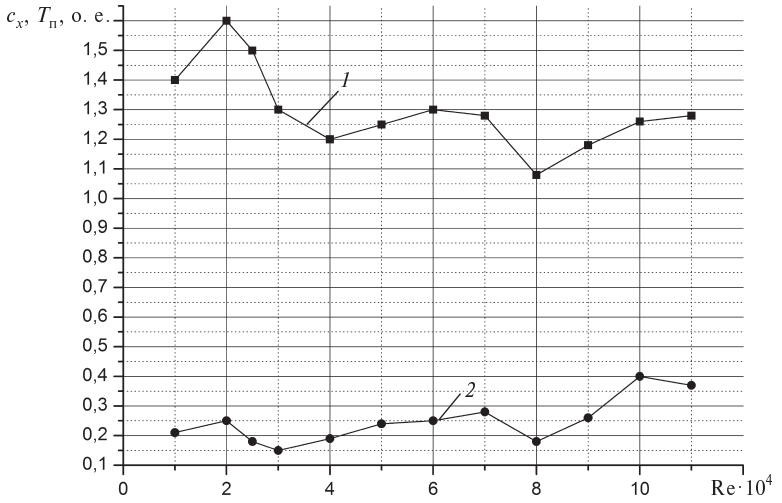


Рис. 1. Коэффициент сопротивления и пульсационная нагрузка на изолированном проводе в зависимости от числа Рейнольдса $\mathrm{Re} = Vd/\upsilon$, где V — скорость ветра, м/с; d — диаметр провода; υ — кинематическая вязкость воздуха, м^2/с

напряжений на изгиб для изолированного провода используется следующее выражение:

$$\sigma_{ри} = \frac{\pi A_n E d}{2\lambda_n \chi \psi}\sqrt{\frac{T}{E_* I}};$$

$$\lambda_n = \frac{L}{n}, \qquad (5)$$

где E — модуль упругости материала токоведущей жилы; I — момент инерции площади сечения; E_* — приведенный модуль площади сечения, не совпадающий с модулем упругости материала жилы с учетом защитной полимерной оболочки; χ — коэффициент, учитывающий свойства линейной арматуры и узлов крепления провода; ψ — коэффициент, учитывающий механические свойства полимерного материала защитной оболочки; A_n — амплитуда вибрации по (3) с учетом (4); λ_n — длина полуволны n-й формы колебаний; L — длина пролета.

Максимальные растягивающие напряжения при нулевой податливости опор приближенно вычисляются по формуле

$$\sigma_{рр} \approx E\frac{\pi^2}{8\lambda_n}A_n^2. \qquad (6)$$

Для определения коэффициентов, учитывающих механические свойства полимерного материала защитной оболочки изолированного провода на изгиб и растяжение в уравнениях (5) и (6), проведено дополнительное исследование ресурсных показателей полимера в зависимости от характера приложенной механической нагрузки. На основании положений кинетической теории разрушения полимеров получено соотношение для расчета ресурсных показателей в виде функции эксплуатационных факторов:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right), \qquad (7)$$

где τ_0 — период тепловых колебаний молекул полимера; U_0 — энергия активации процесса разрыва химических связей в отсутствие механического напряжения; γ — структурно-чувствительный коэффициент, зависящий от обработки полимера и от молекулярной и надмолекулярной структуры, ориентации цепи макромолекул, наличия пластификатора; k — постоянная Больцмана; T — температура; σ — механическое напряжение.

Анализ показал, что уравнение (7), полученное на основе классических моделей разрушения полимера, имеет определенные границы применимости: при уменьшении внешнего растягивающего напряжения погрешность определения ресурсных показателей становится недопустимо большой (кривая *1* рис. 2). Принятые уточнения в модели обеспечили более точное совпадение с экспериментальными данными (кривая *2* рис. 2). В уточненной модели для

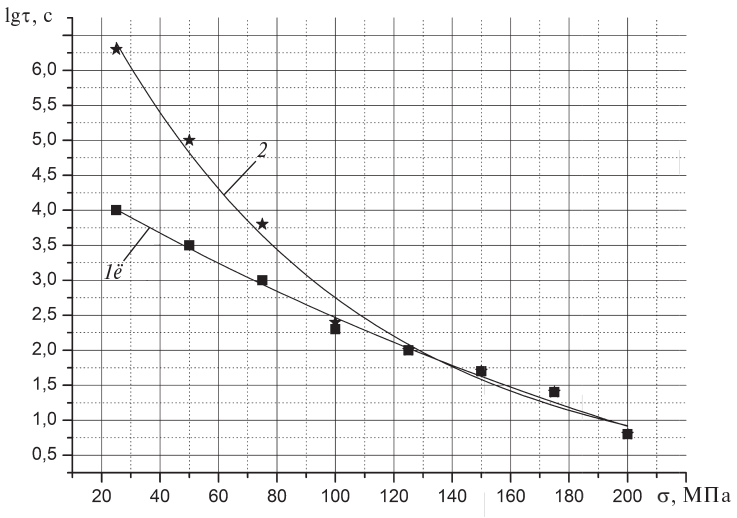


Рис. 2. Зависимости ресурсного показателя материала защитной оболочки изолированного провода (сшитый полиэтилен) от величины растягивающего напряжения согласно классической (*1*) и уточненной (*2*) моделям

материала защитной оболочки из сшитого полиэтилена с целью определения его ресурсных показателей при растягивающих напряжениях получена следующая аппроксимирующая функция:

$$\lg(\tau) = 0,07 + 8,42\exp\left(-\frac{\sigma}{87,4}\right).$$

Исследование изолированных проводов на модели показало существенное влияние на их техническое состояние характера действия переменных механических нагрузок. В частности выявлено, что в условиях переменной механической нагрузки напряженно-деформированное состояние полимерного материала защитной оболочки провода возникает в локальных областях перенапряжения, окружающих неоднородности и дефекты структуры. Переход в такое состояние приводит к случайным термоактивированным процессам перестройки структуры материала под приложенную нагрузку и последующий разрыв связей, ведущий в конечном итоге к образованию трещин (трансформаций нарушений сплошности материала в поле напряжений). При этом происходит разрушение материала и нарушение целостности защитной оболочки провода, что приводит к резкому снижению надежности и ресурсных показателей проводов.

При оценке технического состояния изолированных проводов требуется учитывать показатели стойкости линейной арматуры и узлов крепления к вибрациям. Поэтому в рамках модели рассматриваются два параметра, характеризующие изменение тяжения провода в условиях наиболее опасных вибраций:

$$\gamma = \frac{T_{\max}}{T_{\min}}, \quad \delta\gamma = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_0},$$

$$K_1 = \frac{T_{\min}}{T_0}, \quad K_2 = \frac{T_{\max}}{T_0},$$

где $T_{\max}$, $T_{\min}$ — соответственно максимальное и минимальное тяжение провода; T_0 — начальное тяжение провода при температуре 0 °С и отсутствии ветра. Результаты расчетов коэффициентов для защищенных проводов марки СИП-3 номинальных сечений 50–150 мм^2 при различных начальных тяжениях приведены на рис. 3.

Анализ результатов показал, что относительные изменения максимальных тяжений могут достигать двукратных величин и более. При циклическом воздействии растягивающих нагрузок на провод необходимо учитывать показатели стойкости линейной арматуры. Для удобства оценки показателей выразим усилия T_0, $T_{\min}$, $T_{\max}$ через $P_{\text{разр}}$:

$$K_0 = \frac{T_0}{P_{\text{разр}}}; \quad K_{T_{\min}} = \frac{T_{\min}}{P_{\text{разр}}}; \quad K_{T_{\max}} = \frac{T_{\max}}{P_{\text{разр}}}.$$

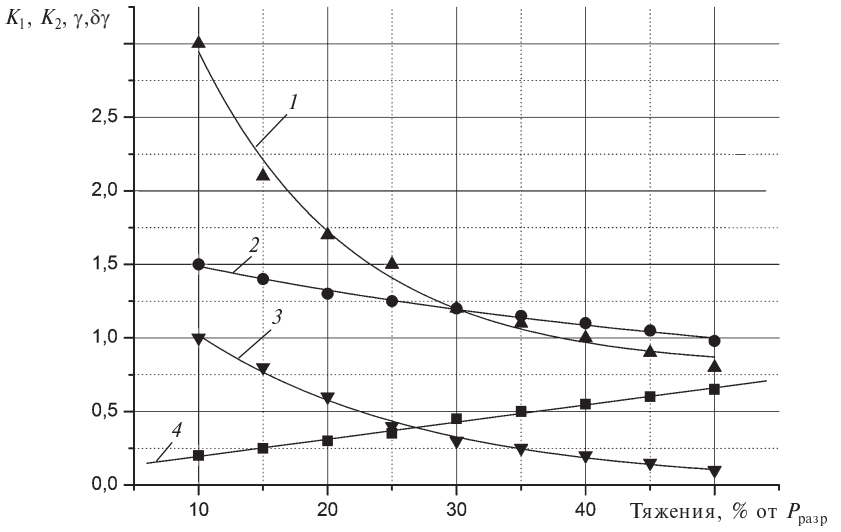


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов γ (*1*), δγ (*2*), K_1 (*3*), K_2 (*4*) от величины тяжения (в % от разрывной нагрузки провода $P_{разр}$ по каталогу)

Анализ данных соотношений показал, что максимальные колебания тяжения лежат в диапазоне нагрузок от 15 до 35 % от $P_{разр}$ при $T_0 = 0{,}25P_{разр}$, это служит критерием оценки стойкости и свойств линейной арматуры и узлов крепления провода. В модели согласно (1) результат оценки учитывается соответствующим коэффициентом при решении задачи о техническом состоянии ЛЭП с изолированными проводами.

Проведен анализ модели изменения аэродинамических и прочностных свойств изолированных проводов в условиях гололедно-ветровых нагрузок, являющихся источником колебаний и опасных вибраций. Обоснованные математические зависимости позволяют учесть следующие факторы при решении задачи оценки технического состояния ЛЭП с изолированными проводами: изменение натяжения провода за счет воздействия гололедно-ветровых и температурных нагрузок; изменения изгибной жесткости, зависящей от свойств материалов токоведущей жилы и защитной оболочки провода; характеристики линейной арматуры и элементов конструкций, несущих механическую нагрузку. Полученные результаты позволят определить ресурсные показатели линий с изолированными проводами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Положение** о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе [Текст] / ФСК ЕЭС.— М., 2006.

2. **Федоров, Ю.Г.** Оценка надежности электрической сети методом имитационного моделирования [Текст] / Ю.Г. Федоров // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 59. Методические и практические проблемы надежности либерализованных систем энергетики. — Иркутск: Изд-во ИСЭМ СО РАН.— 2009.— С. 141–152.

3. **Мисриханов, М.Ш.** Диагностика линий электропередачи с формированием рефлектограмм повышенной разрешающей способности [Текст] / М.Ш. Мисриханов, А.Л. Куликов, Д.М. Кудрявцев, А.А. Петрухин // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 59. Методические и практические проблемы надежности либерализованных систем энергетики. — Изд-во Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. — С. 388–392.

4. **Marinsek, M.** Benefits of integrated informational, geographical and asset management system for power utility networks [Текст] / M. Marinsek, S. Jamsek et al. // CIGRE Paper B2/D2 — 109.— Paris.— 2006.

5. **Сергей, И.И.** Численное моделирование пляски одиночных проводов воздушных ЛЭП [Текст] /

И.И. Сергей, П.И. Климович, Ю.Л. Цветков // Энергетика. Изв. вузов и энергетических объединений СНГ. — 2002. № 3. — С. 3—8.

6. **Dale, J.R.** Flow-Excited Underwater Cable Vibration [Текст] / J.R.Dale, R.A.Holler, G.Goss // Naval Research Reviews.— № 7.— P. 14–21.

7. **Типовая инструкция** по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ [Текст] / СПО ОРГРЭС.— М., 1991.— Ч. 1.— 108 с.

УДК 621.3.04:621.315

М.И. Сухичев, В.В. Титков

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ШИНАХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Контактные соединения в электроустановках достаточно подробно изучены. Это и понятно, ведь от их надежной работы во многом зависит работоспособность электроустановки в целом. Основное внимание в исследованиях было сосредоточено на изучении температуры самого контактного соединения или контактной площадки. Потому что именно там температура максимальна, а значит, и процессы, на скорость протекания которых влияет температура, там наиболее активны. Следовательно, ограничивая эту температуру, можно априори гарантировать, что изоляция не пострадает от перегрева.

С другой стороны, стремительно развивается тепловизионная диагностика, имеющая такие неоспоримые преимущества, как отсутствие необходимости отключения электроустановок при проведении измерений, их оперативность и относительная безопасность. Все это (в теории) позволяет определить дефект в начальной стадии развития.

Однако с использованием только критерия максимальной температуры контактного соединения обнаружить дефект в начальной стадии развития не получится. Этому будут мешать хотя бы зависимость этой температуры от температуры окружающей среды и от нагрузки.

Поэтому понимание особенностей тепловых процессов в шине очень важно для создания методов диагностики дефектов контактных соединений в начальной стадии развития.

Формулировка задачи

Рассмотрим задачу в одномерном приближении, но будем учитывать, что в реальности шина является трехмерным объектом. Можно условно разделить все тепловые потоки на две группы: теплообмен вдоль шины и теплообмен поперек шины.

Теплообмен вдоль шины. Теплообмен включает три вида процессов: теплопроводность, конвекционный теплообмен и лучистый теплообмен.

Вдоль шины основным механизмом теплообмена будет теплопроводность по шине.

Стационарное основное уравнение теплопроводности для одномерного случая в изотропной среде записывается так:

$$\lambda \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x) + Q(x) = 0, \qquad (1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности; x — координата; T — температура; Q — объемная плотность тепловых источников.

В дальнейшем будем основываться на этом уравнении. Для учета тепловых процессов поперек шины примем, что плотность тепловых источников можно представить как суперпозицию источников тепловыделения и теплообменных механизмов.

В шине источником тепловыделения является джоулев нагрев. Тогда плотность источников тепловыделения можно записать как

$$Q_{\text{выд}}(x) = i^2 \rho' = \frac{I^2 R'}{S}, \qquad (2)$$

где $Q_{\text{выд}}$ — объемная плотность источников тепловыделения; i — плотность тока; ρ' — объемное электрическое сопротивление; $I = iS$ — ток в шине; $R' = \frac{\rho'}{S}$ — погонное сопротивление шины; S — площадь поперечного сечения шины.

Теплообмен поперек шины. Явления внутри шины в одномерной модели нельзя описать. Однако из-за высокой теплопроводности токопроводящих материалов с определенной долей погрешности можно считать, что температура по всему сечению шины одинакова. В дальнейшем в одномерном приближении будем учитывать только взаимодействие шины и окружающей среды.

Поперек шины действием теплопроводности можно пренебречь из-за относительно малой теплопроводности воздуха.

Строго говоря, для учета конвекционного теплообмена надо составлять систему гидродинамических уравнений и связывать ее с тепловой частью задачи. Но это приведет к существенному усложнению (зависимости задачи от геометрии шины) и не позволит получить обобщенное аналитическое решение. Поэтому имеет смысл использовать упрощение, известное как закон Ньютона—Рихмана

$$q = \alpha \Delta T = \alpha (T - T_0), \qquad (3)$$

где q — абсолютное значение теплового потока; α — коэффициент теплоотдачи; $\Delta T = (T - T_0)$ — температурный напор, т. е. разница температур на границе тел; T, T_0 — температуры поверхности шины и окружающей шину среды.

Перепишем уравнение (3) для объемного источника тепловыделения:

$$Q_{\text{обм}}(x) = -\alpha \frac{p}{S}(T - T_0), \qquad (4)$$

где p — периметр шины.

Учет лучистого теплообмена довольно сложен. Поэтому в первом приближении лучистый теплообмен не будем учитывать, так как это приведет к существенному усложнению задачи.

Сложив (как при суперпозиции) уравнения (2) и (4) и подставив их в уравнение (1), получим

$$\lambda \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x) - \frac{\alpha p}{S} T(x) + \frac{I^2 R' + \alpha p T_0}{S} = 0. \qquad (5)$$

Общее решение уравнения

Получившееся уравнение можно записать в общей форме:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x) - AT(x) + B = 0, \qquad (6)$$

причем

$$A = \frac{\alpha p}{\lambda S}, \quad B = \frac{I^2 R' + \alpha p T_0}{\lambda S}. \qquad (7)$$

Это неоднородное линейное уравнение с правой частью специального вида. Решение данного уравнения выглядит так:

$$T(x) = C_1 \mathrm{e}^{\sqrt{A}x} + C_2 \mathrm{e}^{-\sqrt{A}x} + \frac{B}{A}, \qquad (8)$$

где C_1, C_2 — постоянные коэффициенты.

Нахождение коэффициентов для граничных условий в точке $x = 0$

Продифференцируем уравнение (8) по x:

$$\frac{d}{dx} T(x) = C_1 \sqrt{A} \mathrm{e}^{\sqrt{A}x} - C_2 \sqrt{A} \mathrm{e}^{-\sqrt{A}x}. \qquad (9)$$

Пусть известны граничные условия в точке $x = 0$. Тогда, учитывая выражения (8) и (9), можно записать

$$T(x) = \left(T(x)\big|_{x=0} - \frac{B}{A} \right) \mathrm{ch}\sqrt{A}x + \left(\frac{\frac{d}{dx} T(x)\Big|_{x=0}}{\sqrt{A}} \right) \mathrm{ch}\sqrt{A}x + \frac{B}{A} \qquad (10)$$

и

$$\frac{d}{dx} T(x) = \sqrt{A} \left(T(x)\big|_{x=0} - \frac{B}{A} \right) \times \mathrm{sh}\sqrt{A}x + \frac{d}{dx} T(x)\Big|_{x=0} \mathrm{sh}\sqrt{A}x. \qquad (11)$$

Введем новые обозначения:

$$T_0' = T(x)\big|_{x=0} - \frac{B}{A};$$

$$dT_0' = \frac{1}{\sqrt{A}} \frac{d}{dx} T(x)\Big|_{x=0}. \qquad (12)$$

Тогда уравнения (10) и (11) можно переписать так:

$$T(x) = T_0' \,\mathrm{sh}\sqrt{A}x + dT_0' \,\mathrm{sh}\sqrt{A}x + \frac{B}{A}; \qquad (13)$$

$$\frac{d}{dx} T(x) = T_0' \sqrt{A} \,\mathrm{sh}\sqrt{A}x + dT_0' \sqrt{A} \,\mathrm{sh}\sqrt{A}x. \qquad (14)$$

Нахождение коэффициентов для граничных условий в точке $x = \infty$

Здесь, учитывая выражения (8) и (9), возможны только два варианта параметров уравнения:

$$\begin{cases} C_1 = 0, \\ T(x)\big|_{x=\infty} = \dfrac{B}{A}, \\ \dfrac{d}{dx}T(x)\Big|_{x=\infty} = 0; \end{cases} \qquad (15)$$

$$\begin{cases} C_1 \neq 0, \\ T(x)\big|_{x=\infty} = \infty, \\ \dfrac{d}{dx}T(x)\Big|_{x=\infty} = \infty. \end{cases} \qquad (16)$$

Очевидно, что параметры (16) невозможны физически. Кроме того, из системы (16) следует, что граничные условия $T(x)\big|_{x=\infty} = \dfrac{B}{A}$ и $\dfrac{d}{dx}T(x)\Big|_{x=\infty} = 0$ идентичны и фактически могут быть приняты за одно граничное условие.

Тогда (8) с учетом (15) преобразуется в уравнение

$$T(x) = C_2 \mathrm{e}^{-\sqrt{A}\,x} + \frac{B}{A}, \qquad (17)$$

а (9) — в уравнение

$$\frac{d}{dx}T(x) = -C_2\sqrt{A}\,\mathrm{e}^{-\sqrt{A}\,x}, \qquad (18)$$

причем постоянная C_2 должна быть определена дополнительным граничным условием.

Условия стыковки участков

Пусть два участка состыковываются в точке $x = l$. При этом каждый участок удовлетворяет уравнению (8).

Для однозначного решения получившийся системы надо добавить два независимых уравнения — условия стыковки участков.

Первое уравнение для стыковки найдем, зная, что в точке $x = l$ существует тепловой поток[1], а значит, по теореме о непрерывности дифференцируемой функции в этой точке значения температуры должны быть непрерывны. Это условие можно записать в виде уравнения[2]

$$T_n(x)\big|_{x=l} = T_{n+1}(x)\big|_{x=l}. \qquad (19)$$

Для нахождения второго уравнения стыковки рассмотрим с энергетической точки зрения точку перехода, представив область толщиной h как переходную.

Согласно принятой модели теплообмена эта область будет обмениваться тепловой энергией с окружающей средой вдоль шины путем теплопроводности, а поперек — за счет конвективного теплообмена. Кроме того, в этом участке будет джоулево тепловыделение (см. рис. 1).

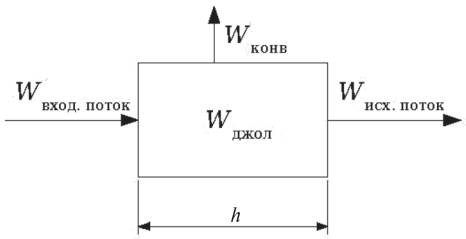


Рис. 1. Теплообмен в переходном участке

Можно записать, опираясь на уравнения (2) и (4) и используя закон Фурье (см. рис. 2):

$$-\lambda_n \frac{dT_n}{dx} S_n - \alpha p (T - T_0) h + I^2 R' h - \left(-\lambda_{n+1} \frac{dT_{n+1}}{dx} S_{n+1} \right) = 0. \qquad (20)$$

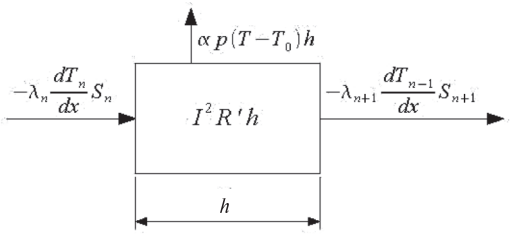


Рис. 2. Значения теплообмена в переходном участке

[1] Существование теплового потока равносильно существованию первой производной температуры и наоборот.

[2] Здесь и далее индекс обозначает участок шины, к которому относится.

Устремим толщину переходного участка h к нулю. Тогда

$$\lim_{h\to 0}\lambda_n\frac{dT_n}{dx}S_n=\lambda_n\frac{dT_n}{dx}S_n;$$

$$\lim_{h\to 0}\alpha p(T-T_0)h=0;$$

$$\lim_{h\to 0}I^2R'h=0; \qquad (21)$$

$$\lim_{h\to 0}\lambda_{n+1}\frac{dT_{n+1}}{dx}S_{n+1}=\lambda_{n+1}\frac{dT_{n+1}}{dx}S_{n+1}.$$

Соответственно уравнение (20) можно переписать так:

$$\lambda_n S_n\frac{d}{dx}T_n(x)\Big|_{x=l}=\lambda_{n+1}S_{n+1}\frac{d}{dx}T_{n+1}(x)\Big|_{x=l}. \qquad (22)$$

Таким образом, условия стыковки участков можно записать в виде системы

$$\begin{cases}T_1(x)\big|_{x=l}=T_2(x)\big|_{x=l},\\ \lambda_n S_n\dfrac{d}{dx}T_n(x)\Big|_{x=l}=\lambda_{n+1}S_{n+1}\dfrac{d}{dx}T_{n+1}(x)\Big|_{x=l}.\end{cases} \qquad (23)$$

Шина, состоящая из двух участков

Для случая полубесконечной шины из двух участков граничные условия могут быть заданы либо в начале ($x=0$), либо в конце ($x=\infty$) шины, либо в начале и конце. Рассмотрим каждый случай.

Граничные условия при $x=0$ и $x=\infty$. Рассмотрим случай полубесконечной шины, начинающейся в точке $x=0$ и состоящей из двух участков с различными, но постоянными на протяженности всей длины участка параметрами A и B, определенными в (7). В этом случае участок, начинающийся в точке $x=0$, может быть описан уравнениями (13), соответственно участок, оканчивающейся в $x=\infty$, — уравнением (17).

В соответствии с (13) в точке $x=0$ определены величины $T_{0'}$ и $dT_{0'}$, являющиеся граничными условиями.

Пусть оба участка состыковываются в точке $x=l$. Тогда, согласно рассмотренному выше, для них будут действовать условия стыковки (23).

Здесь и далее индексом 1 будут помечены величины, которые относятся к части, начинающейся при $x=0$, а индексом 2 — при $x=\infty$.

Тогда условие непрерывности температуры можно записать так:

$$T_0'\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\,l+dT_0'\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,l+\frac{B_1}{A_1}=$$

$$=C_2e^{-\sqrt{A_2}\,l}+\frac{B_2}{A_2}. \qquad (24)$$

Отсюда

$$C_2=\mathrm{e}^{\sqrt{A_2}\,l}\left(\frac{B_1}{A_1}-\frac{B_2}{A_2}+T_0'\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\,l+dT_0'\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,l\right)=$$

$$=\mathrm{e}^{\sqrt{A_2}\,l}D. \qquad (25)$$

Подставив (25) в уравнение (17) и учтя уравнение (13), получаем

$$\begin{cases}T(x)=T_0\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\,x+dT_0\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,x+\dfrac{B_1}{A_1}, & x\in[0;l);\\ T(x)=D\mathrm{e}^{-\sqrt{A_2}(x-l)}+\dfrac{B_2}{A_2}, & x\in[l;\infty].\end{cases} \qquad (26)$$

Условие для теплового потока может быть получено аналогично условию для температуры при стыковке уравнений (14) и (18) в точке $x=l$:

$$T_0'\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,l+dT_0'\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,l=$$

$$=-\frac{\lambda_2S_2}{\lambda_1S_1}\frac{\sqrt{A_2}}{\sqrt{A_1}}C_2\mathrm{e}^{-\sqrt{A_2}\,l}. \qquad (27)$$

Фактически уравнение (27) означает, что задаваемые как начальные условия величины T_0' и dT_0' не являются независимыми. Связь между величинами T_0' и dT_0' как раз и определяет уравнение (27).

Граничные условия при $x=0$. В данном случае граничные условия примем заданными только в точке $x=\infty$. Кроме того, дополнительно наложим условия непрерывности температуры и теплового потока. Это равносильно равенству температур и их первых производных в точке стыковки двух участков $x=l$.

Для участка, включающего точку $x=\infty$, будем использовать уравнения (17) и (18), а для другого участка — (8) и (9).

Отсюда

$$\begin{cases}C_1\mathrm{e}^{\sqrt{A_1}\,l}+C_2\mathrm{e}^{-\sqrt{A_1}\,l}+\dfrac{B_1}{A_1}=C_3\mathrm{e}^{-\sqrt{A_2}\,l}+\dfrac{B_2}{A_2};\\ C_1\sqrt{A_1}\,\mathrm{e}^{\sqrt{A_1}\,l}-C_2\sqrt{A_1}\,\mathrm{e}^{-\sqrt{A_1}\,l}=\\ \qquad\qquad=-C_3\dfrac{\lambda_2S_2}{\lambda_1S_1}\sqrt{A_2}\,\mathrm{e}^{-\sqrt{A_2}\,l}.\end{cases} \qquad (28)$$

Данная система не имеет однозначного решения. Для достижения однозначности надо добавить еще одно граничное условие, или уравнение.

Граничное условие может быть либо температурой, либо тепловым потоком в точке. Без потери общности можно принять, что это будет граничное условие в точке $x = 0$.

Рассмотрим каждый случай подробнее.

Задано $T(x)\big|_{x=0}$. В этом случае приходим к системе уравнений

$$\begin{cases} C_1 e^{\sqrt{A_1}\,l} + C_2 e^{-\sqrt{A_1}\,l} + \dfrac{B_1}{A_1} = C_3 e^{-\sqrt{A_2}\,l} + \dfrac{B_2}{A_2}; \\ C_1\sqrt{A_1}\, e^{\sqrt{A_1}\,l} - C_2\sqrt{A_1}\, e^{-\sqrt{A_1}\,l} = \\ \qquad = -C_3 \dfrac{\lambda_2 S_2}{\lambda_1 S_1}\sqrt{A_2}\, e^{-\sqrt{A_2}\,l}; \\ T(x)\big|_{x=0} = C_1 + C_2 + \dfrac{B_1}{A_1}. \end{cases} \tag{29}$$

Она имеет однозначное решение относительно коэффициентов C_1, C_2 и C_3.

Подставим обозначения, введенные в (12), в систему (29) и заменив экспоненциальные функции на гиперболические, можно записать решение так:

$$\begin{cases} T(x) = T_0' \operatorname{ch}\sqrt{A_1}\, x + (C_1 - C_2)\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\, x + \dfrac{B_1}{A_1}, \; x \in [0; l); \\ T(x) = C_3 e^{-\sqrt{A_2}\, x} + \dfrac{B_2}{A_2}, \; x \in [l; \infty]. \end{cases} \tag{30}$$

Тогда в точке $x = 0$

$$\left.\frac{d}{dx}T(x)\right|_{x=0} = T_0'\sqrt{A_1}\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,0 +$$

$$+ (C_1 - C_2)\sqrt{A_1}\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\,0 = (C_1 - C_2)\sqrt{A_1}, \tag{31}$$

или, используя обозначения, введенные в (12),

$$dT_0' = C_1 - C_2. \tag{32}$$

Это значит, что в системе (29) есть уравнение, совпадающее с уравнением (27).

Таким образом решение (30) совпадает с решением (26).

Задано $\left.\dfrac{d}{dx}T(x)\right|_{x=0}$. Аналогично предыдущему случаю приходим к системе уравнений

$$\begin{cases} C_1 e^{\sqrt{A_1}\,l} + C_2 e^{-\sqrt{A_1}\,l} + \dfrac{B_1}{A_1} = C_3 e^{-\sqrt{A_2}\,l} + \dfrac{B_2}{A_2}; \\ C_1\sqrt{A_1}\, e^{\sqrt{A_1}\,l} - C_2\sqrt{A_1}\, e^{-\sqrt{A_1}\,l} = \\ \qquad = -C_3 \dfrac{\lambda_2 S_2}{\lambda_1 S_1}\sqrt{A_2}\, e^{-\sqrt{A_2}\,l}; \\ \left.\dfrac{d}{dx}T(x)\right|_{x=0} = \sqrt{A_1}(C_1 - C_2) \end{cases} \tag{33}$$

с решением

$$\begin{cases} T(x) = (C_1 + C_2)\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\, x + dT_0'\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\, x + \dfrac{B_1}{A_1}, \; x \in [0; l); \\ T(x) = C_3 e^{-\sqrt{A_2}\, x} + \dfrac{B_2}{A_2}, \quad x \in [l; \infty]. \end{cases} \tag{34}$$

Тогда в точке $x = 0$

$$T(x)\big|_{x=0} = (C_1 + C_2)\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\,0 + dT_0'\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\,0 + \frac{B_1}{A_1} =$$

$$= (C_1 + C_2) + \frac{B_1}{A_1}, \tag{35}$$

или

$$T_0' = C_1 + C_2. \tag{36}$$

Аналогично варианту, описанному в предыдущем случае, решение (34) совпадает с решением (26).

Граничные условия при $x = 0$. В этом случае кроме граничных условий, заданных только в точке $x = 0$, дополнительно наложим условия, как в рассмотренном случае в точке стыковки двух участков $x = l$.

Для участка, включающего точку $x = 0$, будем использовать уравнения (13) и (14), а для другого участка — (8) и (9).

Отсюда

$$\begin{cases} T_0'\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\, l + dT_0\operatorname{sh}\sqrt{A_1}\, l + \dfrac{B_1}{A_1} = \\ \qquad = C_1 e^{\sqrt{A_2}\, l} + C_2 e^{-\sqrt{A_2}\, l} + \dfrac{B_2}{A_2}; \\ \sqrt{A_1}\left(T_0'\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\, l + dT_0'\operatorname{ch}\sqrt{A_1}\, l\right) = \\ \qquad = \dfrac{\lambda_2 S_2}{\lambda_1 S_1}\sqrt{A_2}\left(C_1 e^{\sqrt{A_2}\, l} - C_2 e^{-\sqrt{A_2}\, l}\right). \end{cases} \tag{37}$$

Перепишем систему (37) в виде

$$\begin{cases} \dfrac{T_0'+dT_0'}{2}e^{\sqrt{A_2}l}+\dfrac{T_0'-dT_0'}{2}e^{-\sqrt{A_2}l}+\dfrac{B_1}{A_1}= \\ \qquad =C_1e^{\sqrt{A_2}l}+C_2e^{-\sqrt{A_2}l}+\dfrac{B_2}{A_2}; \\ \left(\dfrac{T_0'+dT_0'}{2}e^{\sqrt{A_2}l}+\dfrac{dT_0'-T_0'}{2}e^{-\sqrt{A_2}l}\right)= \\ \qquad =\dfrac{\lambda_2S_2}{\lambda_1S_1}\dfrac{\sqrt{A_2}}{\sqrt{A_1}}\left(C_1e^{\sqrt{A_2}l}-C_2e^{-\sqrt{A_2}l}\right). \end{cases} \quad (38)$$

Решение этой системы:

$$\begin{cases} \dfrac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}+\dfrac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}= \\ \qquad =T'\mathrm{ch}_0\sqrt{A_1}\,l+dT_0'\mathrm{sh}\sqrt{A_1}\,l+\dfrac{B_1}{A_1}-\dfrac{B_2}{A_2}; \\ \dfrac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}-\dfrac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}= \\ \qquad =\dfrac{\lambda_1S_1}{\lambda_2S_2}\dfrac{\sqrt{A_1}}{\sqrt{A_2}}\left(T_0'\mathrm{sh}\sqrt{A_1}\,l+dT_0'\mathrm{ch}\sqrt{A_1}\,l\right). \end{cases} \quad (39)$$

Перепишем уравнение (8) в следующем виде:

$$T(x)=\frac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}e^{\sqrt{A_2}(x-l)}+\frac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}e^{-\sqrt{A_2}(x-l)}+\frac{B_2}{A_2}. \quad (40)$$

Тогда уравнение (13) можно записать так:

$$T(x)=\left(\frac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}+\frac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}\right)\mathrm{ch}\sqrt{A_2}(x-l)+$$

$$+\left(\frac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}-\frac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}\right)\mathrm{sh}\sqrt{A_2}(x-l)+\frac{B_2}{A_2}. \quad (41)$$

Общее решение. Теперь докажем, что решения для первых двух вариантов граничных условий являются частными случаями решения для третьего варианта ($x=0$).

Как уже доказано выше, полубесконечность участка шины — сама по себе однозначное граничное условие (15).

Отсюда следует, что для полубесконечного участка в выражении (40) $C_1=0$.

Тогда второе уравнение системы (39) можно переписать так:

$$-C_2e^{-\sqrt{A_2}l}=$$

$$=\frac{\lambda_1S_1}{\lambda_2S_2}\frac{\sqrt{A_1}}{\sqrt{A_2}}\left(T_0'\mathrm{sh}\sqrt{A_1}\,l+dT_0'\mathrm{ch}\sqrt{A_1}\,l\right), \quad (42)$$

что совпадает с выражением (27).

Перепишем уравнение (17) в гиперболических функциях

$$T(x)=C_2\mathrm{ch}\sqrt{A}\,x-C_2\mathrm{sh}\sqrt{A}\,x+\frac{B}{A}. \quad (43)$$

Сравнивая его с выражением (13), можно сказать, что граничное условие (15) равносильно граничному условию

$$T_0'=-dT_0'. \quad (44)$$

Шина, состоящая из произвольного числа участков

В общем случае шина может состоять из произвольного числа участков. При этом возможны два варианта: шина, состоящая из участков конечной длины, и шина, состоящая из участков конечной длины и одного полубесконечного участка[3].

Только участки конечной длины. Рассмотрим выражение (41) в сочетании с (39). Фактически оно аналогично выражению (13), но начало сдвинуто так, что начинается не в точке $x=0$, а в точке $x=l$. Причем роль T_0' и dT_0' играют $\left(\dfrac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}+\dfrac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}\right)$ и $\left(\dfrac{C_1}{e^{-\sqrt{A_2}l}}-\dfrac{C_2}{e^{\sqrt{A_2}l}}\right)$ соответственно.

Из этого можно сделать вывод, что участок 2 (в нумерации третьего варианта) может быть представлен как участок 1 и к нему добавлен еще один участок. То есть получается шина, состоящая из трех участков.

Таким образом, добавляя участки, можно получить шину, состоящую из сколь угодно большого числа участков конечной длины.

При этом распределение температуры для каждого участка описывается выражением (13),

[3] Вариант с двумя полубесконечными участками не рассматривается, т.к. такой вариант всегда можно представить как две полубесконечные шины. Вариант с большим числом полубесконечных участков невозможен из геометрических соображений.

если принимать, что $x = 0$ соответствует началу участка.

Кроме того, каждый участок связан с другим следующим соотношением:

$$\begin{cases} T'_{n+1} = T_{n'}\mathrm{ch}\sqrt{A_n}\,l_n + dT_{n'}\mathrm{sh}\sqrt{A_n}\,l_n + \dfrac{B_n}{A_n} - \dfrac{B_{n+1}}{A_{n+1}}; \\ dT'_{n+1} = \dfrac{\lambda_n S_n}{\lambda_{n+1} S_{n+1}} \dfrac{\sqrt{A_n}}{\sqrt{A_{n+1}}} \times \\ \qquad \times \left(T_{n'}\mathrm{sh}\sqrt{A_n}\,l_n + dT_{n'}\mathrm{ch}\sqrt{A_n}\,l_n \right), \end{cases} \quad (45)$$

Если последовательно выражать участки друг через друга, то в конце концов получится система из двух уравнений.

Для однозначного решения этой системы надо задать величины T'_n и dT'_n либо аналогичные условия.

Если известны величины T'_n и dT'_n, то решение задачи заключается в разбиении шины на два куска по границе n и последовательном определении параметров согласно соотношению (45).

Если известны величины T'_n и dT'_m, то необходимо разбить шину на три куска по границам n и m. Для участка от n до m надо выразить величины T'_n и dT'_n через величины T'_m, dT'_m и параметры других участков, используя соотношение (45). В результате получится система из двух линейных уравнений. После решения этой системы относительно T'_m и dT'_n задача сводится к предыдущему варианту.

Более сложно решается задача, когда заданы температура и/или тепловой поток на двух участках шин, но не на границе их стыков с другими участками. В этом случае, как и в предыдущем, составляются два уравнения для куска между участками, на которых заданы температура и/или тепловой поток, и добавляются два уравнения на основании выражений (13) и/или (14). В результате получится система из четырех линейных уравнений. Далее решение аналогично предыдущим двум вариантам.

Шина с участком бесконечной длины. Решение для шины, содержащей полубесконечный участок, аналогично решению для шины, состоящей только из участков конечной длины. Но в данном случае достаточно только одного граничного условия, так как для полубесконечного участка всегда действует граничное условие (44).

Физический смысл входящих в уравнения величин

Рассмотрим физический смысл величины $\dfrac{B}{A}$.

Определение величин A и B дано в (7). Отсюда

$$\frac{B}{A} = \frac{\dfrac{I^2 R' + \alpha p T_0}{\lambda S}}{\dfrac{\alpha p}{\lambda S}} = \frac{I^2 R'}{\alpha p} + T_0. \quad (46)$$

Из выражений (2) и (4) следует, что слагаемое $\dfrac{I^2 R'}{\alpha p}$ с физической точки зрения означает прирост температуры, вызванный джоулевым нагревом шины за счет протекающего по ней тока.

Согласно (3) T_0 — температура окружающей шину среды, поэтому с физической точки зрения величина $\dfrac{B}{A}$ — это температура бездефектной цельной шины.

Согласно (12) T'_0 — прирост температуры из-за дефектного контакта.

Если принять, что этот прирост вызван повышенным переходным сопротивлением контакта, то можно записать

$$\gamma = \frac{}{R'} - 1 = \frac{T'_0}{\dfrac{B}{A}}, \quad (47)$$

где γ — эффективное возрастание погонного сопротивления в области контакта; $R'_{\text{кс}}$ — переходное сопротивление контакта.

Анализируя уравнения (8) и (13), следует обратить внимание, что в них величина $\sqrt{A}$ определяет скорость затухания экспоненты. На практике эта величина используется для оценки длины участка, на котором функция вида e^{-Ax} практически затухнет.

Величины, которые могут быть определены при тепловизионной диагностике контактных соединений

Тепловизионная диагностика обычно позволяет получить не одно, а множество значений, на основании которых можно найти распределение температуры вдоль шины, если известен аналитический вид этого распределения.

Выше показано, что, зная параметры распределения температуры вдоль шины и температуру окружающей среды, можно вычислить прирост температуры, вызванный джоулевым нагревом шины, а через него определить усредненный ток через шину.

Зная этот ток, можно привести измеренные температуры к какому-то одному реперному значению, что позволит сравнивать результаты измерений, проведенных при разных условиях окружающей среды.

Не менее важное значение имеет возможность определять эффективное возрастание погонного сопротивления в области контакта, ибо эта величина позволяет объективно характеризовать состояние контакта. Величина $\sqrt{A}$ позволит оценить длину участка шины, на которой находятся информативные данные.

УДК 621.316.925

И.Д. Платонов, А.А. Лапидус

КРИТЕРИИ ПРОЯВЛЕНИЯ ШУНТИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕТИ 0,4 КВ

При трехфазных металлических коротких замыканиях (КЗ) напряжение в точке повреждения снижается до нуля. Если точка КЗ достаточно удалена от питающего распределительного щита, то остаточное напряжение на шинах может быть сравнимым с электродвижущей силой (ЭДС) электродвигателей, питающихся от данной системы шин. Этот тезис усиливается, если КЗ имеет дуговой характер. В соответствии с нормативно-техническими документами [1] считается, что в таких аварийных режимах подключенные к сети асинхронные двигатели (АД) тормозятся до останова, подпитывая точку КЗ. Но, как показали исследования [2, 3], в случае определенного удаления точки КЗ от шин двигатель продолжит потреблять ток от системы, хотя и при пониженной частоте вращения. При этом суммарный ток, втекающий в точку КЗ, уменьшается. Такое явление принято называть шунтирующим эффектом (ШЭ) двигательной нагрузки. Неучет ШЭ АД приводит к снижению чувствительности защитных аппаратов, что подробно изложено в [2, 3].

Однозначное определение термина «шунтирующий эффект АД» отсутствует. В качестве критерия возникновения этого эффекта обычно используют косвенный признак — снижение тока КЗ.

Задача нашей работы — выработка конкретного критерия возникновения шунтирующего эффекта АД при коротких замыканиях. При этом рассматривается только начальный момент возникновения КЗ. Такое допущение приемлемо, так как с течением времени шунтирующий эффект будет только усиливаться. По этой же причине остановимся на рассмотрении трехфазных металлических КЗ.

При рассмотрении шунтирующего эффекта следует подчеркнуть существенное различие между системами электроснабжения 6,3 кВ и 0,4 кВ собственных нужд (СН) электростанций. В обоих случаях система электроснабжения состоит из трансформатора собственных нужд (ТСН), вводного коммутационного аппарата, секции СН, коммутационных аппаратов и кабелей присоединений, асинхронных электродвигателей и недвигательной нагрузки СН.

Чтобы продемонстрировать такое различие, проведем расчет сопротивлений кабелей и питающих трансформаторов собственных нужд для обоих случаев. Для примера возьмем следующие варианты [4]: трансформатор 10/6 кВ — ТДНС-16000/10 и трансформатор 6/0,4 кВ — ТСЗ-1000/6.

Система 6,3 кВ. В системе 6,3 кВ возможен только вариант близкого КЗ, когда при коротком замыкании в конце кабеля напряжение на питающей секции снижается практически до нуля. Это объясняется соотношением между сопротивлениями кабелей и ТСН с низшим напряжением 6,3 кВ.

При параметрах ТСН $S_н$ = 16000 кВА; $u_к$ = =10 %, $P_к$ = 85 кВт сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению 6,3 кВ, составит

$$z_1 = \frac{u_к}{100}\frac{U_н^2}{S_н} = \frac{10 \cdot 6,3^2 \cdot 10^6}{100 \cdot 16000} = 248,1 \text{ мОм}.$$

Такое сопротивление соответствует 470 (2368) метрам медного кабеля сечением 35 (240) мм^2.

Условие удаленного КЗ при $U_m > E'_{АД}$ выполняется, когда сопротивление поврежденного отрезка кабеля на порядок больше сопротивления питающего трансформатора. То есть для гипотетического осуществления этого варианта понадобились бы длины кабелей собственных нужд 4,7–23 км, чего на практике не бывает. Другими словами, КЗ за отрезком кабеля 6,3 кВ всегда является близким для двигателей 6,3 кВ. Под удаленным КЗ здесь подразумевают повреждение элементов схемы высокого напряжения, например блочного повышающего трансформатора электростанции, распределительного устройства высокого напряжения, воздушных линий и т. д.

Система 0,4 кВ. Расчет сопротивления ТСЗ 1000/6 произведен по [1]. Параметры трансформатора: $S_н$ = 1000 кВА, $u_к$ =5,5 %, $P_к$ = 11,2 кВт. Тогда

$$r_1 = \frac{P_к U_н^2 10^6}{S_н^2} = \frac{11,2 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 1,792 \text{ мОм};$$

$$x_1 = \sqrt{u_{к\%}{}^2 - \left(\frac{100 P_к}{S_н}\right)^2}\frac{U_i^2 10^4}{S_i} =$$

$$= \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 11,2}{1000}\right)^2}\frac{0,4^2 \cdot 10^4}{1000} = 8,61 \text{ мОм};$$

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2} = \sqrt{1,792^2 + 8,615^2} = 8,8 \text{ мОм}.$$

Таким образом, сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению 0,4 кВ, равно $z_т$ = 8,8 мОм. В противоположность случаю системы 6,3 кВ такое сопротивление эквивалентно меньшим длинам — 4 (45) метрам медного кабеля сечением соответственно10 (120) мм^2. Десятикратные длины (40–450 м) соответствуют реальным расстояниям при прокладке кабелей 0,4 кВ. Поэтому возможны оба варианта — близкое и удаленное КЗ.

В исследованиях [2, 3] для изучения ШЭ использованы подходы, основанные на применении дифференциальных уравнений и сложных физико-математических моделей. В данных работах даются исчерпывающие ответы по поводу поведения двигательной нагрузки при удаленных КЗ. Вместе с тем следует признать, что эти методы достаточно сложны, а компьютерные расчетные программы не всегда доступны и скрывают от исследователя физическую сторону процесса.

Наряду с использованием высокоточных математических моделей и дорогостоящих программных продуктов стоит задача выяснения физической сути условий, при которых начинает проявляться ШЭ. Требуется уточнить критерии перехода двигателя из генераторного режима в двигательный при коротких замыканиях.

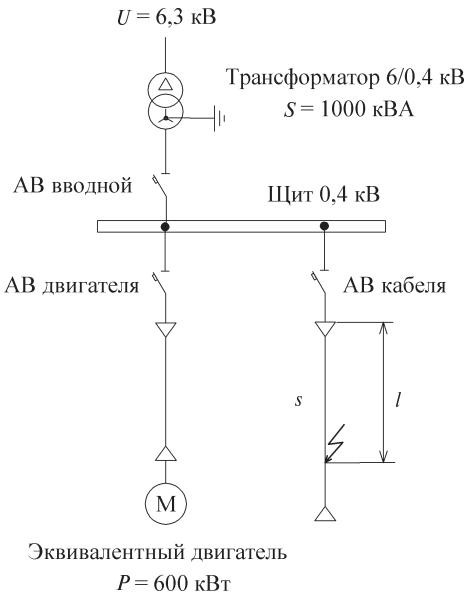


Рис. 1. Расчетная схема исследуемой сети

Для выполнения перечисленных задач составлен расчетный модуль, моделирующий короткое замыкание в электроустановке напряжением 0,4 кВ (рис. 1). В качестве расчетного случая принята схема питания системы собственных 0,4 кВ нужд электрической станции. Силовая сборка 0,4 кВ запитана от трансформатора мощностью 1000 кВА, к системе собственных нужд подключен эквивалентный двигатель мощностью 600 кВт. Рассматривается присоединение с КЗ, удаленность до которого меняется в соот-

ветствии с диапазоном возможных длин кабельных линий по условию допустимых потерь напряжения.

Следует сделать ряд пояснений по поводу некоторых произведенных допущений:

1. На секциях СН электрических станций помимо асинхронных электродвигателей находятся также осветительная нагрузка, конденсаторные батареи, измерительные трансформаторы напряжения и т. п. Указанные элементы также производят эффект шунтирования. Но из опыта эксплуатации электрических станций и производственных предприятий известно, что суммарная мощность перечисленных элементов обычно очень мала по сравнению с мощностью присоединенных электродвигателей механизмов СН. Поэтому в настоящей работе нагрузка, не имеющая в своем составе асинхронных электродвигателей, не учитывается при рассмотрении ШЭ.

2. В связи с тем, что в системе СН электростанций в подавляющем большинстве применяются АД, синхронные электродвигатели в работе не рассматриваются.

3. Под эквивалентным двигателем понимается совокупность различных асинхронных электродвигателей данной секции, суммарная мощность которых определяется номинальной мощностью и коэффициентом загрузки трансформатора собственных нужд 6/0,4 кВ. Остальные характеристики эквивалентного двигателя — результат усреднения параметров по каждому индивидуальному электроприемнику. Среди данных параметров имеется и такой сложно обобщаемый параметр, как сопротивление питающей линии, в общем случае зависящий от мощности и размещения двигателей, а также от мощности источника питания. Можно показать, что при реальных длинах кабельных трасс 0,4 кВ сопротивление кабеля много меньше сопротивления соответствующего двигателя и практически не повлияет на процесс ШЭ. Поэтому без нарушения общности исследования при эквивалентировании асинхронных двигателей сопротивление питающей линии можно не учитывать.

4. В статье рассматривается начальный момент возникновения короткого замыкания. Это позволяет не учитывать изменение во времени сопротивления и ЭДС расчетной схемы. Вопросы динамики процесса ШЭ АД выходят за рамки данной работы.

5. Рассматриваются трехфазные металлические короткие замыкания.

Чтобы определить критерий шунтирующего эффекта при различных удаленностях точки КЗ, выполняются следующие операции:

составляется схема замещения сети, включающей в себя питающий трансформатор, эквивалентный двигатель на шинах и кабельную линию, в конце которой происходит короткое замыкание;

на основании законов Кирхгофа в комплексной форме рассчитываются значения токов в ветвях схемы (кабель, трансформатор и электродвигатель) и напряжений в узлах схемы (щит 0,4 кВ, зажимы статора двигателя);

расчет повторяется для различных расстояний от щита 0,4 кВ до точки КЗ;

расчет повторяется для случая, когда двигатель отсутствует.

Программа выдает на выходе значения токов и напряжений в комплексной форме и соответствующие им графики:

годографы концов векторов тока от двигателя и от системы в зависимости от удаленности точки КЗ (рис. 2, *а*, *б*);

годографы концов векторов напряжений на щите 0,4 кВ, разницы напряжений системы и щита 0,4 кВ, разницы напряжений двигателя и щита 0,4 кВ (рис. 3, *а*, *б*);

погрешность расчета значения суммарного тока с учетом и без учета электродвигателей (рис. 4).

Указанные графики позволяют визуально интерпретировать критерии возникновения ШЭ. Остановимся подробно на каждом из них.

Рис. 2, *а* соответствует случаям КЗ на различном удалении от начала медного кабеля сечением 16 мм^2, а рис. 2, *б* — то же, но для медных кабелей сечением 1,5–185 мм^2.

Строя поочередно векторы для каждой длины кабеля, можно наблюдать поворот вектора тока в комплексной системе координат. При КЗ на шинах ($l = 0$) двигатель выдает активную и реактивную мощность в точку КЗ. При определенной удаленности ($l = 9$ м) вектор тока от двигателя поворачивается до такой степени, что мнимая часть тока становится нулевой. Это означает, что двигатель, продолжая выдавать активную мощность, перестает выдавать реактивную. При увеличении длины кабеля годограф переходит в первый квадрант системы координат, что

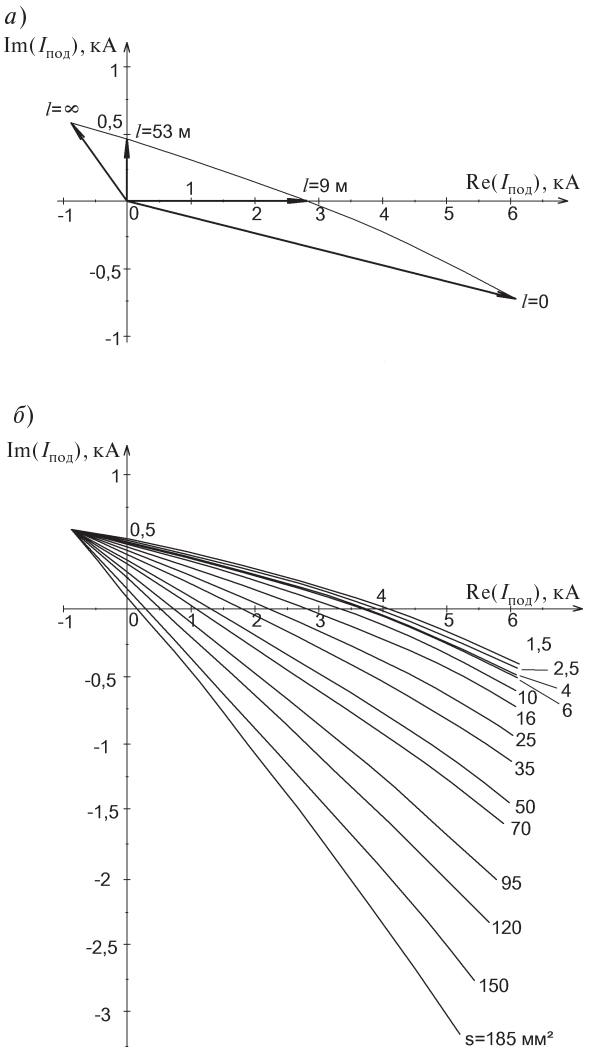


Рис. 2. Векторы тока, протекающего к точке КЗ при ее различной удаленности от питающей сборки: *а* — для кабеля сечением 16 мм^2; *б* — для кабелей сечениями 1,5–185 мм^2 (величины сечений, мм^2, указаны около каждого графика)

соответствует выдаче активной и потреблению реактивной мощности. При дальнейшем увеличении расстояния до $l = 53$ м конец вектора тока двигателя перемещается во второй квадрант, в котором и активная и реактивная мощности потребляются двигателем из сети.

Момент перехода из одного квадранта в другой, т. е. **изменения знака перетоков мощностей, является одним из возможных критериев возникновения ШЭ**.

Диаграммы поворота векторов напряжения показаны на рис. 3.

Наиболее интересен график разности напряжений двигателя и на шинах $\Delta U_д = U_д - U_ш$. Считается, что при повреждении напряжение двигателя неизменно в начальный момент времени, а напряжение на шинах меняется в зависимости от удаленности места КЗ от этих шин. По мере удаления места КЗ вектор $\Delta U_д$ переходит из четвертого квадранта в первый (при $l = 1$ м). Далее при $l = 27$ м годограф переходит во второй квадрант, а при $l = 69$ м — в третий. Эти переходы также могут служить **признаком начала проявления ШЭ**.

На рис. 4 показан график погрешности значений суммарного тока, втекающего в точку КЗ при наличии АД и при его отсутствии.

Данный график имеет следующий физический смысл. Производится сравнение режимов работы сети при наличии и при отсутствии электродвигателей. Имеет смысл взять за основной режим с наличием АД и рассчитать относительно него погрешность значения суммарного тока в режиме без АД при одной и той же удаленности места повреждения, т. е. ввести понятие относительного вклада двигательной нагрузки в величину тока $I_{п0}$:

$$\delta_I = \frac{I_{п0\,дв} - I_{п0}}{I_{п0\,дв}} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где $I_{п0\,дв}$ — суммарное значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени от двигателей и от системы; $I_{п0}$ — значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени от системы при отсутствии двигателей.

Из расчетов и графика видно, что при определенной удаленности ($l = 26$ м) погрешность становится отрицательной, т. е. начиная с этого расстояния двигатель не будет подпитывать точку КЗ, а будет потреблять ток из сети, тем самым снижая общий ток. Это граничное расстояние соответствует **началу проявления ШЭ. Данный критерий рассматривается как основной,** так как знак погрешности отражает вклад двигателя в общую картину токов короткого замыкания. Остальные вышеперечисленные критерии будут рассматриваться в сравнении с данным критерием.

В ходе исследования и расчетов было установлено, что сечение кабеля между сборкой и двигателем, который осуществляет шунтирование, не влияет на протекающие процессы. Это

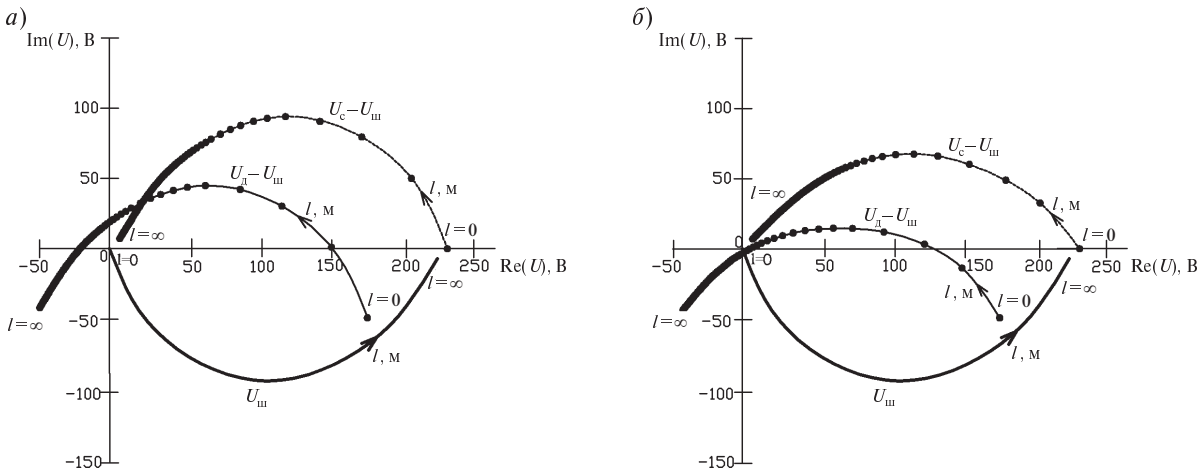


Рис. 3. Векторы напряжений при различной удаленности КЗ от питающей сборки: $U_ш$ — напряжение на сборных шинах; $U_с - U_ш$ — разность напряжения системы и напряжения на шинах; $U_д - U_ш$ — разность напряжения двигателя и напряжения на шинах (*а* — медный кабель, s = 16 мм^2; *б* — медный кабель, s = 150 мм^2)

связано с тем, что сопротивление двигателя намного больше, чем сопротивление кабеля, питающего этот двигатель.

Чтобы узнать, какая длина кабеля от сборки до АД повлияет на происходящие процессы, были определены длины кабеля, при которых его сопротивление равно сопротивлению питаемого АД для различных мощностей двигательной нагрузки (в этих случаях сопротивление кабеля оказывало бы существенное влияние на токораспределение в схеме). В табл. 1 приведены результаты таких расчетов.

Здесь по длительно допустимым мощностям медных кабельных линий вычисляются допустимые мощности нагрузки. Можно сделать вывод, что значения получившихся длин кабелей не соответствуют длинам кабеля в реальных условиях на промышленных предприятиях: в большинстве случаев длина кабеля от сборки до двигателя гораздо короче, чем в таблице. А если учитывать, что кабели выбираются с запасом по сечению исходя из условия 5 %-й потери напряжения на зажимах потребителя (см. столбец $l_{5\,\%\,U}$), то этот вывод еще больше правомерен. Сопротивление кабеля будет намного меньше, и его в расчетах можно не учитывать. Это допущение позволяет намного упростить вычисления.

Возможные критерии возникновения ШЭ для кабельной линии с медными жилами сведены в табл. 2 в порядке возрастания удаленности до точки КЗ.

Для всех остальных сечений кабелей сохраняется закономерность, отраженная в табл. 2, а именно: соблюдается такой же порядок следования критериев; наиболее близким критерием к основному является переход через ноль вещественной части разности напряжений между двигателем и шиной.

При рассмотрении режима работы сети 0,4 кВ для всевозможных сечений кабелей были получены следующие признаки возникновения шунтирующего эффекта АД, перечисленные в порядке возрастания удаленности короткого замыкания от шин:

переход вектора разности напряжений между шиной и двигателем из четвертого в первый квадрант;

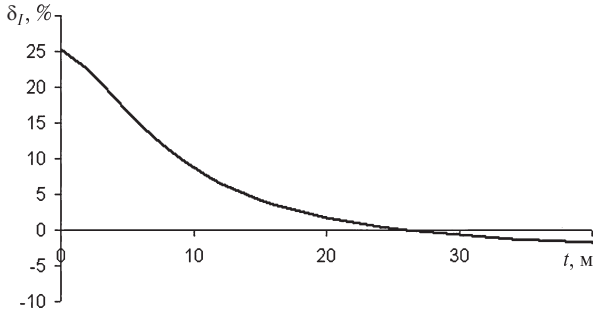


Рис. 4. Погрешность значения суммарного тока в зависимости от удаленности КЗ

Таблица 1

Расчет сопротивлений кабелей, эквивалентных сопротивлениям асинхронных электродвигателей

$P_{дв}$, кВт	$Z_{АД}$, мОм	S, мм^2	$Z_{уд}$, мОм/м	$l_{экв}$, м	$l_{5\%U}$, м
28	708	6	3,54	200	59
36	541	10	2,13	254	73
49	396	16	1,33	298	86
62	313	25	0,85	367	101
79	248	35	0,62	403	118
95	205	50	0,44	469	132
118	165	70	0,31	538	150
145	135	95	0,23	590	167
171	114	120	0,19	601	175
201	97	150	0,15	638	189
230	85	185	0,13	653	193

Таблица 2

Критерии возникновения шунтирующего эффекта и соответствующие расстояния до точки КЗ для медного кабеля сечением 16 мм^2

Номер критерия	Переходит через 0	Расстояние до точки КЗ, м
1	Мнимая часть напряжения $\Delta U_д$	1
2	Мнимая часть тока $I_{под}$	9
3 (основной)	**Погрешность расчета суммарного тока КЗ**	**26**
4	Вещественная часть напряжения $\Delta U_д$	27
5	Вещественная часть тока $I_{под}$	53
6	Мнимая часть напряжения $\Delta U_д$	69

переход вектора тока от двигателя из четвертого в первый квадрант;

изменение знака погрешности вычисления суммарного тока КЗ;

переход вектора разности напряжений между шиной и двигателем во второй квадрант;

переход вектора тока от двигателя во второй квадрант;

переход вектора разности напряжений между шиной и двигателем в третий квадрант.

Наиболее обоснованным признаком начала возникновения ШЭ АД являются третий и четвертый критерии. Четвертый критерий подразумевает меньший объем вычислений, чем третий. Поэтому, рекомендуется в практике проектирования электросетей 0,4 кВ связывать начало шунтирующего эффекта асинхронных электродвигателей с изменением знака вещественной составляющей разности напряжений двигателя и шины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 28249–93.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ [Текст] / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации.— Введ. 01.01.95. — Минск.— 1995. — 58 с.

2. **Гусев, Ю.П.** Снижение чувствительности защитных аппаратов в низковольтных электроус-

тановках из-за шунтирующего эффекта асинхронных двигателей [Текст] / Ю.П. Гусев, Г.Ч. Чо // Вестник МЭИ.— 2003. № 6.— С. 131–135.

3. **Гусев, Ю.П.** Влияние асинхронных двигателей на чувствительность защитных аппаратов в низковольтных электроустановках [Текст] / Ю.П. Гусев, Г.Ч. Чо // Состояние и перспективы развития электротехнологии: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.— 4–6 июня 2003 г.— Иваново, 2003.— Т. 1.— С. 137.

4. **Неклепаев, Б.Н.** Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные вопросы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие [Текст] / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков.— М.: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с.

УДК 621.436

Дж.В. Туапетел

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ ГАЗА В МЕЖЛОПАТОЧНЫХ КАНАЛАХ НА ПОТЕРИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ

Оптимизация газодинамической эффективности проточной части турбины в целом и каждого лопаточного аппарата в отдельности возможна лишь при достоверной оценке потерь кинетической энергии. Появление коммерческих программ открывало большие возможности моделирования процессов течения в проточной части турбомашин, в том числе в области вторичных течений.

В сопловых и рабочих решетках малой относительной высоты ($l/b < 1$) [1] большую долю потерь составляют концевые потери. Их образование связано с кривизной межлопаточных каналов, наличием поперечных градиентов давлений в канале, вызывающих вторичное вихревое движение газа в пограничных слоях от вогнутой поверхности к спинке лопатки (рис. 1).

На спинке на некотором удалении от концов лопаток пограничный слой, притекающий с плоских торцевых стенок, сливается с основным пограничным слоем. В результате здесь происходит интенсивное набухание пограничного слоя и появляются условия образования вихревых течений, изображенных на рис. 1. Таким образом, у спинки профиля на торцах лопатки возникают две вихревые области. Вихревые движения в этих областях имеют противоположные направления вращения.

Вторичные течения имеют ярко выраженную пространственную структуру. Роль вторичных потерь в общем балансе потерь кинетической энергии в решетках малой высоты весьма велика. Для указанных рабочих колес (РК) вторичные потери составляют примерно 35–40 % от всех потерь энергии [2].

Течение в радиальном зазоре также сопряжено с потерями кинетической энергии потока: оно способствует отрыву основного потока вблизи выпуклой поверхности концевого профиля лопатки, особенно при большой изогнутости профиля, что и приводят к существенным дополнительным потерям энергии [3, 4].

Величина концевых потерь зависит от геометрических и режимных параметров, а именно: относительной высоты лопаток, угла поворота потока в решетке, конфузорности канала, шага, перекрыши, угла входа β_1, чисел M и Re, неравномерности потока на входе, степени турбулентности и др.

В статье рассматриваются вторичные течения газа в межлопаточном канале плоской решетки рабочего колеса турбины при трансзву-

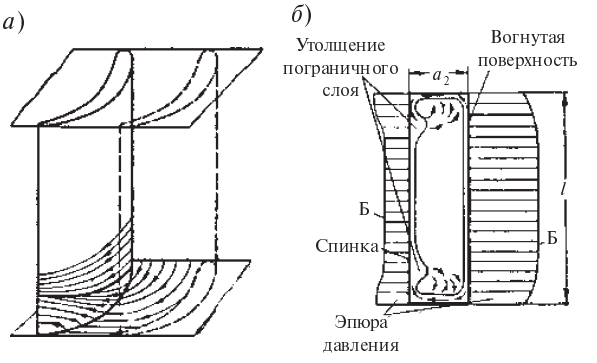


Рис.1. Схема образования вторичных течений в межлопаточном канале решетки

ковых и сверхзвуковых скоростях потока, а также влияние вторичных течений на потери кинетической энергии. Представленные расчеты выполнены с использованием программы *Fluent*.

Метод и объект исследования

Течение газа в межлопаточном канале описывается осредненными по Рейнольдсу уравнениями Навье—Стокса. Для проведения расчетных исследований были выбраны двухпараметрические модели турбулентности k-ε (*realizable*) и k-ω (*SST*). Свойства рабочего тела описываются уравнениями состояния совершенного газа. Все параметры потока перед рабочими лопатками вдоль радиуса были приняты постоянными. В исследовании предполагалось, что профили не вращаются и что теплообмен между лопатками и потоком отсутствует. На входе в расчетную область задавались параметры торможения (давление и температура) и направление потока. На выходе задавался уровень статического давления.

Уравнения движения записаны для декартовых компонент скорости. Дискретизация пространственных операторов уравнений сохранения выполнена по методу конечного объема второго порядка точности.

В данной статье объектом исследования была выбрана плоская решетка профилей Р2118В [5]. Данные профиля: хорда $b = 20$ мм; шаг $t = 12{,}5$ мм; угол установки профиля $\beta_y = 88{,}83°$; относительная высота $\bar{l} = l/b = 0{,}67$. Поверхность лопаток считается гладкой. Профили в решетке образуют суживающе-расширяющиеся каналы. Горло сечений располагается внутри канала и постоянно вдоль высоты профиля.

На рис. 2 представлен фрагмент трехмерной расчетной сетки, отображенной на поверхности рабочих лопаток. Расчетная область включает регулярную часть сетки, состоящую из гексаэдров, и нерегулярную, состоящую из тетраэдров. В корневой и периферийной частях решетки сетка преимущественно состоит из гексаэдров и имеет сгущения у контура профиля для повышения точности расчетов. В основной части потока сетка состоит из тетраэдров. Расчетная сетка содержит 669148 ячеек, что обеспечивает необходимую точность вычислений.

Результаты расчетов

Для расчета потерь кинетической энергии в рабочих решетках можно использовать формулу, записанную через безразмерные скорости или через изменение давления перед и за решеткой [5]:

$$\zeta = 1 - \frac{\lambda_2^2}{\lambda_{2t}^2} = \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} \frac{1 - \left[1 - \frac{\Delta p_{02}}{p_1'}\left(1-\varepsilon\right)\right]^{\frac{k-1}{k}}}{\left(1-\varepsilon^{\frac{k-1}{k}}\right)\left[1 - \frac{\Delta p_{02}}{p_1'}\left(1-\varepsilon\right)\right]^{\frac{k-1}{k}}},$$

где $\lambda = c/a_к$ — безразмерная скорость, c — скорость потока, $a_к$ — критическая скорость; $\varepsilon = p_2/p_{01}$ — отношение давлений за и перед решеткой; p_{01} — давления торможения перед решеткой; p_2 — статическое давление за решеткой; $\Delta p_{02} = (p_1 - p_{02})$ — изменение давления торможения в решетке; $p_1' = (p_{01} - p_1)$ — избыточное начальное давление.

Расчеты потерь кинетической энергии в решетках при различных моделях турбулентности — k–ε (*realizable*), k–ω (*SST*) — и экспериментально полученные значения коэффициентов потерь для угла входа потока $\beta_1 = 21°$ приведены на рис. 3.

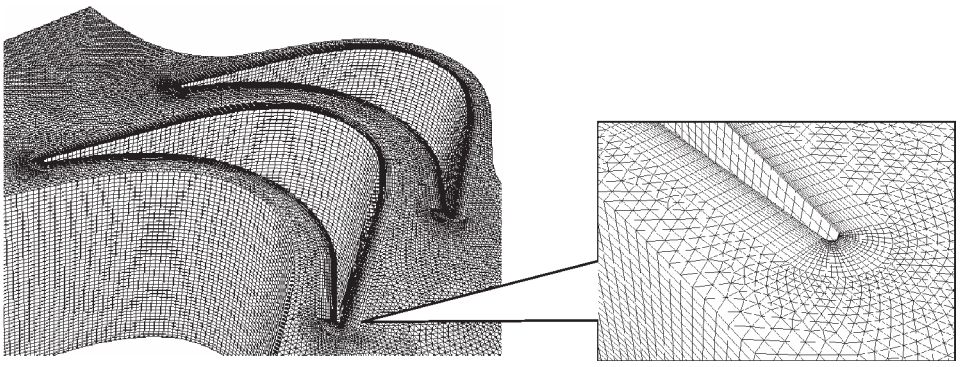


Рис. 2. Фрагмент расчетной сетки для турбинной решетки (b = 20 мм, $\bar{l}$ = 0,67)

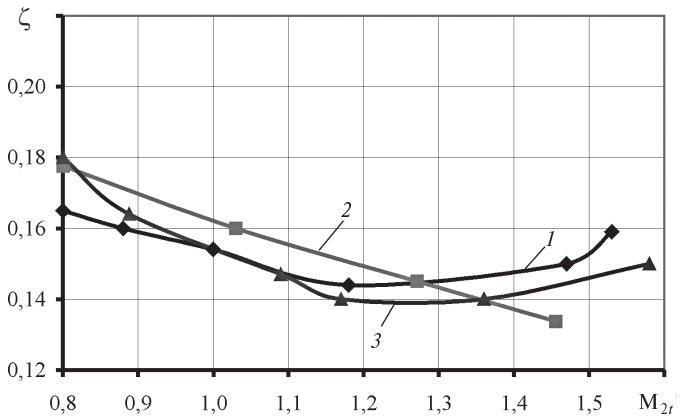


Рис. 3. Сравнение расчетных значений коэффициентов потерь кинетический энергии ζ с экспериментом. Приведенные результаты отражают зависимость потерь от числа Маха при различных моделях турбулентности: *1* — эксперимент; *2* — *k*–ε (*realizable*); *3* — *k*–ω (*SST*)

Результаты расчета потерь, полученные с помощью программы *Fluent*, близки к экспериментальным данным — характер кривых совпадает, имеются хорошие совпадения в области чисел M_{2t} от 0,9 до 1,4.

Следует отметить, что результаты численных исследований зависят от выбора модели турбулентности, от количества элементов расчетной сетки и типа сетки. Рост числа M в турбинной решетке влечет за собой некоторое перерасширение на выходном участке вблизи выпуклой поверхности с последующими слабыми скачками, смещенными к выходной кромке. При числах M > 1,2 интенсивность скачков и протяженность сверхзвуковой зоны возрастают, что приводит к увеличению потерь кинетической энергии.

На рис. 4 приведено расчетное распределение по высоте лопаток коэффициентов потерь ζ, осредненных по шагу решетки. Рассматривая распределение коэффициентов потерь по высоте решетки, следует отметить характерные провалы и пики — следствие вторичных перетеканий и канальных вихрей. При развитом сверхзвуковом течении интенсивность периферийного движения в пограничных слоях резко уменьшается.

Относительное возрастание потерь в периферийных сечениях объясняется образованием скачков уплотнения, интенсивность которых не остается постоянной по высоте решетки.

На рис. 5, *а* приведено распределение статического давления в межлопаточном канале рабочей решетки на относительном расстоянии

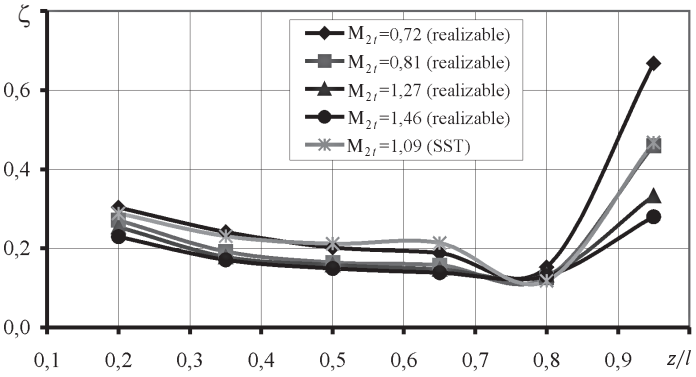


Рис. 4. Распределение коэффициентов потерь ζ по высоте решетки

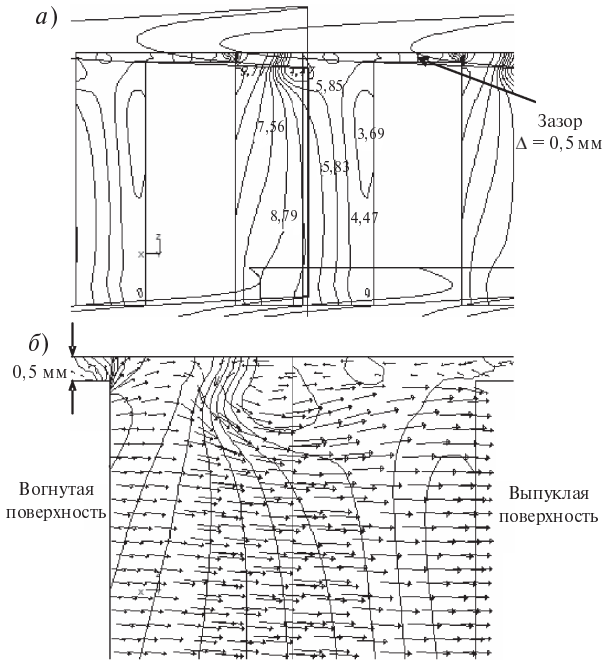


Рис. 5. Поле распределения статического давления (10^4 Па) (*а*) и векторы скорости потока на поле распределения статического давления в межлопаточном канале, имеющем радиальный зазор при расстоянии $y/b = 0{,}15$ (*k*—ω-(SST)), $M_{2t} = 1{,}09$) (*б*)

$y/b = 0{,}15$ от плоскости выходных кромок, на рис. 5, *б* — распределение векторов скорости потока в этом же сечении. Расчет показал, что во всех сечениях вдоль высоты проточной части статическое давление около выпуклой поверхности меньше, чем около вогнутой.

Рис. 5, *б* демонстрирует, что вследствие влияния периферийного вихря поток от вогнутой поверхности перетекает к выпуклой. Поток из зазора ($\Delta = 0{,}5$ мм) попадает в межлопаточный канал и взаимодействует с вихревыми течениями в канале. Частично поток попадает в зазор над лопаткой в соседний канал. По мере приближения к выходной кромке все большее количество газа, перетекающего через зазор из соседнего канала, участвует в вихревом движении. В расчете подтверждены классические результаты: в изогнутом канале наблюдается неравномерность скоростей поперек канала — у выпуклой стенки скорости больше, чем у вогнутой. На выпуклой стороне профиля поток интенсивно ускоряется, и эта зона заканчивается скачком уплотнения внутри канала. В периферийной области на вогнутой поверхности лопатки частицы газа, подторможенные в пограничном слое на профиле, движутся вверх к выходной кромке.

На рис. 6 показано изменение коэффициентов потери энергии вдоль высоты лопатки в зависимости от угла входа потока. В данном случае — при увеличении углов входа потока от 18 до 24° — было получено уменьшение коэффициента потери энергии, кроме сечения $z/l = 0{,}2$ при $M_1 = 1{,}4$. Изменение угла входа потока влияет на распределение скорости и давления на вогнутой и выпуклой поверхности. Из графиков на рис. 6 видно, что на середине высоты лопатки величина коэффициента потери энергии меньше по сравнению с потерями в сечениях $z/l = 0{,}2$ и $z/l = 0{,}9$.

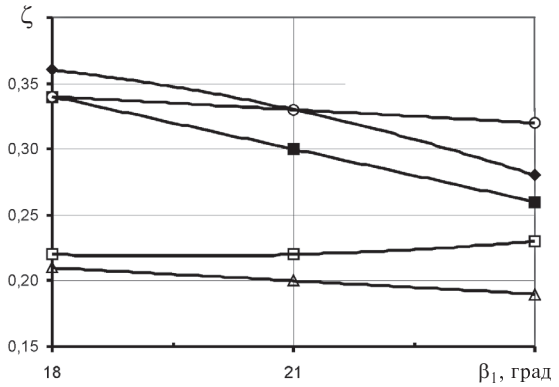


Рис. 6. Изменение коэффициентов потери энергии по высоте лопатки в зависимости от угла входа потока:
— $z/l = 0{,}2$ ($M_1 = 0{,}8$); — $z/l = 0{,}5$ ($M_1 = 0{,}8$);
— $z/l = 0{,}9$ ($M_1 = 1{,}4$); — $z/l = 0{,}2$ ($M_1 = 1{,}4$);
— $z/l = 0{,}5$ (M1 = 1,4)

На рис. 7 приведено распределение коэффициента давления в разных сечениях по высоте решетки вдоль выпуклой и вогнутой поверхности профиля при $M_{2t} = 1{,}09$ и угле входа потока 21°. На выпуклой поверхности уменьшение давления происходит от $y/b = 0{,}85$ до $y/b = 0{,}16$, что видно по кривым *1*, *2*, *3* для сечений $z/l = 0{,}2; 0{,}5; 0{,}9$.

На выпуклой части входной кромки давление остается практически постоянным. Минимум давления имеет место в диффузорной области около $y/b = 0{,}16$, из-за чего на этом участке профиля возникают большие скорости.

В минимальном сечении и около выходной кромки наблюдается градиент давления по вы-

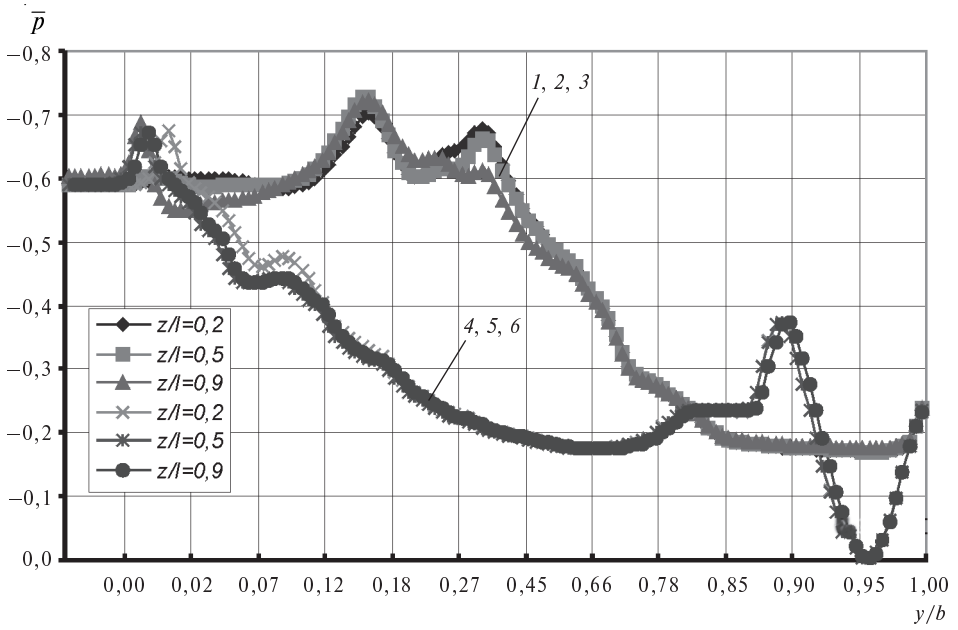


Рис. 7. Распределение коэффициента давления $\bar{p} = \frac{p - p_1}{\rho_1 c_1^2 / 2}$ по высоте решетки

(*1*, *2*, 3 — на выпуклой поверхности; *4*, *5*, *6* — на вогнутой поверхности; $M_{2t} = 1{,}09$; $\beta_1 = 21°$)

соте лопатки между сечениями z/l = 0,9 ; 0,2 и 0,5. Из графика видно, что в сечении z/l = 0,9 давление выше, чем в других сечениях.

На вогнутой поверхности увеличение давления происходит у входной кромки; снижение давления имеет место для y/b от 0,95 до 0,90. Затем давление вновь возрастает до точки профиля y/b = 0,66. Перепад давления по высоте лопатки возникает в выходном сечении. На выходном участке спинки, где интенсифицируются вторичные течения, поток становится более конфузорным — продольные градиенты давления возрастают. В большинстве случаев при сверхзвуковых скоростях на входе в решетку в межлопаточном канале возникает отрыв потока.

Таким образом, численный расчет трехмерного вязкого течения в проточной части рабочей решетки турбины с использованием модели турбулентности k–ε (*realizable*) и k–ω (*SST*) и комбинации формы сетки позволил получить результаты, близкие к данным эксперимента в области чисел М от 0,9 до 1,4. По высоте лопатки низкий коэффициент потерь энергии наблюдается при z/l = 0,75. После z/l > 0,75 происходит резкое увеличение интенсивности вторичных течений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дейч, М.Е.** Основы аэродинамики осевых турбомашин [Текст] / М.Е. Дейч, Г.С.Самойлович.— М.: Машиностроение, 1959.— 428 с.

2. **Dring, R.P.** Turbine Aerodynamics [Текст] / Dring R.P., Heiser W.H.— Aerothermodynamics of Aircraft Engine Components: Chap.— New York: AIAA Inc., 1985.

3. **Кириллов, И.И.** Теория турбомашин (примеры и задачи) [Текст] / И.И. Кириллов, А.И. Кириллов.— Л.: Машиностроение, 1974.— 320 с.

4. **Goriatchev, V.** CFD-analysis of secondary flow and pressure losses in a NASA transonic turbine cascade [Текст] / V. Goriatchev, N. Ivanov, E. Smirnov, V. Ris // The 12th International Conference on Fluid Flow Technologies.— Budapest, Hungary.— 2003.

5. **Дейч, М.Е.** Атлас профилей решеток осевых турбин [Текст] / М.Е Дейч, Г.А. Филиппов, Л.Я. Лазарев.— М.: Машиностроение, 1965.— 96 с.

УДК 621.319.4

В.О. Белько, О.А. Емельянов

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СЕГМЕНТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Развитие электроэнергетического оборудования предъявляет повышенные требования к техническим характеристикам электрических конденсаторов, входящих в состав мощных импульсных накопителей энергии. Область применения емкостных накопителей энергии весьма обширна и продолжает развиваться: от накачки лазерных систем до мощных установок, применяемых в электроимпульсной технике, включая специальные аппараты для формирования плазменных пучков. Эти требования связаны с увеличением удельной запасаемой энергии, ресурса и рабочей частоты конденсаторов, а также снижением потерь энергии, собственной индуктивности и внутреннего сопротивления.

Один из основных технических показателей электрических конденсаторов — удельная плотность запасаемой энергии $W_{уд}$, определяемая следующим соотношением:

$$W_{уд} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 E^2}{2}, \qquad (1)$$

где ε_r — относительная диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика; ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; E — напряженность электрического поля в диэлектрике конденсатора.

В настоящее время значение $W_{уд}$ конденсаторов зарубежного производства (Германия, США, Япония, Швейцария) доведено до уровня 2–3 кДж/см^3 для серийных образцов [1] и 4–4,5 кДж/см^3 для экспериментальных [2]. Что касается отечественных конденсаторов, $W_{уд}$ для экспериментальных образцов находится в пределах 0,8–1 кДж/см^3. Наиболее типичные из существующих конденсаторных диэлектриков — это полипропиленовая (ПП, $\varepsilon_r = 2{,}2$), а также полиэтилентерефталатная (ПЭТФ, $\varepsilon_r = 3{,}2$) пленки. Ввиду их невысокой диэлектрической проницаемости основным путем увеличения удельной энергии конденсатора остается повышение напряженности электрического поля в диэлектрике.

Последние тенденции в развитии техники привели к тому, что для улучшения массогабаритных показателей поддерживают рабочие значения напряженности электрического поля в конденсаторах с органическим диэлектриком близкие к пределу электрической прочности



Рис. 1. Рост величины рабочей напряженности в конденсаторах

самих полимерных материалов. На рис. 1 показана тенденция роста значений рабочей напряженности в конденсаторном диэлектрике за последние 25 лет [3].

В условиях значительного уровня рабочей напряженности электрического поля высокая работоспособность конденсаторов может быть обеспечена только при локализации пробоя диэлектрика на незначительной площади электродов без заметного изменения параметров конденсатора в целом. Конденсаторы, обладающие таким свойством, получили название самовосстанавливающихся. Самовосстановление (СВ) заключается в изоляции слабого места в диэлектрике при пробое вследствие испарения тонкой (5–20 нм) металлизированной обкладки металла вокруг канала пробоя, которое вызвано протеканием тока высокой плотности. В конструктивном отношении указанный процесс был реализован в металлопленочных конденсаторах (МПК). На пути своего развития данная технология прошла путь от электродов со сплошной металлизацией к структурированной по поверхности — сегментированной. СВ в конденсаторах со структурированной металлизацией заключается в «отсечке» определенного сегмента (или группы сегментов) за счет перегорания проводящих перемычек (токовых мостиков), соединяющих сегменты между собой, а также с контактной зоной. Сегментирование позволило ограничить энергию, выделяемую в месте пробоя, и, сделав ее управляемым параметром, повысить надежность конденсаторов в целом [4].

Технология получения и структура сегментированных электродов — ключевые предметы самостоятельных научно-технических задач при разработке конденсаторов. Следует констатировать, что на современном этапе развития конструкций МПК «центр тяжести» научно-технических проблем сместился от традиционных задач оптимизации диэлектрика для исключения или снижения вероятности его пробоя к задачам оптимизации конструкции электродов с целью реализации его «управляемого» пробоя [5]. Поэтому детальное теоретическое и экспериментальное изучение физических процессов, происходящих при СВ в сегментированных обкладках конденсатора, — это ключ к созданию более эффективных конденсаторных конструкций. К сожалению, в последнее время количество публикаций в открытой печати, посвященных сегментированной металлизации, сведено к минимуму, что по понятным причинам есть результат политики компаний-производителей конденсаторов.

Следует отметить, что, несмотря на давний интерес к проблеме, на данный момент не существует общепринятой модели процесса самовосстановления в электрических конденсаторах как со сплошными, так и с сегментированными обкладками. Расчет зоны деметаллизации, а также энергии, выделившейся при самовосстановлении, производится различными авторами на основании определенных допущений о природе процесса разрушения металлических слоев.

Одной из первых была модель, предложенная группой немецких ученых Kammermeier и др. [6]. Здесь основная роль в разрушении металла отводится области высокоионизированной плазмы, которая возникает в месте пробоя диэлектрика и, расширяясь, испаряет на своем пути металлический слой, а также поверхность полимерной пленки. Энергетическая картина разрушения строится исходя из пространственно-временного распределения потенциала и тока в зоне самовосстановления. Критерием погасания плазмы служит недостаточный уровень подводимой энергии для испарения слоя металла и поддержания ионизированного состояния. Предложенная авторами модель позволяет рассчитывать энергию и величину зоны деметаллизации при развитии процесса самовосстановления. Однако ее применимость ограничена ввиду сложности практической реализации. Более того, результаты последующих экспериментов расходятся с данными, предсказываемыми этой теорией.

Другой подход к анализу разрушения металлического слоя был предложен отечественными и французскими учеными [7–9]. В основе этих представлений лежит предположение о том, что испарение металла вызвано исключительно джоулевым нагревом в результате протекающего тока самовосстановления. Для нахождения зоны деметаллизации применяется термодинамический расчет последовательного фазового перехода металла из твердого состояния в газообразное в условиях адиабатического нагрева. За критерий погасания дугового разряда, шунтирующего электроды, принимается снижение удельной объемной мощности ниже уровня $K_c = 5 \cdot 10^{17}$ Вт/м^3. Авторы связывают критический уровень вводимой мощности K_c с определенными значениями уровней

плотности и ионизации плазмы алюминия. Однако модель оказалась адекватной не для всех режимов. Так, при определенных условиях результаты расчета и эксперимента могут отличаться в несколько раз, причем расхождение растет с уменьшением толщины металлизированного слоя. Вообще, расчет нагрева металлического слоя до испарения в адиабатических условиях — наиболее часто применяемый подход при моделировании СВ, в том числе и у отечественных авторов. В работах [8, 9] площадь зоны деметаллизации также оценивается по величине удельной энергии парообразования металла электродов. Однако расчетные значения энергии деметаллизации определенной площади обкладки оказываются отличными от экспериментальных. Таким образом, на сегодняшний день затруднительно указать общепринятую модель процесса самовосстановления электрической прочности МПК. Закономерности электрического разрушения металлов исследуются в теории электрического взрыва проводников (ЭВП), однако результатов, применимых к рассматриваемым конструктивным особенностям, в литературе найти не удалось.

Моделирование токового разрушения металлизированных электродов

При анализе процесса электродинамического разрушения металлизированного слоя нужно принять во внимание следующее. Во-первых, удельное сопротивление тонких металлических пленок выше, чем сопротивление массивных металлов, однако это не учитывается в существующих моделях. Во-вторых, экспериментально показано [10], что при наносекундных временах нарастания импульсов тока высокой плотности имеет место пространственно-неоднородный механизм разрушения обкладки, который характеризуется энергетическими затратами на процесс, отличающимися от предсказываемых термодинамическим расчетом. Важный аспект — то, что даже при малых временах поток тепла в полимер от разогреваемого током металла достаточно существенный и должен быть обязательно учтен при расчетах. Так, отвод тепла на прогрев слоя полимера толщиной, равной уже одной десятой толщины металлизации, в значительной степени отразится на динамике роста температуры обкладки. Характерная глубина проникновения тепловой волны определяется соотношением

$$\lambda = \sqrt{\chi_{pol}\tau}, \qquad (2)$$

где χ_{pol} — коэффициент температуропроводности полимера. Тогда время τ, необходимое для прогрева слоя полимера толщиной $0{,}1\delta_{me}$ (примем среднюю толщину обкладки равной 20 нм):

$$\tau = \frac{(0{,}1\delta_{me})^2}{\chi_{pol}} = \frac{(0{,}1\cdot 20\cdot 10^{-9})^2}{0.3\cdot 10^{-6}} \approx 10^{-11}\ \text{с}.$$

Время нарастания тока при СВ соответствует времени развития пробоя в полимере τ_{pol} порядка 5–50 нс [11] и может быть оценено из соображений, что канал пробоя формируется со скоростью звука V_S, которая в полимерах составляет примерно 1500–2000 м/с [12]. Тогда, принимая $V_S = 1700$ м/с для полимерной пленки толщиной 10 мкм, получаем

$$\tau_{pol} = \frac{\delta_{pol}}{V_S} = \frac{10^{-5}}{1{,}7\cdot 10^{3}} \approx 6\ \text{нс}.$$

Имея ввиду, что $\tau << \tau_{pol}$, можно сделать вывод о том, что теплоотвод в полимер необходимо учитывать при расчетах реальных параметров процесса СВ.

Поскольку нагрев металла все-таки происходит не в адиабатических условиях и выделяемое джоулево тепло идет на нагрев как металла, так и части полимерной подложки, динамику роста температуры металлического слоя можно найти из решения уравнения теплопроводности

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T + j(t)^2 \Big/ \sigma_{\text{Me}}, \qquad (3)$$

где ρ, C_p, λ, σ_{Me} — плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности и удельная проводимость металла перемычки; $j(t)$ — плотность тока в перемычке.

Помимо теплоотвода в полимер при неизменном законе нарастания плотности тока в металле расхождение эксперимента и теории может быть также обусловлено и коэффициентами уравнения ρ, C_p, λ. Это справедливо, если указанные свойства тонких пленок металла отличаются от свойств массивных образцов. Вместе с тем в [13] показано, что плотность тонких металлических пленок не отличается от плотности массивных образцов металла. Из [14] известно, что C_p и температуропроводность неизменны также для металлических пленок малых толщин, и, как следствие, величина λ сохраняется при уменьшении толщины металла.

Тогда временную зависимость температуры в металле можно найти из системы уравнений (4), сведя задачу к одномерному случаю:

$$\begin{cases} \rho C_p \dfrac{\partial T}{\partial t} = q_v + \lambda \dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} \ \text{(в металле)}; \\ \rho_{pol} C_{p\,pol} \dfrac{\partial T_{pol}}{\partial t} = \lambda_{pol} \dfrac{\partial^2 T_{pol}}{\partial x^2} \ \text{(в полимере)}, \end{cases} \quad (4)$$

где ρ_{pol}, $C_{p\,pol}$, λ_{pol} — плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности полимерной пленки; x — координата, отсчитываемая от границы металл — диэлектрик вглубь полимера.

Усредняя температуру по металлическому слою (полагая $T_{\text{Me}} = \text{const}(x)$), а также используя известное [15] решение для полупространства с тепловым потоком q_s на границе, имеем

$$\begin{cases} \left.\dfrac{\partial T}{\partial t}\right|_{x=0} = Q_V - Q_S; \\ T(x,t) = \dfrac{\sqrt{\chi_{pol}}}{\lambda_{pol}\sqrt{\pi}} \displaystyle\int_0^t q_s(t-\tau)\, e^{-\frac{x^2}{4\chi_{pol}\tau}} \frac{d\tau}{\sqrt{\tau}}, \end{cases} \quad (5)$$

где $Q_V = \dfrac{q_V}{\rho C_p} = \dfrac{1}{\rho C_p} \dfrac{j(t)^2}{\sigma_{Me}}$ — джоулево удельное тепловыделение в металле; $Q_S = \dfrac{q_S|_{x=0}}{\rho C_p \delta_{Me}}$ — плотность тепловой энергии, уходящей на нагрев полимера; $q_S|_{x=0}$ — поток тепла на границе металл — диэлектрик.

Используя преобразование Лапласа для решения интегрального уравнения системы (5), получим выражение для температуры на границе металл — диэлектрик в зависимости от удобно описываемой экспериментальной зависимости тепловыделения $Q_V = bt^k$:

$$T(t)\big|_{Q_V = b\cdot t^k} =$$

$$= b\,k!\left[\sum_{n=0}^{k}\left[\frac{-t^n}{n!\,a^{2(k-n+1)}} + \frac{t^{n+1/2}\,2^{n+1}}{\sqrt{\pi}\,(2n+1)!!\;a^{2(k-n+1/2)}}\right] + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{a^{2(k+1)}} e^{a^2 t}\,\text{erfc}(a\sqrt{t})\right], \quad (6)$$

где $a = \dfrac{\lambda_{pol}}{\rho C_p \delta \sqrt{\chi_{pol}}}$. Тогда

$$Q_S = Q_V - \frac{dT(t)}{dt}.$$

Зная Q_S, можно оценить насколько больше тепла необходимо сообщить металлу для разрушения с учетом влияния подложки. Расчет показывает, что при джоулевом нагреве металлизированной пленки уже при временах 10–15 нс до половины выделяемого тепла уходит в полимерную пленку. Таким образом, используя термодинамический расчет последовательных фазовых превращений с учетом теплоотвода в полимерную пленку, можно рассчитать все основные энергетические характеристики процесса разрушения металлизированной пленки.

Экспериментальное изучение токового разрушения металлизированных пленок

В рамках проверки предложенной модели СВ были проведены экспериментальные исследования по изучению токового разрушения тонких металлических пленок в диапазоне времен от десятков нс до единиц мкс, характерном для процессов СВ.

Для этого на образцах, изготовленных из металлизированных цинком конденсаторных пленок, были проведены две серии опытов. Первая серия отличалась высокими значениями плотности пропускаемого тока (примерно до $3\cdot10^{12}$ А/м^2) и малым (единицы—десятки нс) временем воздействия токового импульса. Характерные осциллограммы тока и напряжения, а также фотография поверхности образца после приложения нагрузки представлены на рис. 2, *а*. Следует обратить внимание на пространственно неоднородный характер разрушения металлической пленки, поперечный по отношению к току, протекающему через образец.

Вторая серия экспериментов заключалась в следующем. В экспериментальной установке имитировался пробой конденсаторного диэлектрика с последующим развитием акта СВ. При этом происходило токовое разрушение металлических мостиков, подводящих ток к дефектному сегменту металлизации. Время разрушения (десятые доли — единицы мкс) изменялось в зависимости от напряжения, прикладываемого к образцу. Осциллограмма тока разрушения мостика и фотография «отключенного» сегмента приведены на рис. 2, *б*.

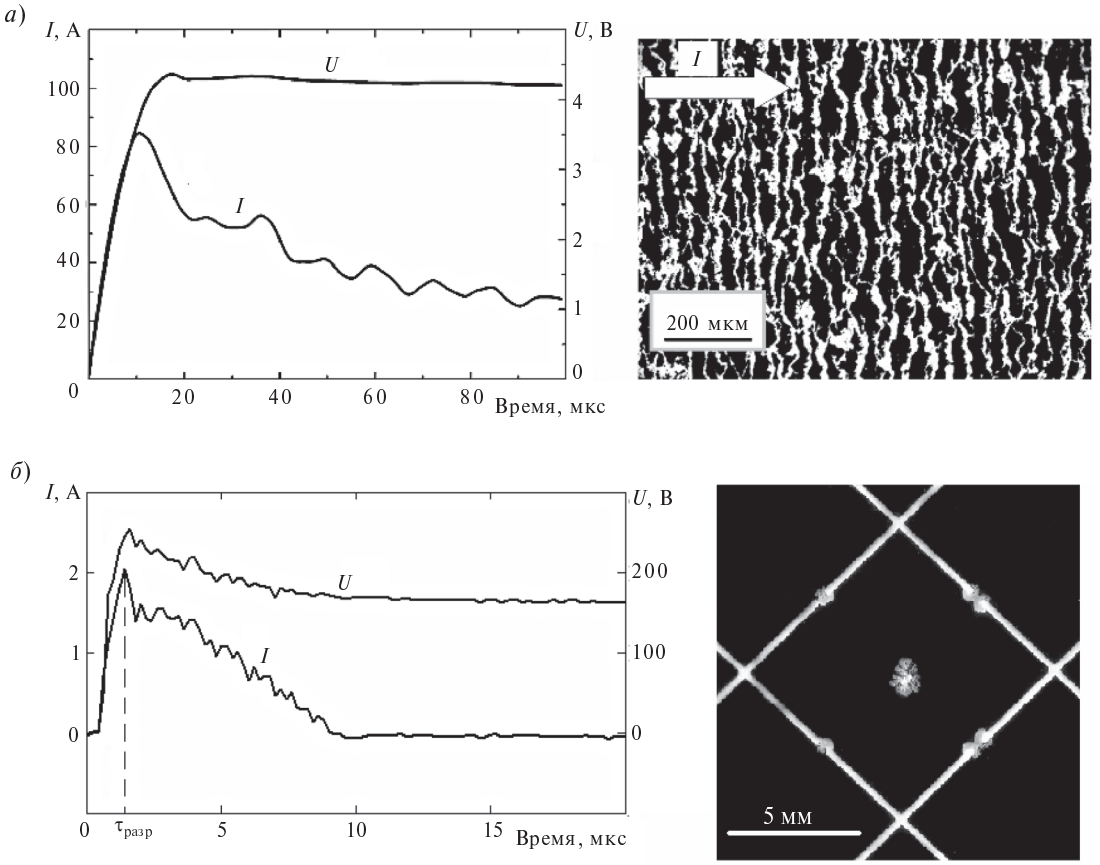


Рис. 2. Типичные осциллограммы тока и напряжения при «быстром» разрушении металла (*а*) (микрофотография поверхности металлизированной пленки после импульса тока; белые полосы — деметаллизированные участки, черные — неразрушенный металл) и при «медленном» разрушении металла (*б*) (фотография «отключенного» в результате СВ сегмента)

В результате проведения численного моделирования распределения тока в сегментированной обкладке (см. рис. 3) было установлено, что плотность тока в перемычках дефектного сегмента, ближних к контактному краю, выше приблизительно на 27–30 %, чем в перемычках, отдаленных от контактного края. При этом ток, протекающий через максимально нагруженную перемычку составляет около $I_{полн}/3{,}5$ (где $I_{полн}$ — полный ток, втекающий в сегмент), а сопротивление току, подтекающему от обкладки к дефектному сегменту, приблизительно равно $1{,}5R_s$ (R_s — поверхностное сопротивление металлизации).

Обсуждение результатов

Многочисленные эксперименты по электрическому взрыву проводников свидетельствуют о сохранении для данного типа металла определенного значения величины интеграла действия тока, которое связано с энергией, необходимой для разрушения металла [16,17]:

$$J = \int_0^{\tau_{разр}} j(t)^2\, dt, \qquad (7)$$

где $j(t)$ — плотность тока в металле.

На рис. 4 приведена экспериментально полученная регрессионная зависимость интеграла действия тока до разрушения от времени разрушения τ.

Через J_{bulk} обозначено расчетное значение интеграла действия тока для массивных образцов цинка. Из графика видно, что по мере увеличения времени разрушения, значение J_{exp} все больше превышает J_{bulk}. Более того, ситуация усугубляется следующим обстоятельством. Как уже

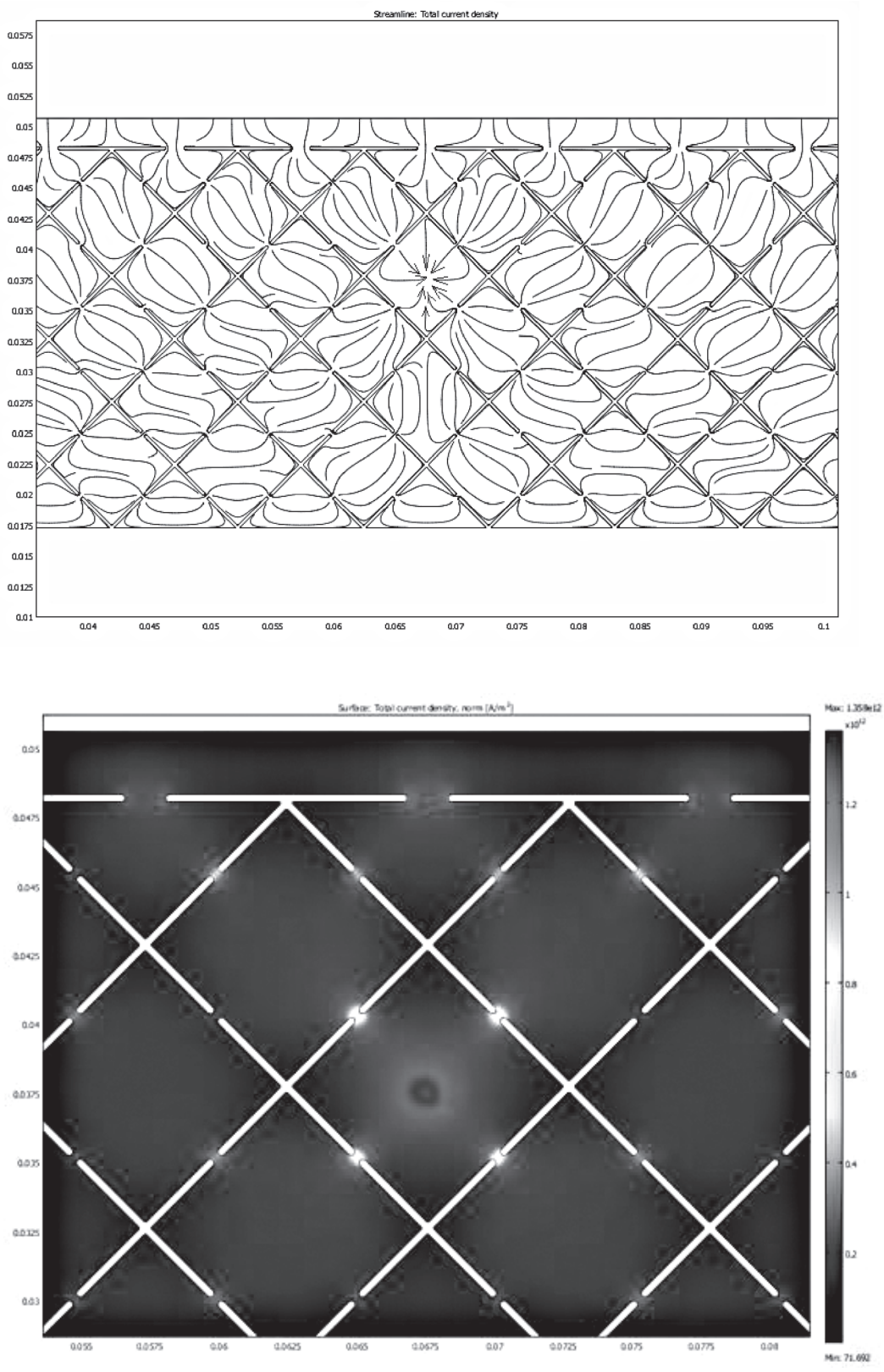


Рис. 3. Результаты численного моделирования распределения тока в сегментированной обкладке

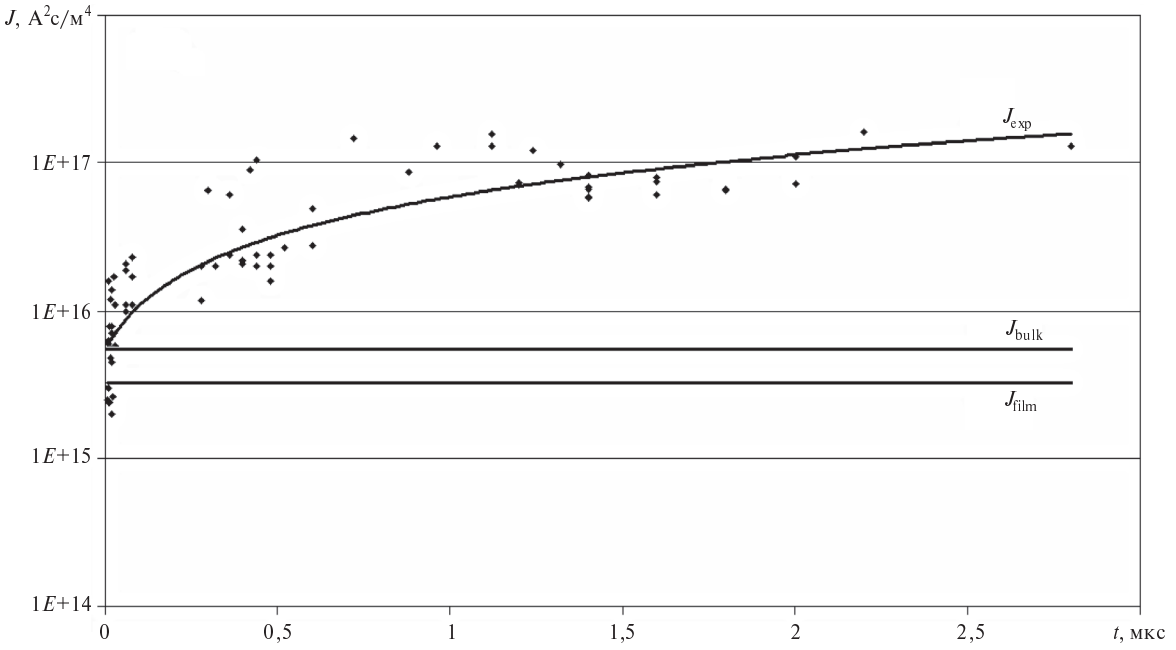


Рис. 4. Регрессионная зависимость интеграла действия тока от времени разрушения.

было сказано, при малой толщине металлы обладают повышенным значением удельного сопротивления. Соответственно при одинаковых плотностях тока в тонком металлическом слое удельное энерговыделение будет выше, чем в массивном образце. Следовательно, для тонких пленок интеграл действия J_{film} должен быть меньше, чем J_{bulk}, во столько раз, во сколько отличаются их удельные сопротивления. На график добавлена зависимость $J_{film}(\tau)$, пересчитанная для этого случая. Таким образом, имеет место существенное расхождение между результатами эксперимента и теоретическими предсказаниями энергии разрушения.

На рис. 5 представлены результаты расчета плотности тока разрушения $j_{расч}(\tau)$ с учетом теплоотвода в полимерную пленку. Через $j_{теор}(\tau)$ на графике обозначена зависимость, рассчитанная из интеграла действия $J_{film}(\tau)$.

Расчетная зависимость находится в зоне 95 %-го доверительного интервала экспериментальных данных, что свидетельствует о справедливости предложенного подхода к оценке теплоотвода в подложку и его влияния на механизм разрушения перемычки. Данный подход может быть также применен при расчетах импульсной токовой устойчивости для других металлов перемычек и других полимерных пленок.

Правильная оценка токовой устойчивости металлизированных перемычек представляет возможность создать такую геометрию сегментации, при которой с требуемой вероятностью будет гарантировано максимально эффективное самовосстановление конденсатора при пробое. Эта эффективность определяется отключением именно одного сегмента (или 4-х мостиков для исследуемого типа сегментации) в результате токового разрушения перемычек. При меньшем количестве сгоревших перемычек неизбежен вторичный пробой, а выгорание большего количества перемычек способствует заметному снижению емкости и большему энерговыделению. Последнее может отрицательно сказаться на тепловой стабильности конденсатора и даже привести к цепному пробою соседних слоев конденсаторной секции.

Основные результаты работы

Предложена модель электродинамического разрушения металлизированных пленок, учитывающая влияние на механизм разрушения таких параметров как повышенное удельное сопротивление, толщина металлического слоя и теплофизические характеристики полимерной пленки.

Проведены экспериментальные исследования по токовому разрушению тонких металлических пленок в диапазоне времен от десятков нс до единиц мкс, характерном для процессов СВ. Результаты исследований подтвердили правомерность предложенной модели, учитываю-

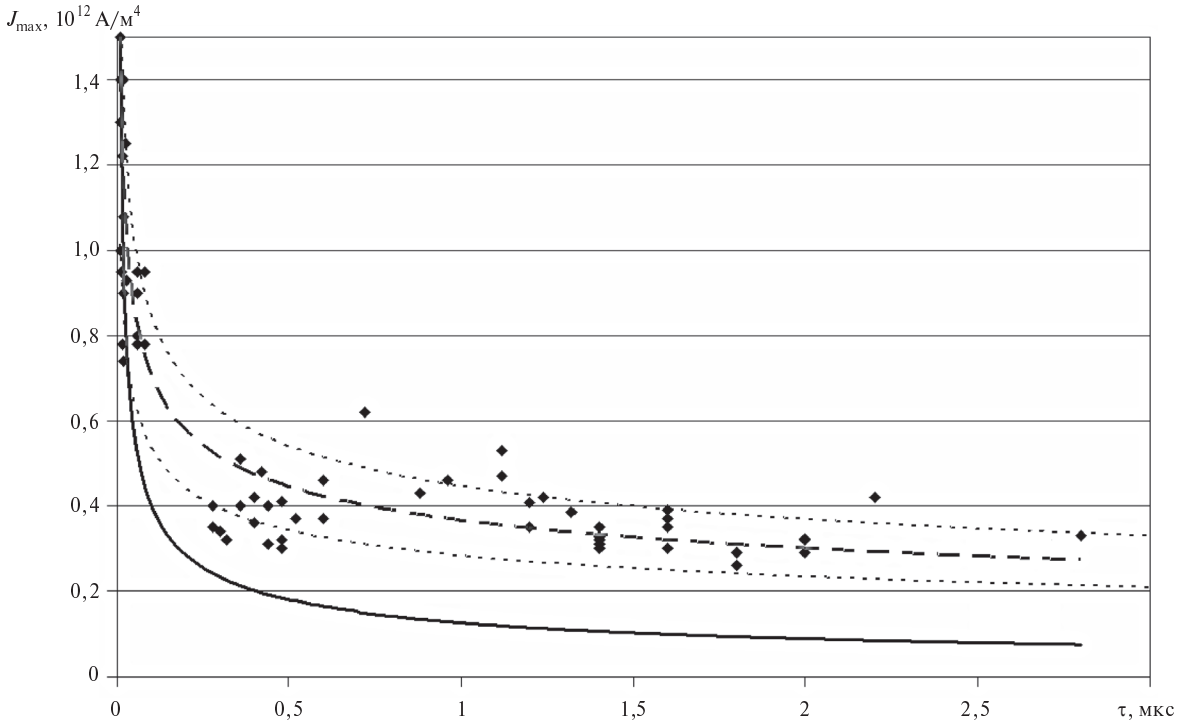


Рис. 5. Экспериментальная и расчетная зависимости максимальной плотности тока от времени разрушения

щей влияние теплоотвода в подложку при развитии процесса самовосстановления в конденсаторной конструкции.

На основании экспериментальных и модельных исследований предложена методика по расчету оптимальных параметров сегментированной металлизации. Были рассчитаны геометрические параметры токовых мостиков для сегментной металлизации мозаичного типа.

В результате проведенных испытаний конденсаторы, изготовленные из сегментированных пленок с аналогичными размерами перемычек, показали более стабильные характеристики (убыль емкости, рост тангенса угла диэлектрических потерь) при максимальной рабочей напряженности электрического поля, допустимой для данного типа конденсаторов.

Выполненные оценки показывают, что выбор величины рабочей напряженности в конденсаторе на уровне электрической прочности диэлектрика позволяет определить физический предел удельной запасаемой энергии (на примере пленки ПЭТФ)

$$W_{\text{уд}} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 E^2}{2} =$$

$$= \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м} \cdot 3{,}2 \cdot (700\ \text{кВ/мм})^2}{2} \approx 6{,}5 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^3},$$

что в 1,5–3 раза выше достигнутых на сегодняшний день значений. Работоспособность конденсатора с такими показателями может быть обеспечена только с применением сегментированной металлизации с оптимальными параметрами. Следует учесть: применение сегментированной металлизации неизбежно ведет к увеличению эквивалентного последовательного сопротивления конденсатора, что уменьшает эффективность отдачи накопленной конденсатором энергии. Последнее обстоятельство может быть существенным при использовании рассматриваемых конденсаторных конструкций в режимах работы с повышенными значениями рабочей частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **MacDonald, J.R.** High energy density capacitors [Текст] / J.R. MacDonald, M.A. Schneider, J.B. Ennis [et al.] // IEEE Electrical Insulation Conference 2009/ Montreal, QC, Canada, 31 May — 3 June 2009.

2. **Slenes, K.M.** Compact capacitor technology for future electromagnetic launch applications [Текст] / K.M. Slenes, L.E. Bragg // IEEE Trans. on magnetics. 2005. Vol. 41, № 1.

3. **Connolly, J.** High energy density capacitor development at ABB power [Текст] / J. Connolly, M. Dunn // IEEE International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics.— June 22–25, 1998.

4. **Беленький, Б.П.** Технологические и материаловедческие проблемы развития конденсаторов и нелинейных полупроводниковых резисторов [Текст] / Б.П. Беленький, Н.И. Горбунов // Современная электроника.— 2008. № 1.— С. 10–13.

5. **Беленький, Б.П.** Некоторые особенности и современные тенденции развития конденсаторов для электронной аппаратуры [Текст] / Б.П. Беленький, Н.И. Горбунов // Тез. докл. V Междунар. научно-техн. конф. Электрическая изоляция 2010».— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.— С. 3–10.

6. **Kammermaier, J.** Modeling of plasma-induced self-healing in organic dielectric [Текст] / J. Kam-mermaier, G. Rittmayer // J. Appl. Phys.— 1989. Vol. 66(4).

7. **Tortai, J-H.** Self-healing of capacitors with metallized film technology: experimental observations and theoretical model [Текст] / J-H. Tortai, A. Denat, N. Bonifaci // J. Electrostatics.— 2001.— Vol. 53. P. 159–169.

8. **Чатинян, Ю.С.** Расчет процессов самовосстановления электрической прочности после пробоя в конденсаторах с металлизированными обкладками [Текст] / Ю.С. Чатинян, В.А. Сараджев, Э.В. Кургинян // Электричество.— 1984. № 3.— С. 67–69.

9. **Петренко, Л.Г.** О процессе самовосстановления электрической прочности металлизированных диэлектриков [Текст] / Л.Г. Петренко, С.В. Биньков // Электричество.— 1984. № 3.

10. **Белько, В.О.** Исследование наносекундного электрического взрыва тонких алюминиевых пленок [Текст] / В.О. Белько, О.А. Емельянов // Письма в «Журнал технической физики».— 2009. Т. 35, № 18.

11. **Yamadat, H.** / H. Yamadat, T.Fujiwarat, Y. Suzuokit. J. Phys.— 1993. Cep. D: Appl. Phys. 26.— 1328.

12. **Перепечко, И.И.** Акустические методы исследования полимеров [Текст] / И.И. Перепечко. М.: Химия, 1973.

13. **Wolter, A.R.** Measurements of metallic film densities by an optical technique [Текст] / A.R. Wolter // Journal of Applied Physic.— 1965. Vol. 36. № 8.

14. **Taketoshi, N.** Development of a thermal diffusivity measurement system for metal thin films using a picosecond thermoreflectance technique [Текст] / N. Taketoshi, T. Baba, A. Ono // Meas. Sci. Technol. 2001. № 12. P. 2064–2073.

15. **Карслоу, Г.** Теплопроводность твердых тел [Текст] / Г. Карслоу, Д. Егер.— М., 1964.

16. **Месяц, Г.А.** Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга [Текст] / Г.А. Месяц.— М.: Наука, 2000.— 424 с.

УДК 621.165

А.В. Осипов, А.Н. Голушко, А.В. Бирюков

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРЦИАЛЬНОГО ОТСЕКА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ БЛАГОДАРЯ ФИЗИЧЕСКОМУ И ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

Современные тенденции проектирования проточной части паровых турбин с сопловым парораспределением предполагают использование отсека, включающего регулирующую ступень (РС), уравнительную камеру (УК) за ней и последующую ступень давления. Требуемый режим работы турбины обеспечивается изменением степени парциальности впуска рабочего тела (р. т.), которая в основном и определяет экономичность РС и условия течения в УК. Как показывают опытные данные, изменение парциальности РС, конструкция и геометрические размеры УК оказывают существенное влияние на эффективность и надежность работы последующих ступеней давления.

Опубликовано [1–5] сравнительно большое количество результатов экспериментальных исследований ступеней с парциальным подводом р. т., но лишь незначительная их часть посвящена изучению влияния парциального впуска на работу следующих за РС ступеней давления. Применяемые численные методы при доводке экспериментальных моделей предполагает использование гидрогазодинамических пакетов

[6, 7]. К ним относятся, например, SINF (программный продукт СПбГПУ), FlowVision, ANSYS CFX, FlowER, FLUENT, CFD-TASCflow, STAR-CD, Fine Turbo и др. Достоверность численного моделирования и эффект от его применения могут быть достигнуты лишь на базе результатов экспериментальных исследований на стендах, выполненных при соблюдении основных критериев подобия по отношению к натурным установкам. Анализ экспериментальной базы в области создания эффективных отсеков показывает, что один и тот же фактор, например межступенчатый зазор (МЗ), по-разному влияет на работу смежных ступеней, имеющих различное конструктивное оформление (средний диаметр, втулочное отношение и т. д.). Следует отметить, что до сих пор еще не накоплено достаточного количества экспериментального материала и результатов численного моделирования, позволяющего обобщить основные принципы при проектировании парциальных отсеков. Таким образом, существует необходимость четкой характеристики типов двухступенчатых парциальных отсеков, определения основных факторов, влияющих на их эффективность, и разработки методов доводки подобных отсеков.

В двухступенчатом парциальном отсеке окружная и радиальная неравномерности достигают значительных величин и оказывают влияние на работу не только самого отсека, но и цилиндра высокого давления в целом. Это объясняется неосесимметричным течением в камере за РС, что вызвано парциальным впуском р. т. Поэтому проведение физических экспериментов необходимо для исследования сложного пространственного течения в УК, а создание математической модели обусловлено стремлением к ее интенсивной оптимизации.

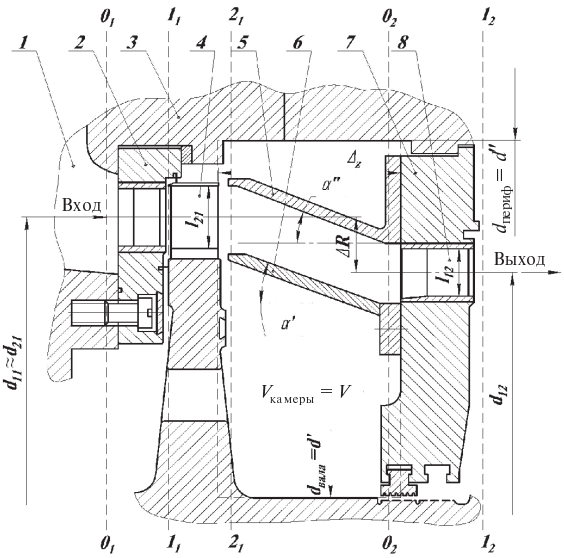


Рис. 1. Типовая конструкция камеры за регулирующей ступенью паровой турбины с сопловым парораспределением: *1* — сопловая коробка; *2* — сегмент сопел; *3* — корпус; *4* — рабочая лопатка регулирующей ступени; *5* — периферийный обвод в камере; *6* — корневой обвод в камере; *7* — направляющий аппарат первой ступени давления; *8* — направляющая лопатка ступени давления; d_{21} – средний диаметр рабочего колеса РС; l_{21} – высота рабочей лопатки РС по выходной кромке; d_{12} – средний диаметр НА первой ступени давления; l_{12}– высота направляющей лопатки ступени давления; ΔR – разность средних радиусов РС и первой ступени давления; d' – диаметр вала за РС; d'' – диаметр меридионального обвода камеры за РС; Δ_z – межступенчатый зазор; α' – угол наклона корневого обвода в камере; α'' – угол наклона периферийного обвода; V – объем камеры за РС по упрощенной схеме (обозначена штрихпунктирной линией)

Основные конструктивные параметры парциального отсека

Для обобщения многочисленных экспериментально-численных данных по парциальным отсекам необходимо определить основные конструктивные и режимные параметры, которые обусловливают их эффективность. Типичная конструкция отсека представлена на рис. 1.

Вводится система индексов для обозначения параметров рабочего тела в контрольных местах: 0, 1, 2 — соответствуют сечениям перед направляющим аппаратом (НА), в межвенцевом зазоре и за рабочим колесом (РК).

Для большинства паровых турбин низких и средних параметров, например выпускаемых Калужским турбинным заводом, характерны следующие особенности:

1) средний диаметр рабочего колеса РС и средний диаметр НА ступени давления сохраняют свои значения для большинства турбин при отношении $d_{12} / d_{11} < 1$. Таким образом закрутка потока усиливается центростремительным направлением потока от РС до ступени давления;

2) в 40 % случаев используются корневые обводы в камере (α'); периферийные обводы (α'') используются реже;

3) не прослеживается четкой закономерности в выборе объема камеры (V) за РС, он имеет значительный диапазон изменения;

4) осевая ширина камеры Δ_z, необходимая для выравнивания потока в окружном направлении после РС, варьируется в широких пределах ($\bar{\Delta}_z = 0{,}23-1{,}11$) при среднем значении относительного МЗ $\bar{\Delta}_z \approx 0{,}5$, где $\bar{\Delta}_z = \Delta_z / l_{21}$.

Особенности исследований парциального двухступенчатого отсека «регулирующая ступень — уравнительная камера — ступень давления»

Физические и аналитические исследования парциального двухступенчатого отсека подтверждают существование значительной окружной и радиальной неравномерностей в камере за регулирующей ступенью, на входе в направляющий аппарат и на выходе из рабочего колеса ступени давления.

Сложность явлений, возникающих в УК, требует комплексного подхода к поиску оптимальной геометрии камеры численно-экспериментальными методами. При исследовании необходимо учитывать отдельные особенности рассматриваемого отсека.

При оценке потерь энергии в камере, а также входной неравномерности перед НА ступени давления необходимо учитывать реальную закрутку потока после регулирующей ступени, что может быть обеспечено только на динамическом воздушном экспериментальном стенде.

Относительный МЗ $\bar{\Delta}_z$ оказывает существенное влияние на эффективность работы отсека. Зависимость КПД отсека от относительного МЗ $\eta_\Sigma = f\left(\bar{\Delta}_z\right)$ для разных конструкций неодинакова. По экспериментальным данным она имеет криволинейный характер с экстремумом. В традиционных расчетах влияние МЗ на эффективность смежных ступеней не учитывается. Параметр $\bar{\Delta}_z$ определяет:

изменение структуры потока, обусловленное взаимным влиянием ступеней;

различные условия обтекания направляющих лопаток ступени давления и использование выходной кинетической энергии;

потери энергии на пути между ступенями, вызванные гидродинамическим сопротивлением;

неравномерность потока в окружном и радиальном направлениях;

деформацию интегральных характеристик ступеней и отсека в целом (влияние на градиент интегральных зависимостей);

влияние на максимальный КПД ступеней и отсека в целом $\eta_{1\max} = f\left(\bar{\Delta}_z\right)$, $\eta_{2\max} = f\left(\bar{\Delta}_z\right)$, $\eta_{\Sigma\max} = f\left(\bar{\Delta}_z\right)$, где $\eta_{1\max}$, $\eta_{2\max}$ и $\eta_{\Sigma\max}$ — максимальные значения КПД соответственно РС, первой ступени давления и парциального отсека;

осевые габариты, критическую частоту вращения ротора и т. д.

Следует обращать особое внимание на зоны пониженного давления в камере, «безрасходные зоны» (зоны с нулевыми скоростями), зоны взаимодействия потоков (зоны повышенных потерь энергии), в частности взаимодействия основного потока, покидающего РС, с вихревым шнуром в канале.

Численно-экспериментальное исследование парциального «полуторного» отсека

Общие сведения по конструкции экспериментального стенда для исследования парциального «полуторного» отсека приведены в работе [8].

На динамическом стенде лаборатории турбиностроения кафедры тепловых двигателей Брянского государственного технического университета (БрГТУ) существует возможность определения следующих характеристик: действительных углов выхода потока из рабочего колеса РС при полном и парциальном подводе рабочего тела; абсолютной скорости потока на входе в УК; полного и статического давлений на входе в отсек и на выходе из камеры за РС; действительного распределения углов потока на входе в НА ступени давления.

Экспериментальная установка, предназначенная для исследования влияния конструктивных и режимных параметров на работу парциального «полуторного» отсека (за РС устанавливается УК и направляющий аппарат следующей ступени), представлена на рис. 2, 3 и имеет характеристики, приведенные ниже в таблице.

В качестве рабочего тела используется атмосферный воздух. Необходимые параметры воздуха на входе в РС (p_{01}, T_{01}) генерируются систе-

мой вентиляторов. Трубкой давления *10* (см. рис. 2) регистрируется полное давление в контрольной точке на входе в отсек. Предусмотрено траверсирование пятиканальными зондами *11* потока на выходе из рабочего колеса РС в окружном направлении и по радиусу. Угловой диапазон измерения по окружности составляет 240° (см. рис. 3). В радиальном направлении перемещением зонда ($\Delta l_{зонд}$) охватывается наиболее значимая для исследования УК часть *4*. В выходном сечении НА *5* ступени давления на специальном поворотном кольце установлены два пятиканальных зонда *12* для измерения полного и статического давлений, а также углов потока. Поворотным кольцом обеспечивается угол измерения в 240°. Для имитации рабочего колеса за НА ступени давления устанавливается щелевое сопротивление *8*, которое также служит для обеспечения требуемого перепада энтальпий на РС. Конструкцией отсека предусмотрено изменение парциальности путем установки специальных вставок перед и за сопловой решеткой РС.

При проведении опытных испытаний основные задачи следующие:

1) максимально приблизить условия проведения эксперимента (конструктивные и режимные) к натурным условиям работы двухступенчатого парциального отсека.

2) исследовать физическую картину течения за РС, в УК и на входе в ступень давления на разных режимах работы РС путем измерения параметров рабочего тела в контрольных точках и траверсирования в контрольных сечениях

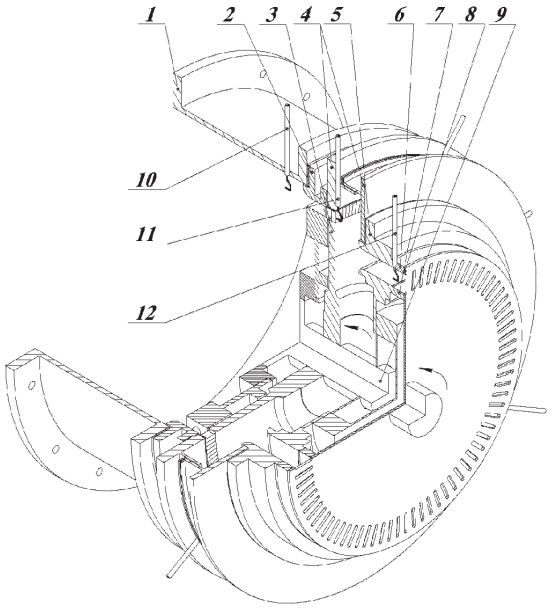


Рис. 2. Конструкция экспериментального «полуторного» отсека: *1* — входной патрубок; *2* — направляющий аппарат РС; *3* — рабочее колесо РС; *4* — уравнительная камера; *5* — направляющий аппарат ступени давления (направляющие лопатки удалены); *6*, *7* — выходные кольца за НА; *8* — диск щелевого сопротивления; *9* — вал; *10* — трубка полного напора; *11*, *12* — пятиканальные полуориентируемые пневмометрические зонды

($p^*_{01}, p^*_{21}, p^*_{02}$ — полные давления в соответствующих сечениях — см. рис. 1; p_{21}, p_{02} — статические давления; α_{21}, γ_{21} — углы выхода потока из РК в абсолютном движении в горизонтальной

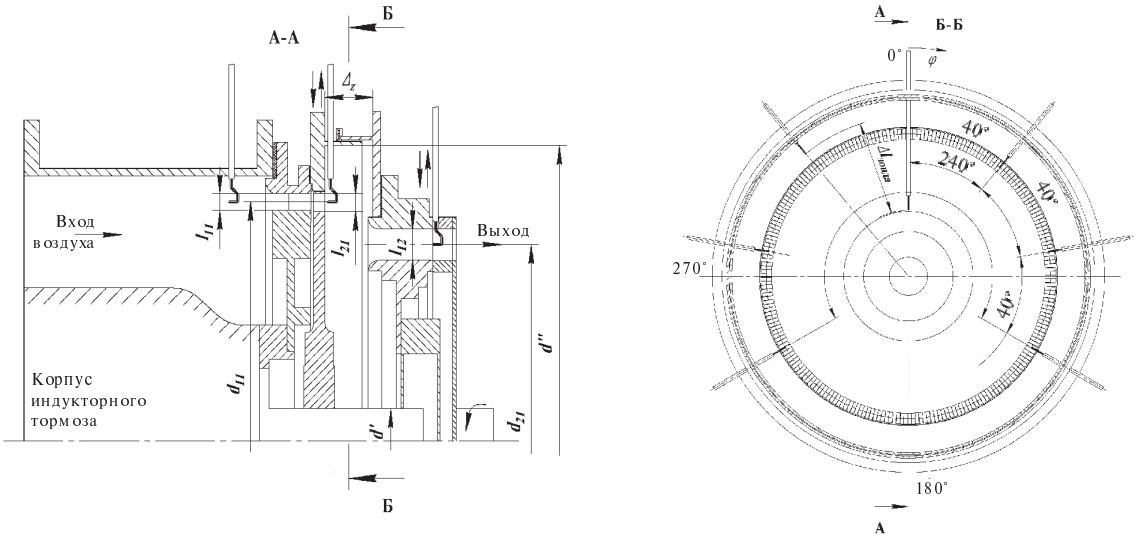


Рис. 3. Основные конструктивные размеры отсека и схема расположения зондов

Таблица 1

Геометрические характеристики «полуторного» отсека

Наименование величины	Ступень 1		Ступень 2	
	НА1	РК1	НА2	–
Средний диаметр, d_{11}, d_{21}, d_{12}, мм	628,2	628,5	515	–
Высота лопатки, l_{11}, l_{21}, l_{12}, мм	22,1	24,7	40	–
Втулочное отношение, ν_{11}, ν_{21}, ν_{12}	28,42	25,44	12,87	–
Угол выхода на среднем диаметре, α_{11}, β_{21}, α_{12}, град	$11°20'$	$17°30'$	–	–
Число лопаток, n_{11}, n_{21}, n_{12}, шт.	60	234	–	–
Отношение средних диаметров, d_{12}/d_{11}	0,82			
Диаметр вала установки, d', мм	85			
Диаметр меридионального обвода камеры, d'', мм	777			
Межступенчатый зазор, Δ_z, мм	51–90			
Относительный межступенчатый зазор, Δ_z	2,06–3,64			
Объем камеры за РС, V, м^3	0,0239–0,0422			
Парциальность РС, ε	0,33–1,0			

и меридиональной плоскостях; α_{02}, γ_{02} — углы входа потока в направляющую решетку ступени давления в абсолютном движении). Для более глубокого анализа влияния конструктивных и режимных параметров на работу отсека необходимо траверсировать параметры потока перед НА ступени давления по высоте и в окружном направлении с последующим их осреднением — p_{02}^*, p_{02}, α_{02}, $\gamma_{02} = f(x_1, \bar{\Delta}_z, \varepsilon, \varphi)$, где $x_1 = u_1 / C_{01}$ — характеристическое число РС (u_1 — окружная скорость на среднем диаметре РС; C_{01} — условная скорость, соответствующая полному изоэнтропийному перепаду на РС; φ — окружная координата);

3) получить суммарные характеристики РС $\eta_1 = f(x_1, \bar{\Delta}_z, \varepsilon)$, $\eta_{1\max} = f(\bar{\Delta}_z)$, где η_1 — КПД РС; $\eta_{1\max}$ — максимальное значение КПД РС, ε — степень парциальности ступени;

4) оценить потери энергии в УК при постановке различных условий входа р. т. в канал и разном конструктивном оформлении УК;

5) оценить неравномерность параметров рабочего тела на входе в ступень давления.

Необходимость получения вышеперечисленных характеристик обусловлена также применением результатов эксперимента в постановке граничных условий для расчета математической модели , для чего необходимы следующие параметры рабочего тела:

Наименование величины	Обозначение
Полное давление на входе в УК	p_{21}^*
Полная температура	T_0^*
Удельный объем	υ_0^*
Суммарный расход рабочего тела	G
Углы входа потока в УК в абсолютном движении	α_{21}, γ_{21}
Осевая составляющая абсолютной скорости	c_{21z}
Тангенциальная составляющая абсолютной скорости	c_{21u}
Радиальная составляющая абсолютной скорости	c_{21r}
Статическое давление на выходе из УК	p_{02}

Снижения неравномерности параметров потока перед НА первой ступени давления можно добиться различными методами. На экспериментальном стенде совершенствование парциального отсека достигается изменением геометрии УК в осевом направлении, а также применением специальных меридиональных обводов, отвечающих истинному течению р. т. в камере (обеспечивают более плавный переход от большего диаметра РС к меньшему диаметру ступени давления). Подобное решение вопроса при одновременном снижении потерь в УК со-

храняет неравномерность параметров, возникающую после парциальной РС на входе в сопловый аппарат ступени давления. Найти оптимальные конструктивные соотношения позволит физический эксперимент в сочетании с численными методами расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зарянкин, А.Е.** Снижение неравномерности параметров потока при входе в сопловой аппарат первой нерегулируемой ступени паровой турбины с сопловым парораспределением [Текст] / А.Е. Зарянкин, Н.А. Зройчиков, С.В. Арианов // Теплоэнергетика.— 2006. №11.— С. 4–9.

2. **Гоголев, И.Г.** Зависимость КПД двухступенчатого отсека турбины от расстояния между ступенями [Текст] / И.Г. Гоголев, А.А. Климцов // Теплоэнергетика.— 1974. № 3.— С. 20–21.

3. **Гоголев, И.Г.** Характеристики двухступенчатого отсека и его второй ступени при парциальном впуске первой ступени [Текст] / И.Г. Гоголев, А.М. Дроконов, В.В. Тарасов // Теплоэнергетика. — 1983. № 6.— С. 24–26.

4. **Галацан, В.Н.** Исследование регулировочной ступени совместно с последующим направляющим аппаратом [Текст] / В.Н. Галацан, В.И. Гольман, Л.А. Зарубин // Теплоэнергетика. — 1985. № 7.— С. 61–63.

5. **Вольфсон, И.М.** Влияние сопловой решетки на работу предыдущей ступени [Текст] / И.М. Вольфсон, В.К. Гребнев // Теплоэнергетика. — 1974. № 6.— С. 53–55.

6. **Ермолаев, В.В.** Отработка элементов модернизированной проточной части паровой турбины Т-100-12,8 средствами вычислительной аэродинамики [Текст] / В.В. Ермолаев, Н.Н. Гудков, А.Н. Бабиев, В.И. Кириллов // Теплоэнергетика. — 2007. № 4.— С. 22–27.

7. **Lampart, P.** CFD Investigation of the partial admission control stage of a large power steam turbine [Текст] / P. Lampart, M. Szymaniak // Тр. ин-та проблем машиностроения. — 2003. Т.1. — С. 198–204.

8. **Осипов, А.В.** Исследование камеры за регулирующей ступенью [Текст] / А.В. Осипов, А.В. Бирюков, А.Н. Голушко; под ред. Ю.И. Фокина // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр.— Брянск: Изд-во БГТУ, 2009.— С. 144–166.

УДК 620.9.001.5

М.А. Конищев

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ГЭС И ВЭС В СОСТАВЕ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ

В 2009 году использование энергии ветра побило новые рекорды: установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) в мире достигла около 160 ГВт при выработке электроэнергии около 340 ТВт·ч, это около 2 % всей произведенной электроэнергии [1]. В среднем каждые три года установленная мощность ВЭС в мире удваивается, растет и доля ветроэнергетики в производстве электроэнергии. В ряде стран эта доля уже сейчас весьма велика: в Дании — 20 %, Португалии — 15 %, Испании — 14 %, Германии — 9 %. Вместе с ростом доли ветроэнергетики возросла потребность в ее аккумулировании и перераспределении. Как известно, ветер имеет стохастически-детерминированную природу возникновения и характеризуется значительными колебаниями прихода энергии в зависимости от погодных условий. В результате строительство крупных ветропарков и увеличение доли ветроэнергетики, особенно в энергодефицитных районах, может приводить к ухудшению качества электроэнергии и сбоям в энергоснабжении.

На территории России работает 11 ВЭС суммарной установленной мощностью около 13 МВт. Из них только четыре ВЭС мощностью выше 1 МВт. Крупнейшая ВЭС в России — Куликовская, мощностью 5,1 МВт. Тем не менее интерес к возобновляемой энергетике в стране в последнее время возрастает. Согласно стратегии по увеличению доли выработки энергии от возобновляемых источников в общем энергобалансе страны доля ВЭС в России к 2020 году

должна составить 1 % от всей произведенной электроэнергии. Особенность России — наличие энергодефицитных районов, удаленных от центральной энергосистемы со слаборазвитой сетевой инфраструктурой. В этих местах строительство станций на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), в том числе и ВЭС, представляется наиболее актуальным. При этом проблема аккумулирования и перераспределения во времени энергии от ВЭС становится у нас не менее важной, чем в странах с развитой ветроэнергетикой.

В централизованной энергосистеме РФ для перераспределения и аккумулирования электроэнергии используются регулирующие возможности гидроэлектростанций (ГЭС), газотурбинных электростанций (ГТЭС), а также аккумулирующие возможности крупных гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС).

Однако, как показал мировой опыт, при внедрении крупных ВЭС даже при присоединении к центральной энергосистеме в районе подключения могут наблюдаться проблемы, связанные с качеством электроэнергии, и это — фактор, ограничивающий внедрение ВЭС [5, 6]. Кроме того, рыночная стоимость такой электроэнергии ниже, поскольку не может быть гарантирована.

Данную проблему предлагается решить с помощью энергокомплексов ГЭС—ВЭС, которые выступают в энергосистеме как единый объект с управлением и регулированием нагрузки на внутристанционном уровне.

Идея объединить ГЭС с ВЭС или другими электростанциями на ВИЭ, предложенная в 60-е годы Я. Шефтером, в дальнейшем получила развитие в работах академика Ю.С. Васильева [2] и профессора В.В. Елистратова [3]. В мире подобными работами занимаются в Канаде, Австралии и в ряде стран Евросоюза. При этом вопросы совместной работы ГЭС и ВЭС в различных странах решаются и реализуются по-разному, с учетом специфики энергетической инфраструктуры и рынка страны.

Основная цель предлагаемой статьи — разработка методики расчета параметров и режимов работы энергокомплекса на основе ветропарков с приоритетным участием гидроэнергетических установок, обеспечивающих перераспределение и гидравлическое аккумулирование энергии.

Данная методика может быть применена в проектах крупных ВЭС с гидравлическим аккумулированием энергии в энергодефицитных районах России, а также для обоснования установленной мощности ВЭС, которая может быть интегрирована в энергокомплекс на основе существующей ГЭС.

Главной задачей в методике является «расчет оптимальных водно-энергетических режимов энергокомплекса ГЭС-ВЭС на заданный период планирования», который может использоваться на уровне генерирующей компании для прогнозирования и обеспечения гарантированной мощности энергокомплекса на рынке электроэнергии.

Результатами решения данной задачи будут: величина выработки энергии энергокомплексом ГЭС-ВЭС; графики гарантированных мощностей ГЭС и ВЭС на период планирования и их обеспеченности; график колебаний уровней воды в водохранилище и в нижнем бьефе; график работы водопропускных сооружений и другие режимные характеристики, которые в свою очередь могут быть исходной информацией при решении задач планирования суточных и недельных режимов энергосистемы района, оперативной коррекции режимов работающего энергокомплекса.

Практическое решение поставленной задачи осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения на основе имитационной математической модели, в максимальной степени подробно и точно отражающей реальные условия работы ГЭС и ВЭС, характеристик гидросилового оборудования, ВЭУ, гидротехнических сооружений, водохранилища, энергосистемы и ряд других параметров. Имитационное моделирование — простой и точный метод решения задач многоцелевой оптимизации, позволяющий сочетать математический подход с опытом и интуицией инженера.

Математическая задача оптимизации водно-энергетического режима работы ГЭС при совместной работе с ВЭС формулируются следующим образом.

Заданы краевые условия: начальные уровни воды в водохранилище и нижнем бьефе; прогнозный график скоростей ветра на период планирования; характеристики оборудования и сооружений ГЭС и ВЭС. Требуется определить режим работы во времени энергокомплекса ГЭС—ВЭС, при котором обеспечивается выполнение принятого критерия оптимизации без нарушения заданных ограничений наложенных на режим ГЭС.

Схема энергокомплекса и принятые допущения

Рассмотрим схему (рис. 1) энергокомплекса ГЭС—ВЭС с общим распределительным устройством (РУ).

В рассматриваемой схеме приняты следующие допущения:

ВЭС находится в непосредственной близости от ГЭС и центра нагрузки, поэтому потери в сетях не учитываются;

ВЭУ расставлены на оптимальном расстоянии и не затеняют друг друга.

Модель ВЭС. Режим работы ВЭС зависит от распределения нагрузки между ВЭУ в ее составе. Введем параметр режима ВЭС — вектор распределения нагрузки между ВЭУ $\vec{\varphi}_t = (\varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_i, \varphi_{i+1}, ..., \varphi_m)$, где m – количество ВЭУ в составе ВЭС; $0 \le \varphi_i = \dfrac{N_{\text{ВЭУ}_i}}{N_{\text{ВЭУ}_i}^{\text{расп}}} \le 1$ — степень нагрузки на i-й ВЭУ; t — рассматриваемый момент времени. При $\varphi_i = 0$ ВЭУ выключена, при $\varphi_i = 1$ мощность ВЭУ равняется располагаемой мощности — максимальной при текущей скорости ветра $N_{\text{ВЭУ}}^{\text{расп}} = f_P(U)$, где $f_P(U)$ — характеристика отдачи мощности ВЭУ.

Тогда мощность ВЭС в составе энергокомплекса $N_{\text{ВЭС}}^{\text{эк}}$ можно представить так:

$$N_{\text{ВЭС}}^{\text{эк}}(m, \vec{\varphi}_t) \le N_{\text{ВЭС}}^{\text{расп}}(m, U_t) \le N_{\text{ВЭС}}^{\text{ном}}, \qquad (1)$$

где $N_{\text{ВЭС}}^{\text{расп}}(m, U_t)$ — располагаемая мощность ВЭС (при $\sum_{i=1}^{m} \varphi_i = 1$); $N_{\text{ВЭС}}^{\text{ном}}$ — номинальная мощность ВЭС.

Модель ГЭС. Режим работы ГЭС зависит от пропускаемого расхода через створ гидроузла. Введем параметр режима ГЭС — вектор распределения расходов через гидроузел ГЭС

$$\vec{Q}_t = (\vec{Q}_t^{\text{га}},\ \vec{Q}_t^{\text{в}},\ \vec{Q}_t^{\text{с}}),$$

где $\vec{Q}_t^{\text{га}} = (Q_1, Q_2, ..., Q_i, Q_{i+1}, ..., Q_n)$ – вектор распределения расходов через гидроагрегаты, где n – количество гидроагрегатов на ГЭС; Q_i – расход через i-й гидроагрегат; $\vec{Q}_t^{\text{в}} = (Q_{\text{дв}},\ Q_{\text{пв}})$ — вектор расходов через водопропускные сооружения, $Q_{\text{дв}}$ — расход через донные водосбросы $Q_{\text{пв}}$ — расход через поверхностные водосбросы; $\vec{Q}_t^{\text{пр}}$ — прочие расходы через гидроузел (на шлюзование, фильтрационный и т. д.)

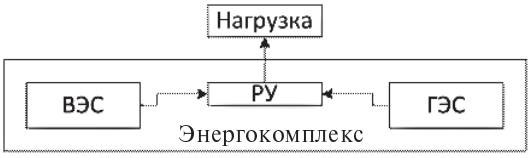


Рис. 1. Схема энергокомплекса ГЭС—ВЭС

Тогда мощность ГЭС в составе энергокомплекса $N_{\text{ГЭС}}^{\text{эк}}$ можно представить так:

$$N_{\text{ГЭС}}^{\text{эк}}(n, \vec{Q}_t) = \sum_{i=1}^{n} (Q_i^{\text{га}} \eta_i H_i) \gamma_{\text{в}} \le N_{\text{ГЭС}}^{\text{расп}}(n, H), \quad (2)$$

где $\eta_i = \sum_{i=1}^{n} \psi_i(H_i, Q_i)$ – КПД i-го гидроагрегата ГЭС, определяемый по эксплуатационной характеристике ψ_i; H_i – напор на i-м гидроагрегате, определяемый по формуле

$$H_i = Z_t - z_t - \Delta h_i - \frac{\alpha \upsilon_i^2}{2g}; \qquad (3)$$

Δh – потери напора в водопроводящем тракте; Z_t – уровень в верхнем бьефе ГЭС, определяемый по зависимости от объема воды в водохранилище $V_{\text{вдх}t}$,

$$Z_t = Z(V_{\text{вдх}t}); \qquad (4)$$

z_t – уровень в нижнем бьефе ГЭС, зависящий от расхода воды через створ гидроузла в НБ [3],

$$z_t = z(Q_{t-1}) + \left(z(Q_t) - z(Q_{t-1})\right)\left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_c}}\right) + \left(z_{t-1} - z(Q_{t-1})\right) e^{-\frac{\Delta t}{T_c}}; \qquad (5)$$

Δt — расчетный интервал; T_c – некоторый параметр.

Объем воды в водохранилище описывается формулой

$$V_{\text{вдх}t} = V_{\text{вдх}0} + \sum_{0}^{t} (Q_{wt} - Q_t)\Delta t, \qquad (6)$$

где Q_{wt} – приточность воды в водохранилище; υ_q – скорость потока на выходе отсасывающей трубы i-го гидроагрегата,

$$\upsilon_q = \sum_{i=1}^{n} (Q_i / \omega_i); \qquad (7)$$

ω_i – площадь выходного отверстия отсасывающей трубы i-го гидроагрегата;

$$\vec{Q}_t^{\text{га}} = \vec{q}(N_{\text{ГЭС}}, H); \qquad (8)$$

$\vec{q}$ – вектор-функция оптимального распределения нагрузки между агрегатами.

Баланс мощностей

Разобьем период планирования T на k периодов (рис. 2), внутри которых должна обеспечиваться гарантированная выдача энергии за счет регулирования нагрузки на ГЭС:

$$\vec{T} = (T_1, T_2, .., T_{j-1}, T_j, T_{j+1}, .., T_k)$$

Гарантированная мощность ВЭС при совместной работе с ГЭС зависит от периода регулирования T_j и ожидаемого ветрового режима в этом периоде. Период регулирования зависит от полезной емкости водохранилища и установленной мощности ВЭС и может быть суточным, недельным, месячным и т. д. При этом действительная выработка на ВЭС в составе энергокомплекса и гарантированная выработка ВЭС, обеспеченная регулированием нагрузки, должны совпасть на конец планового периода.

$$\int_0^{T_k} N_{\text{ВЭС}}^{\text{эк}}(m, \vec{\varphi}_t)\, dt = \Delta E_e + \sum_{j=1}^{k} \int_{T_{j-1}}^{T_j} N_{\text{ВЭС}t}^{\text{гар}}\, dt, \qquad (9)$$

где $N_{\text{ВЭС}t}^{\text{гар}}$ – гарантированная мощность ВЭС; ΔE_e – невязка вследствие ошибки прогноза или невозможности обеспечить требуемый режим.

Гарантированная мощность ГЭС зависит от ожидаемого стока реки и полезной емкости водохранилища. При этом средний за период регулирования T_j расход гидроузла, работающего в составе энергокомплекса, должен быть равен гарантированному среднему сбросному расходу через гидроузел – $Q_j^{\text{сг}}$,

$$Q_j^{\text{сг}} + \Delta Q_e = \frac{1}{T_j} \int_{T_{j-1}}^{T_j} Q_t\, dt; \qquad (10)$$

ΔQ_e – невязка расхода. Как правило, $Q_j^{\text{сг}}$ и допустимые пределы ΔQ_e задаются ФАВР при установлении режимов водохранилища.

Таким образом, мощность энергокомплекса $N_{\text{ГЭС+ВЭС}}^{\text{эк}}(n, \vec{Q}_t, m, \vec{\varphi}_t)$ формируется как сумма гарантируемых на период планирования мощностей ГЭС $N_{\text{ГЭС}t}^{\text{гар}}$ и ВЭС $N_{\text{ВЭС}t}^{\text{гар}}$. Внутри периода планирования доля покрытия ГЭС в графике нагрузки меняется согласно ветровому режиму, при этом должен соблюдаться баланс мощностей.

$$P_{\text{нагр}t} = N_{\text{ГЭС+ВЭС}}^{\text{эк}}(n, \vec{Q}_t, m, \vec{\varphi}_t) + \Delta N_t^{\text{эк}} =$$
$$= N_{\text{ГЭС}}^{\text{эк}}(n, \vec{Q}_t) + N_{\text{ВЭС}}^{\text{эк}}(m, \vec{\varphi}_t) + N_{et}^{\text{ГЭС}} + \Delta N_{et}^{\text{ВЭС}} =$$
$$= N_{\text{ГЭС}t}^{\text{гар}} + N_{\text{ВЭС}t}^{\text{гар}}, \qquad (11)$$

где $P_{\text{нагр}t}$ – мощность нагрузки потребителя.

Для расчета водно-энергетических режимов энергокомплекса ГЭС—ВЭС уравнения (2)–(11) решаются совместно.

Оптимизация

Задача оптимизации водно-энергетических режимов энергокомплекса в математическом отношении — нелинейная задача математического программирования с выпуклой целевой функцией и большим числом линейных режимных ограничений.

В качестве критерия оптимизации выбран критерий минимума отклонений от заданного режима нагрузки при соблюдении наложенных ограничений и выдаче гарантированной мощности энергокомплекса с требуемой обеспеченностью.

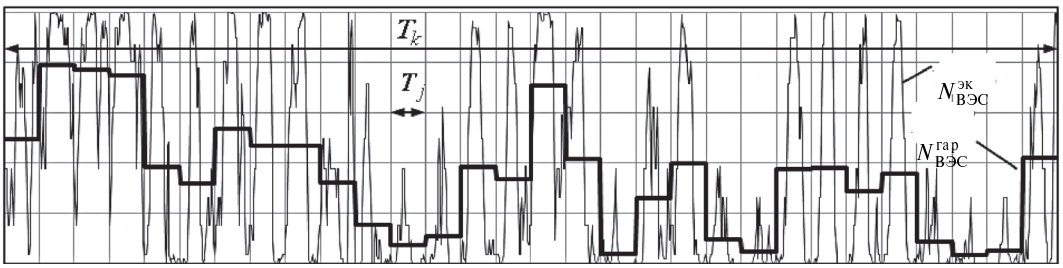


Рис. 2. Графики действительно вырабатываемой ($N_{\text{ВЭС}}^{\text{эк}}$) и гарантированной ($N_{\text{ВЭС}}^{\text{гар}}$) мощностей ВЭС в рассматриваемый период планирования T_k

$$\Delta E_e^{\text{эк}} = \int_0^T \left(P_{\text{нагр}t} - N^{\text{эк}}_{\text{ГЭС+ВЭС}}(\vec{\varphi}_t, \vec{Q}_t, n, m) \right) dt \to \min. \quad (12)$$

В зависимости от фиксируемого параметра независимые переменные в модели различаются. При заданном сценарии нагрузки $P_{\text{нагр}}$ независимыми переменными будут $\vec{\varphi}_t$, $\vec{Q}_t$, n, m.

Очевидно, что, чем более полога характеристика ГЭС, тем чаще ВЭС работает в режиме максимальной выработки. Для многоагрегатных ГЭС с поворотно-лопастными турбинами $N^{\text{эк}}_{\text{ВЭС}}(\vec{\varphi}_t, m) = N^{\text{расп}}_{\text{ВЭС}}(U_t, m)$. В этом случае целевая функция будет иметь только три независимых переменных — $\vec{Q}_t$, n, m, а задача сводится к поиску оптимальных параметров энергокомплекса и режимов работы, которые может обеспечить ГЭС, не выходя из наложенных на режимы работы ограничений.

Ограничения

Ограничения, накладываемые на режим ГЭС, обусловлены «Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ», решениями ФАВР, а также техническими характеристиками оборудования и сооружений. Основные ограничения следующие:

1) по уровню воды в водохранилище — $Z_{\min} \le Z_t \le Z_{\max}$, где, как правило, $Z_{\min}$ = УМО, $Z_{\max}$ = НПУ или согласно решениям ФАВР;

2) по расходу воды через агрегаты ГЭС — $Q_i^{\min}(H_t) \le Q_i^{\text{га}} \le Q_i^{\max}(H_t)$, где $Q_i^{\min}(H_t)$ и $Q_i^{\max}(H_t)$ — ограничения по пропускной способности гидротурбины;

3) по максимальной мощности гидроагрегатов ГЭС — $0 \le N^{\text{эк}}_{\text{ГЭС}} \le N^{\max}_{\text{ГЭС}}$, $N^{\max}_{\text{ГЭС}}$ — сумма максимальных мощностей всех располагаемых к работе гидроагрегатов;

4) по расходу воды через водопропускные сооружения — $Q_{\text{дв}} + Q_{\text{пв}} \le Q_{\text{в}}^{\max}(H_t, z_t)$, где $Q_{\text{в}}^{\max}(H_t, z_t)$ — максимальный расход, который может быть пропущен водопропускными сооружениями при данном напоре и полном открытии затворов;

5) по уровню воды в нижнем бьефе — $z_{\min} \le z_t \le z_{\max}$;

6) по напору на ГЭС — $H_{\min} \le H_t \le H_{\max}$;

7) по напору при маневрировании затворами,

$$\begin{cases} H_t \le H_{\text{дв}}^{\max}; \\ H_t \le H_{\text{пв}}^{\max}; \end{cases}$$

8) по расходу воды через створ ГЭС — $Q_t \le Q_{\max}$;

9) по скорости изменения уровня в водохранилище — $\frac{dZ}{dt} \le \delta_{\max}$;

10) по условиям выхода на заданную отметку водохранилища на конец периода планирования — $Z(T) \cong Z_n$.

Уравнение (12) решается численными методами. Период регулирования T_j разбивается на s интервалов Δt, внутри которых рассматриваются усредненные значения параметров режима.

$$\Delta E_e^{\text{эк}} = \sum_{j=1}^{k} \sum_{s=j}^{j+1} (P_{\text{нагр}s} - N^{\text{эк}}_{\text{ГЭС+ВЭС}}(\vec{\varphi}_s, \vec{Q}_s, n, m)) \to \min. \quad (13)$$

Диагностическая проверка разработанной модели проводилась на примерах существующих ГЭС с известными параметрами режимов работы, которые наблюдались в прошлые периоды. Например, сравнивались смоделированные колебания в водохранилищах ГЭС при известных диспетчерских нагрузках с реальными наблюдаемыми в створе ГЭС колебаниями уровней верхнего бьефа. Точность смоделированных режимов зависит от качества и точности исходных данных. Допустимая погрешность при аппроксимации характеристик принята 1 %, погрешность расчетов — 5 %. При отклонении от допустимых норм погрешности вносятся поправки в модели с уточнением исходных данных.

Обобщенный алгоритм программного комплекса, созданного на основе разработанной модели, приведен на рис. 3.

Основываясь на статистической и прогнозной информации о приходах ветра и речного стока, нагрузке сети, параметрах водохранилища и возможностях оборудования ГЭС, рассчитывается оптимальный режим работы энергокомплекса для обеспечения гарантированной (не зависящей от природных особенностей ветра) выработки энергии в определенный (расчетный) промежуток времени и рационального использования водохранилища при ее аккумулировании.

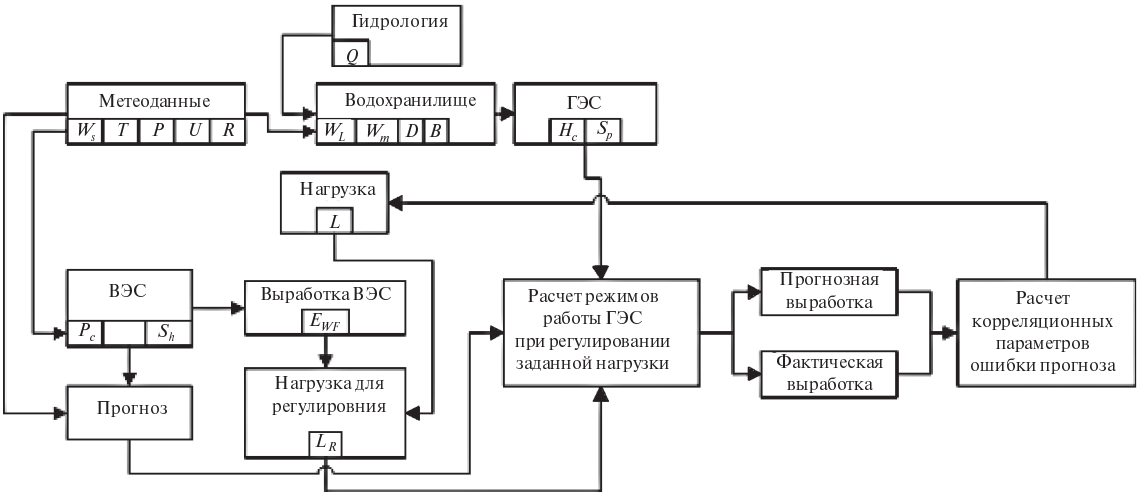


Рис. 3. Обобщенный алгоритм совместной работы ГЭС—ВЭС

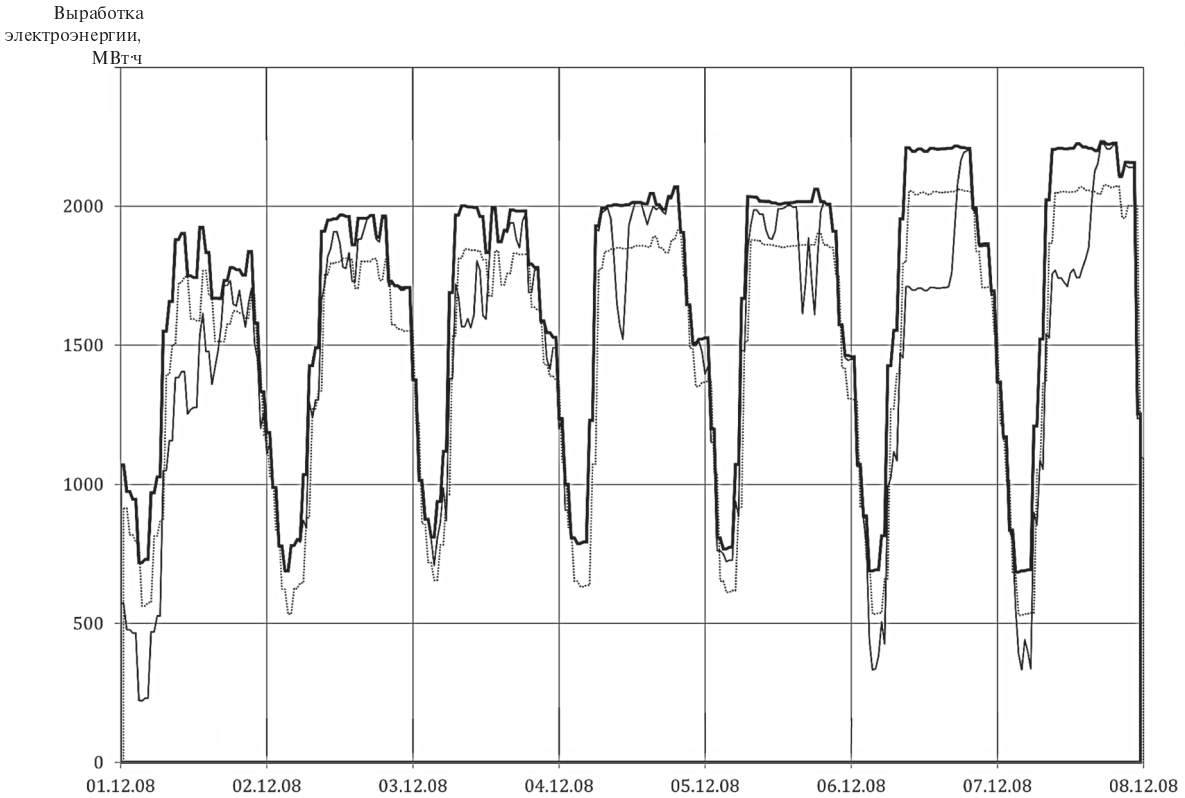


Рис. 4. Выработка энергокомплекса ВЭС—ГЭС при обеспечении гарантированной (на неделю вперед) мощности ВЭС

(▫ — энергокомплекс ГЭС—ВЭС; ▫— только ГЭС; ▫— ГЭС в составе энергокомплекса)

Установленные можности: ВЭС — 500 МВт, ГЭС — 2530 МВт.

Режим работы — обеспечение гарантированной мощности с недельным регулированием.

Выработка энергокомплекса —278,8 МВт·ч, в том числе ГЭС — 250,54 МВт·ч, ВЭС — 28,26 МВт·ч

Разработанная методика была апробирована при проектировании ветропарка «Нижняя Волга» установленной мощностью до 1 ГВт. Проект предусматривает использование водохранилища Волжской ГЭС для обеспечения стабильной работы ветропарка в региональной энергосистеме с аккумулированием энергии и обеспечения гарантированной выработки в требуемые периоды. Мощность ГЭС 2530 МВт, полезная емкость водохранилища 31,5 км^3.

Были рассчитаны шесть пусковых комплексов ветропарка «Нижняя Волга» (100, 200, 300, 500, 700 и 1000 МВт) и проанализированы 72 режима работы Волжской ГЭС для трех расчетных периодов, отвечающих нескольким сценариям изменения речного стока и ветрового режима.

Расчеты проведены с использованием данных о метеоусловиях в районе строительства и режимах работы ГЭС за несколько последних лет. Гарантированная мощность ГЭС в составе энергокомплекса задавалась на основе данных о нагрузке за прошлые периоды — $N_{\text{д}}^{\text{ГЭС}}(t)$. Гарантированная мощность ВЭС рассчитывалась как средняя ожидаемая мощность на период регулирования:

$$N_{\text{гар}}^{\text{ВЭС}}(t) = \int_{j=1}^{k} \int_{T_{j-1}}^{T_j} N_{\text{ВЭС}}(t)\, dt.$$

На ГЭС установлено 22 агрегата с поворотно-лопастными турбинами типа ПЛ30-В-330 (n = 22), которые обеспечивают широкую характеристику ГЭС и позволяют ВЭС работать в режиме максимальной выработки ($\vec{\varphi}_t = 1$).

Условием оптимальности принято

$$1 - \frac{\Delta E_e^{\text{ЭК}}(\vec{Q}_s, m)}{E_{\text{нагр}}} \to \xi,$$

где ξ — требуемая обеспеченность покрытия нагрузки.

На рис. 2 приведен график совместной работы Волжской ГЭС и ВЭС, планируемой к строительству в ветропарке «Нижняя Волга», для декабря средневодного года с гарантированной мощностью «на неделю вперед».

Доля энергии ВЭС установленной мощностью 500 МВт в покрытии графика нагрузки в расчетном месяце варьировалась в диапазоне 0–75 %, составив в среднем 10 %. При этом режим работы водохранилища изменяется незначительно. Отметки УВБ к концу месяца для всех режимов практически совпали. Максимальная доля ветровой энергии (30 %) достигается в маловодные периоды (например, в сентябре), что можно рассматривать как идеальное дополнение для дефицитной в этом периоде гидроэнергии.

Результаты оптимизационных расчетов показали, что при 95 % обеспеченности нагрузки потребителя можно принять уставленную мощность ВЭС в составе энергокомплекса примерно 700 МВт.

Объединение объектов гидро- и ветроэнергетики дает возможность решить проблемы дефицита электроснабжения в районах удаленных от ЦЭС. ГЭС с высокоманевренными гидроагрегатами успешно компенсирует неравномерную выдачу мощности ВЭС и значительно уменьшает связанные с этим ограничения при интеграции в региональную энергосистему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Елистратов, В.В.** Использование возобновляемой энергии [Текст]: учеб. пособие / В.В. Елистратов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.— 224 с.

2. **Васильев, Ю.С.** Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование [Текст]: учебное пособие / Ю.С. Васильев, В.В. Елистратов [и др.].— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 1995.

3. **Цветков, Е.В.** Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах / Цветков Е.В. [и др.]

4. **Конищев, М.А.** К вопросу об аккумулировании энергии возобновляемых источников [Текст] / М.А. Конищев // Наука и инновации в технических университетах: Матер. Всеросс. форума студентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.— С. 114.

5. **Gross, R.** The costs and impacts of intermittency: An assessment of the evidence on the costs and impacts of intermittent generation on the British electricity network [Текст] / R. Gross et. al. // United kingdom energy research center.— London, England.— March, 2006.

6. The effects of integrating wind power on transmission adopted. System Planning, Reliability, and Operations: Report on Phase 2 [Текст] / The New York State Energy Reseach and Development Authority.— New York.— March, 2005.

УДК 005

В.М. Боровков, С.А. Михайлов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ НА РЕМОНТ ПО СТРУКТУРНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ

Традиционно формирование ремонтной программы в структурных подразделениях генерирующих компаний основывается на техническом состоянии оборудования и технологических систем, а также на объемах средств, выделяемых на планируемый период. Учитывая значительный износ основных фондов для структурных подразделений таких генерирующих компаний, как ОАО «Территориальная генерирующая компания №1» (далее — ОАО ТГК-1), подобный подход приводит к дефицитному бюджету ремонта и не несет в себе управленческого воздействия.

Вычленение из единого ремонтного фонда затрат, позволяющих обеспечить минимально необходимый уровень текущей надежности оборудования, дает возможность структурировать ремонтный фонд компании и консолидировать часть его на приоритетных направлениях без ущерба для системной надежности.

Эту часть затрат назовем затратами «постоянного» характера на ремонт основных фондов и будем понимать, что они не связаны с реализацией планов капитальных и средних ремонтов основного оборудования электростанций, планов капитальных ремонтов зданий и сооружений электростанций, а также целевых программ ремонта.

Таким образом, затраты постоянного характера включают в себя техническое обслуживание и ремонт вспомогательного, общестанционного и цехового оборудования, передаточных устройств, а также текущий ремонт основного оборудования, зданий и сооружений, транспортных средств. Как правило, их величина (в сопоставимых ценах) по конкретному структурному подразделению из года в год остается относительно постоянной.

Департаментом организации ремонта ОАО ТГК-1 разработана математическая модель расчета распределения постоянных затрат между структурными подразделениями компании. В основу модели заложен ограниченный набор факторов, выбор которых определяется их влиянием на объемы ремонта и минимизирует субъективный подход; в него входят:

количество основного оборудования;

установленная мощность;

число часов использования основного оборудования в год;

срок службы основного оборудования с момента ввода в эксплуатацию;

балансовая стоимость основных фондов.

$$\text{РФ}_i = \text{РФ}_\Sigma \left[K1 \frac{n_{i\,\text{осн об}}}{n_{\Sigma\text{осн об}}} + K2 \frac{N_{i\,\text{уст}}}{N_{\Sigma\text{уст}}} + \right.$$

$$\left. \left[K3 \frac{\tau_{i\,\text{исп}}}{\tau_{\Sigma\text{исп}}} + K4 \frac{t_{i\,\text{сл}}}{t_{\Sigma\text{сл}}} - K5 \frac{c_{i\,\text{ОФ}}}{c_{\Sigma\text{ОФ}}} \right] \right],$$

где РФ — ремонтный фонд, руб.; $n_{\text{осн об}}$ — количество основного оборудования, шт.; $N_{\text{уст}}$ — установленная мощность, МВт (для конкретного структурного подразделения — усредненная на единицу генерирующего оборудования); $\tau_{\text{исп}}$ — число часов использования основного оборудования в год, ч (для конкретного структурного подразделения — усредненное на единицу генерирующего оборудования); $t_{\text{сл}}$ — срок службы основного оборудования с момента ввода в эксплуатацию, лет (для конкретного структурного подразделения — усредненный на единицу генерирующего оборудования); $c_{\text{ОФ}}$ — балансовая стоимость основных фондов, руб.; индекс «i» означает принадлежность соответствующего параметра структурному подразделению; индекс «Σ» означает суммарное значение соответствующего параметра по всем структурным подразделениям; $K1, ..., K5$ — коэффициенты, учитывающие весовые доли соответствующего фактора, определяемые на основании экспертной оценки. Причем очевидно, что

$$K1 + K2 + K3 + K4 - K5 = 1.$$

Установленная мощность определяется так:

$$N_{\text{уст}} = N_{\text{эл}} + N_{\text{прив}},$$

где $N_{\text{эл}}$ — установленная электрическая мощность, МВт; $N_{\text{прив}}$ — приведенная мощность, МВт; $N_{\text{прив}} = N_{\text{теп}} \cdot 0,25$; $N_{\text{теп}}$ — установленная тепло-

вая мощность, Гкал/ч; $0,25$ МВт/(Гкал/ч) — коэффициент перевода тепловой мощности, выраженной в Гкал/ч, в электрическую мощность в МВт [1].

При расчете распределения «постоянных» затрат параметр $\tau_{исп}$ целесообразно применять усредненным за какой-либо продолжительный промежуток времени, например 3 года, 5 лет.

Математическая модель расчета распределения «постоянных» затрат основан на следующих допущениях:

не учитывается паропроизводительность энергетических котлов;

используется для расчетов соотношений по распределению средств между структурными подразделениями;

модель не отражает ни тип самих электростанций, ни условия, в которых работает то или иное оборудование.

Таким образом, в результате использования данной модели можно получить базовое распределение средств между структурными подразделениями, которое необходимо в дальнейшем уточнять исходя из фактического технического состояния и условий работы оборудования электростанций, а также целей, стоящих перед ремонтной кампанией.

Следует учитывать, что для компаний, подобных ОАО ТГК-1, под РФ необходимо понимать ту часть ремонтного фонда, которая относится к объектам генерации (то есть единый ремонтный фонд за вычетом средств, выделяемых на ремонт производственных фондов таких структурных подразделений, как тепловая сеть, автотранспортное предприятие и т. п.).

Верификация модели расчета распределения постоянных затрат проведена путем сопоставления расчетных данных с данными АРМ «Энергоремонт» (см. таблицу, рис. 1 и 2) за 2008 год. АРМ «Энергоремонт» — система сбора, обработки и консолидации отчетности, в которой ведется учет затрат по объектам и видам ремонта.

В таблице РФ данные как по структурным подразделениям, так и по ОАО ТГК-1 в целом приведены за 2008 год в ценах 2004 года. Приведение затрат к 2004 году, очевидно, никаким образом не сказывается на соотношениях при распределении средств между структурными подразделениями.

Для расчета распределения РФ по структурным подразделениям значения коэффициентов $K1, ..., K5$ приняты следующими:

$$K1 = 0,25,\ K2 = 0,35,\ K3 = 0,35,$$
$$K4 = 0,15,\ K5 = 0,1.$$

При этом необходимо отметить, что величины коэффициентов должны определяться экспертным путем индивидуально для конкретной генерирующей компании, так как именно они (коэффициенты) будут определять степень влияния того или иного фактора на конечный результат, а это в свою очередь должно соотноситься с технической политикой энергокомпании. Например, если в ближайшие 5–7 лет генерирующая компания не планирует проводить модернизацию, реновацию или новое строительство, то объективно коэффициент $K4$ должен быть высоким. Или же: если энергокомпания нацелена на максимальное число часов использования наиболее эффективного оборудования, то это приводит к увеличению коэффициента $K3$, и т. д. Таким образом, выбор значений каждого из коэффициентов должен быть привязан к среднесрочной перспективе развития генерирующей компании и ее технической политике на данный период.

На рис. 1 и 2, составленных на основании данных, приведенных в таблице, отражено сопоставление расчетных данных с фактическими за 2008 год. Линия «Средний за 5 лет РФ» соответствует усредненным годовым фактическим затратам постоянного характера структурных подразделений ОАО ТГК-1 на ремонт основных фондов за период с 2004-го по 2008 год, для определения которых была использована база данных АРМ «Энергоремонт».

На рис. 1 виден ряд несоответствий по характеру распределения расчетных и фактических затрат на ремонт между структурными подразделениями, в частности по Василеостровской ТЭЦ-7 превышение расчетного значения затрат над фактическим есть следствие наибольшего (для ТЭЦ) числа часов использования основного оборудования в год.

Снижение расчетных значений затрат объясняется следующим образом:

по Южной ТЭЦ-22 — высокой балансовой стоимостью основных фондов и наименьшим сроком службы основного оборудования;

по Правобережной ТЭЦ-5 — наибольшей балансовой стоимостью основных фондов;

по Апатитской ТЭЦ — наименьшим (для ТЭЦ) числом часов использования основного оборудования в год,

Распределение ремонтного фонда в части затрат постоянного характера ОАО ТГК-1 2008 года по структурным подразделениям

Структурное подразделение	РФ по модели, тыс. руб.	РФ по АРМ, тыс. руб.	$N_{уст.}$				$n^{осн.об.}$, шт.	$N^{уст}$, МВт/шт.	$\tau^{исп.}$, ч.	$t^{сл.}$, лет	$c^{ОФ}$, тыс. руб.
			$N_{эл}$, МВт	$N_{теп}$, Гкал/ч	$N_{прив}$, МВт	Итого, МВт					
ОАО «ТГК-1»	**953 135**	**953 135**	**6 203,1**	**13 643**	**3 411**	**9 614**	**301**	**1070**	**123 974**	**1 016**	**24 757 795**
Филиал «Невский»	**588 460**	**695 379**	**3 386,8**	**12 219**	**3 054,8**	**6 441,5**	**187**	**716**	**70 830**	**605**	**15 171 026**
ЦТЭЦ	49 689,1	66 263	78,5	1 414	353,5	432,0	30	33,2	3 499,5	56,0	446 764
ТЭЦ-5	27 515,7	45 590	244,0	1 432	358,0	602,0	18	54,7	4 233,6	44,5	5 572 293
ТЭЦ-7	43 987,9	33 502	85,0	1 084	271,0	356,0	13	44,5	6 705,0	38,3	937 921
ТЭЦ-8	35 454,2	34 599	192,0	185	46,3	238,3	10	47,7	2 820,5	55,3	699 250
ТЭЦ-14	50 885,7	207 645	330,0	1 773	443,3	773,3	19	59,5	4 427,7	45,4	261 068
ТЭЦ-15	53 399,2	85 143	321,0	1 833	458,3	779,3	22	55,7	5 870,2	39,7	715 526
ТЭЦ-17	47 650,6	52 275	255,0	1 060	265,0	520,0	15	57,8	5 148,3	43,1	560 525
ТЭЦ-21	62 831,8	54 724	500,0	1 188	297,0	797,0	16	113,9	5 306,6	28,0	922 922
ТЭЦ-22	65 853,8	98 561	750,0	2 250	562,5	1 312,5	15	145,8	4 638,0	25,0	1 944 899
ГЭС-6	36 454,0	2 222	83,0	0	0	83,0	10	8,3	7 074,7	61,1	438 369
Каскад-I	39 402,4	6 816	164,3	0	0	164,3	8	20,5	7 401,3	67,0	695 780
Каскад-II	35 933,5	4 565	259,0	0	0	259,0	8	32,4	6 801,5	48,4	1 456 715
ГЭС-13	39 402,1	3 473	125,0	0	0	125,0	3	41,7	6 902,7	53,0	518 994
Филиал «Карельский»	**169 240**	**110 422**	**904,4**	**689**	**172,3**	**1 076,7**	**50**	**140**	**26 097**	**186**	**2 681 570**
КВГЭС	41 460,9	12 530	231,6	0	0	231,6	15	15,4	7 671,5	48,5	700 637
ККГЭС	35 263,1	16 196	330,0	0	0	330,0	11	30,0	6 501,0	29,5	1 154 323
КСГЭС	40 947,7	7 887	62,8	0	0	62,8	16	3,9	6 286,2	79,0	253 944
Петрозаводская ТЭЦ	51 568,6	73 809	280,0	689	172	452,3	8	90,5	5 638,3	28,9	572 666
Филиал «Кольский»	**195 434**	**147 334**	**1 911,9**	**735**	**183,8**	**2 095,7**	**64**	**215**	**27 048**	**225**	**6 905 199**
КНГЭС	40 132,6	13 040	569,5	0	0	569,5	18	31,6	6 457,9	41,3	1 862 908
КПГЭС	40 142,8	9 777	187,9	0	0	187,9	12	15,7	8 290,3	49,2	901 901
КТГЭС	39 503,3	13 809	324,0	0	0	324,0	8	40,5	6 189,1	54,1	967 803
КСГЭС	31 573,9	20 182	507,5	0	0	507,5	8	63,4	3 801,1	33,4	2 459 118
Апатитская ТЭЦ	44 081,7	90 527	323,0	735	183,8	506,8	18	63,3	2 309,3	47,0	713 469

по Петрозаводской ТЭЦ — наименьшим (для ТЭЦ) количеством основного оборудования;

по Первомайской ТЭЦ-14 — большим количеством технологических нарушений, выявленных в последние годы на оборудовании ТЭЦ.

На рис. 2 видно значительное превышение затрат постоянного характера на ремонт основных средств, распределенных по описанной выше модели, по сравнению со статистическими данными. Это обусловлено в первую очередь бóльшим числом часов использования основного оборудования в год на ГЭС по сравнению с ТЭЦ, а также в целом бóльшим сроком службы основного оборудования и сопоставимым (за исключением двух-трех случаев) уровнем мощности единицы оборудования (при сравнении ГЭС и ТЭЦ).

На рис. 2 также отмечается ряд несоответствий по характеру распределения расчетных и фактических затрат на ремонт между структурными подразделениями:

по каскадам Кемских (филиал «Карельский») и Серебрянских (филиал «Кольский») ГЭС отклонение расчетных значений в меньшую

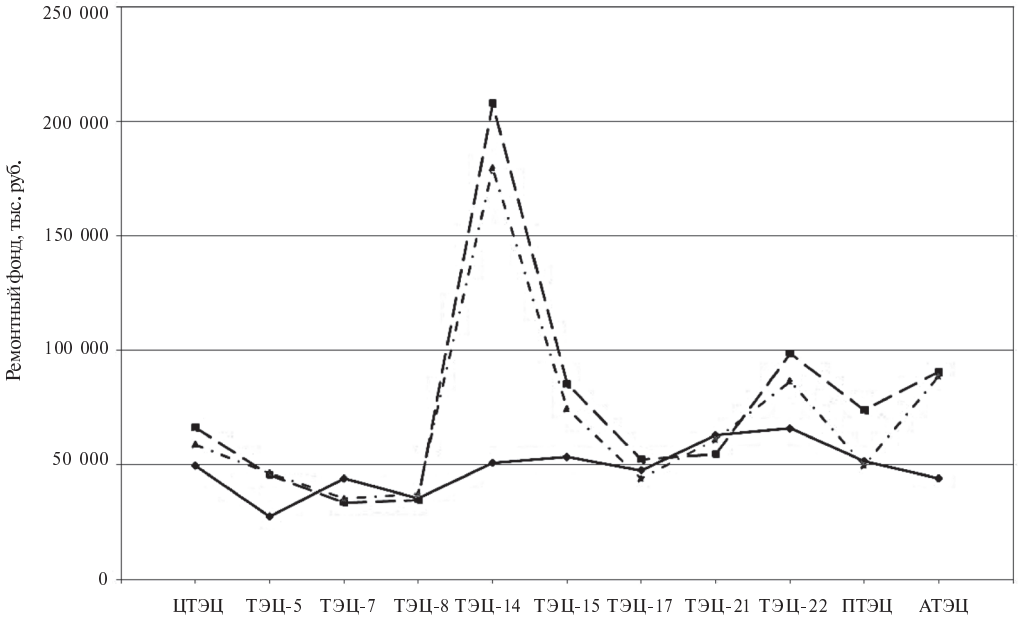


Рис. 1. Сопоставление расчетных данных с фактическими за 2008 год по ТЭЦ
(—◆—: — распределение по формуле; —■— — факт 2008 г.; —▲— — средний за 5 лет РФ)

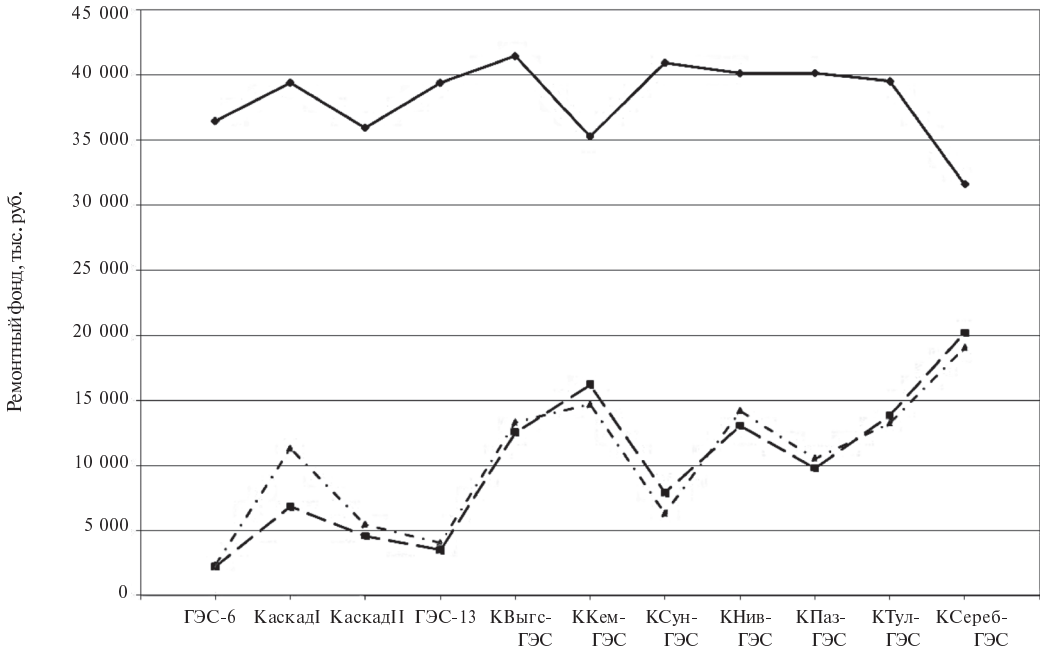


Рис. 2. Сопоставление расчетных данных с фактическими за 2008 год по ГЭС
(—◆—: — распределение по формуле; —■— — факт 2008 г.; —▲— — средний за 5 лет РФ)

сторону объясняется совокупностью таких факторов, как сравнительно низкое (для ГЭС) число часов использования основного оборудования в год (особенно — для каскада Серебрянских ГЭС), высокая балансовая стоимость основных фондов и «небольшой» (наименьший для ГЭС) срок службы основного оборудования;

по каскаду Сунских ГЭС филиала «Карельский» (в состав которого входят Малые ГЭС) причиной отклонения в бóльшую сторону также является совокупность факторов: наибольший срок службы основного оборудования, наименьшая балансовая стоимость основных фондов и сравнительно большое (для ГЭС) количество основного оборудования.

Необходимо отметить, что при анализе распределения затрат под понятиями «число часов использования основного оборудования в год» и «срок службы основного оборудования» следует понимать соответствующий параметр, приходящийся на единицу генерирующего оборудования соответствующего структурного подразделения.

Первое применение рассмотренной методики в ОАО ТГК-1 и последующее сравнение результатов с фактическими данными позволили выявить ряд устойчивых расхождений расчетных данных со статистическими за последние пять лет. Анализ причин расхождения привел к необходимости сформировать целый ряд управленческих решений, направленных прежде всего на экономическую эффективность функционирования энергокомпании. К таким управленческим решениям следует отнести:

по Апатитской ТЭЦ — необходимость формирования новых рынков сбыта или консервации оборудования;

по Правобережной ТЭЦ-5 и Первомайской ТЭЦ-14 — необходимость вывода из эксплуатации изношенных основных фондов как полностью исчерпавших свой ресурс.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости выделять из единого ремонтного фонда генерирующих компаний затраты постоянного характера и использовать рассмотренную математическую модель для распределения этих затрат по структурным подразделениям с последующей корректировкой полученных значений, которая будет учитывать фактическое техническое состояние и условия работы оборудования электростанций, а также уделять особое внимание тем структурным подразделениям, у которых имеются крайние (наибольшие или наименьшие) значения факторов, влияющих на распределение средств. Эту же модель целесообразно применять для анализа отклонений расчетных данных от фактических с целью выявления эффективных подходов к развитию генерирующих компаний.

Кроме того, для генерирующих компаний, имеющих в своем составе разнородную генерацию (например, ТЭС и ГЭС), эту математическую модель следует применять отдельно для каждого типа электростанций с последующим анализом результатов и возможностью итераций по итогам ремонтных кампаний.

В заключение отметим, что использование данной модели позволяет в короткие сроки получить с достаточной точностью базовое распределение средств между структурными подразделениями генерирующих компаний, не требует значительных трудозатрат и, кроме того, оно просто и понятно. В то время как определение нормативной величины затрат на техническое обслуживание и ремонт согласно [2] требует больших трудозатрат, причем методика определения сложна для понимания и не учитывает периодичность проведения ремонтов, а значения, получаемые в результате ее использования требуют, как и в случае с разработанной департаментом организации ремонта ОАО ТГК-1 математической моделью, дальнейшей корректировки (нормативная величина затрат определяется исходя из выполнения всего объема плановых капитальных, средних, текущих ремонтов и технического обслуживания основных фондов, установленных нормативно-технической документацией).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **РД 34.20.571.** Методические указания по расчету показателей готовности к работе электростанций и энергосистем [Текст].— М.: Изд-во СПО ОРГРЭС, 1976.

2. **СО 34.20.609–2003.** Методические рекомендации по определению нормативной величины затрат на техническое обслуживание и ремонт энергооборудования, зданий и сооружений электростанций [Текст].— М.: Изд-во ЦКБ Энергоремонт, 2003.

УДК 621.165

С.Н. Беседин, Е.И. Окунев,
В.А. Рассохин

МИКРОТУРБИННЫЙ ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ 100 КВТ (МТГ-100)

Многообразие потребителей электрической и тепловой энергии и требований к виду и качеству энергообеспечения заставляет по-новому взглянуть на роль автономных энергетических установок малой мощности (от десятков киловатт до нескольких мегаватт) в общей структуре энергетики страны. Учитывая, что в настоящее время в России трудно рассчитывать на изыскание достаточных материальных ресурсов для ввода в эксплуатацию в ближайшие годы новых энергетических станций большой мощности (за исключением завершения строительства ранее начатых объектов), следует большее внимание уделить возможностям инвестиций в малоразмерные распределенные энергетические источники.

За рубежом для децентрализованного обеспечения электрической и тепловой энергией широко используются газотурбинные установки мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен киловатт, применяемые в различных областях энергетики и коммунального хозяйства. Зарубежные установки подобной мощности и экономичности (такие, как Honeywell, Elliott, Capstone (США), а также Turbec (Volvo Aero, Швеция)) имеют на нашем рынке очень высокую стоимость — свыше 1500–2000 долл./кВт [1], а российские серийные аналоги таких установок отсутствуют. В нашей стране производство подобных установок позволило бы использовать их как автономные источники тепла и электроэнергии в различных секторах экономики: в промышленности, торговле, гражданском и жилом строительстве, фермерском хозяйстве, добыче и транспорте газа и нефти, коммунальном хозяйстве и др. [2, 3].

В Санкт-Петербурге ряд организаций (Научно-технический центр "Микротурбинные технологии", Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (кафедра турбинных двигателей и установок), ООО "Газпром Трансгаз Санкт-Петербург" и ОАО НПО ЦКТИ объединились для решения этой проблемы.

В 2007–2010 годах основные усилия этих организаций были направлены на разработку и создание серии малогабаритных газотурбинных установок с электрической мощностью от 20 до 500 кВт и электрическим КПД более 30 %.

Представленная статья посвящена разработке и изготовлению малогабаритной газотурбинной установки с электрической мощностью 100 кВт.

Для решения поставленных задач необходимо было применить новые технические решения, не характерные для отечественной энергетики. Такие технические решения позволяют обеспечить основные требования к автономным энергетическим установкам и их широкое внедрение. К их числу относятся: высокоэффективные радиально-осевые турбины; газодинамические подшипники; теплообменники с высокой степенью регенерации (0,9); высокооборотные электрогенераторы с преобразователем частоты; малотоксичные камеры сгорания.

Тепловая схема газотурбинной установки

Тепловая схема газотурбинной установки приведена на рис. 1. Воздух из атмосферы через систему фильтров входного устройства *6* поступает в центробежный компрессор *2*, где сжимается до необходимого давления и затем подается в теплообменник (рекуператор) *8*. В теплообменнике происходит подогрев воздуха, после чего он смешивается с углеводородным топливом (*10*), поданным с помощью топливного насоса *5*. Далее полученная однородная смесь попадает в камеру сгорания (КС) *7*. Продукты сгорания, имеющие высокую температуру, подводятся в радиально-осевую турбину *3*, в которой вырабатывается мощность для привода компрессора *2* и электрогенератора *1*.

В преобразователе *4* напряжение электрогенератора преобразуется в электрическое напряжение с необходимыми параметрами.

Выходные газы после турбины отдают теплоту воздуху в теплообменнике системы регене-

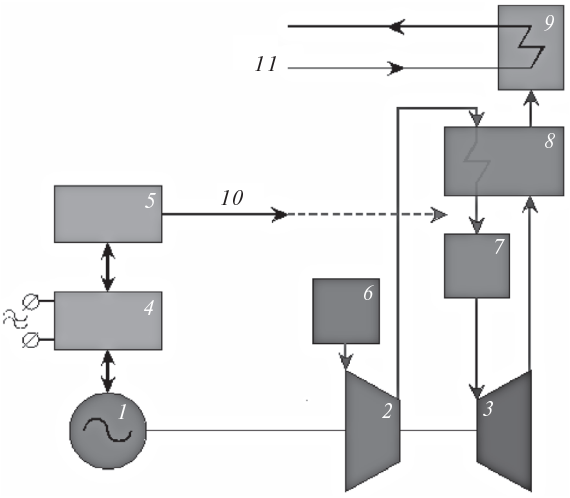


Рис. 1. Тепловая схема газотурбинной установки

рации и отводятся в выходное устройство. Для выработки тепловой энергии за турбиной может быть установлен теплофикационный котел *9*.

Конструктивная схема турбогенератора малогабаритной газотурбинной установки мощностью 100 кВт

Малогабаритный турбогенератор МТГ-100 (рис. 2) состоит из электрогенератора *1* и малогабаритного турбокомпрессора *2* с газодинамическими подшипниками *3*. Теплообменник системы регенерации и камера сгорания выполнены выносными.

По компоновке двигатель (рис. *3*) — трехопорный на газодинамических подшипниках. Два опорных подшипника *4* установлены в электрогенераторе, опорно-упорный подшипник *5* — в турбокомпрессоре. Центростремительная турбина *3*, центробежный компрессор *2* и подшипники монтируются на одном валу. Указанные элементы соосны с электрогенератором.

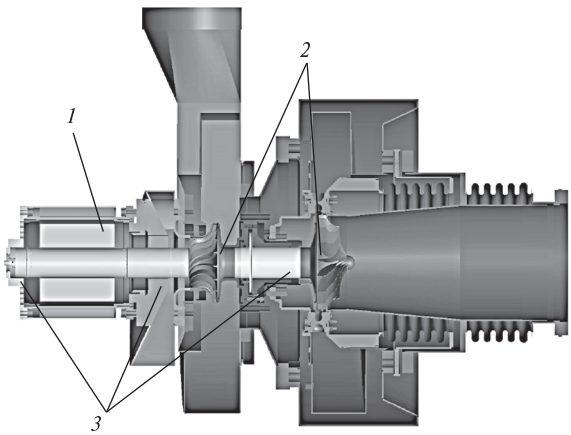


Рис. 2. Конструктивная схема МТГ-100

Газодинамические лепестковые подшипники

В качестве опорных и упорных элементов ротора используются газодинамические лепестковые подшипники.

Преимущества газодинамических лепестковых подшипников:

сохраняют работоспособность в широком диапазоне температур;

обеспечивают высокую скорость вращения ротора;

исключают необходимость использования специальных смазочных материалов и дополнительного оборудования для обеспечения подачи смазки в зоны контактов ротора и статора;

имеют большой ресурс работы благодаря отсутствию трущихся поверхностей;

экологически чисты, так как в качестве смазки используется окружающий воздух.

Подшипники установлены в следующих местах:

на свободном конце вала генератора – опорный;

между активной роторной частью генератора и компрессорным колесом – опорный;

между компрессорным и турбинным колесами – опорно-упорный.

Опорный подшипник состоит из лепестков *2*, устанавливаемых в пазах *1* корпуса установки, (рис. 4). В осевом направлении лепестки фиксируются стопорными пружинными кольцами *3*. Блок комбинированного подшипника монтируется на дистанционной втулке и устанавливается в корпусе турбины.

Камера сгорания малогабаритной газотурбинной установки

Малые габариты установки и повышенные требования к ее надежности, экономичности и экологическим характеристикам подтверждают целесообразность выбора камеры сгорания выносного типа, имеющую горелку предварительного смешивания с двумя каналами подвода топлива, регулируемыми трактами первичного воздуха и вторым каналом топлива, без системы внутреннего заградительного охлаждения пламенной трубы.

Выносная камера сгорания (рис. 5) состоит из основного корпуса цилиндрической формы *1* и корпуса горелочного фронта *2*, в которых расположены пламенная труба *5* и горелочное устройство предварительного смесеобразования *3*.

На корпусах расположены патрубки подвода воздуха *6* и *7*. Между корпусами имеется перегородка (*10*, *11*, *13*), разделяющая полости первичного и вторичного воздуха.

Первичный воздух поступает в горелочное устройство и образует газовоздушную смесь, которая сгорает в объеме пламенной трубы с повышенным избытком воздуха. Предварительное перемешивание топлива с воздухом и отсутствие заградительного воздушного охлаждения создает условия для горения без локальных (с повышенной и пониженной температурой) зон факела.

Регулирование расхода воздуха и топлива позволяет на всех нагрузках держать избыток первичного воздуха в необходимых пределах при разных нагрузках турбокомпрессора. Оптимальное значение избытка воздуха, определяемого по минимальным значениям выбросов NO_x и CO на всех режимах, находится при испытании камеры сгорания на стенде и уточняется при натурных испытаниях всей установки.

Воздух, поступающий во вторичную зону, обеспечивает охлаждение стенок пламенной трубы и снижает температуру продуктов сгорания до допустимой для турбины. По условиям организации процесса горения обедненной гомогенной смеси температуру стенки предпочтительно иметь не ниже 900 °С. Такие условия может обеспечить либо керамическое покрытие стенок, либо нанесение термобарьерного покрытия.

В процессе испытаний на газообразном топливе (природный газ) отработаны режимы запуска и набора нагрузки камеры сгорания на холодном воздухе при ручном управлении клапанами регулирования воздуха и природного газа [4].

Радиально-осевая турбина малогабаритной газотурбинной установки МТГ-100

Для определения режимных и геометрических характеристик и выбора оптимальных параметров тепловой схемы и ее отдельных элементов было выполнено расчетное исследование. Точные значения диаметра определялись при детальном оптимизационном расчете радиально-осевой турбины с использованием программного комплекса, пространственное профилирование осуществлялось по разработанной методике. Трехмерное изображение соплового аппарата показано на рис. 6. Размеры рабочего колеса компрессора выбирались также в этих пределах исходя из опытов проектирования подобных ГТУ.

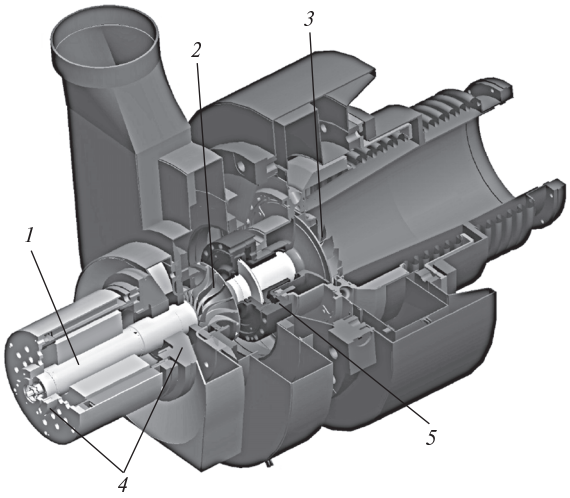


Рис. 3. Трехмерное изображение МТГ-100

Компрессор малогабаритной газотурбинной установки МТГ-100

Газодинамические расчеты и профилирование лопаточного аппарата малогабаритного центробежного компрессора выполнялись по методике профессора Ю.Б. Галёркина (СПбГПУ). Оптимизация основных размеров ступени проводилась при скорости вращения 60 000 об/мин. Эти расчеты включали в себя: определение характеристик центробежного компрессора, пространственное профилирование рабочего колеса (РК) на основе анализа диаграмм поверхностных скоростей, уточнение размеров РК и диффузора, профилирование неподвижных элементов проточной части и окончательный расчет характеристик.

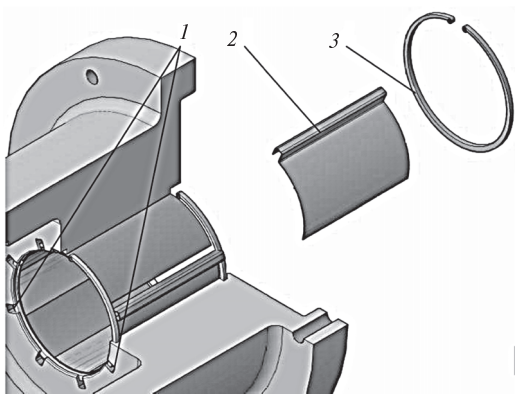


Рис. 4. Лепестковый газодинамический подшипник
1 – пазы под лепестки; *2* – лепестки; *3* – кольцо стопорное

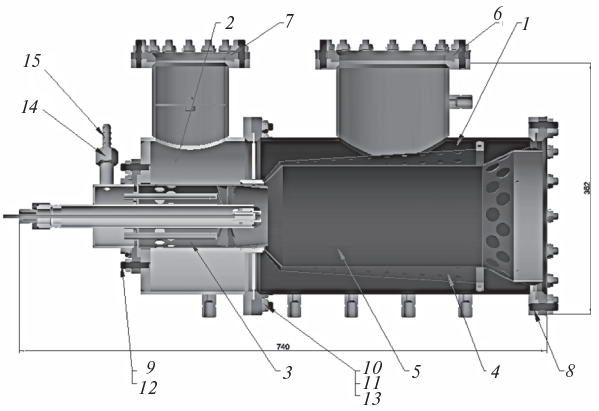


Рис. 5. Продольный разрез камеры сгорания

Расчеты показали, что в силу повышенных потерь трения в узких каналах ПЧ ожидаемый КПД вряд ли превысит 80 %. Но за счет повышения диаметра РК и увеличения коэффициента теоретического напора отношение давлений может даже превысить требование первоначального техзадания $\pi_к$= 3,8, так что турбина ГТУ в состоянии сообщить компрессору требуемую мощность 163 кВт. Реальная ступень при 60000 об/мин имеет окружную скорость 503 м/с (при заданной температуре входа 288 К. Эти характеристики будут уточняться при экспериментальной доводке центробежного компрессора.

Рекуператор малогабаритной газотурбинной установки МТГ-100

Для решения поставленных задач по созданию ГТУ малой мощности были проведены необходимые исследования на предмет возможности создания высокоэффективного теплообменника рекуперативного типа со степенью регенерации на уровне μ =0,9.

В задачу расчета теплообменника входило определение как тепловых потоков между теплоносителями, так и мощности источника механической энергии, расходуемой на преодоление сил трения и сопротивления, возникающих при движении теплоносителей через теплообменник.



Рис. 6. Сопловой аппарат радиально-осевой турбины

Для теплообменников, работающих на жидкостях большой плотности, затраты энергии на преодоление сил трения обычно малы по сравнению с тепловыми нагрузками поверхности, вследствие чего влияние затрат мощности на преодоление трения редко является определяющим. Однако в теплообменниках, работающих на средах малой плотности, например на газах, затраты механической энергии на преодоление силы трения могут достигнуть величины, близкой к количеству энергии, передаваемой в виде тепла.

Высказанные соображения привели к разработке множества методов конструирования развитых теплообменных поверхностей газовых теплообменников. Такие поверхности называются компактными, так как у них большое отношение их площади к объему теплообменника.

К результатам работы можно отнести:

1. На основе комплекса современных расчетно-экспериментальных методов разработана и создана энергетическая газотурбинная установка (ГТУ) с электрической мощностью 100 кВт со следующими техническими характеристиками:

Электрическая мощность ..... 100 кВт
Диапазон изменения температуры окружающей среды ..... (240–320) К
Коэффициент потерь полного давления во входном устройстве 0,96
Внутренний КПД компрессора по полным параметрам ..... не менее 0,82
Начальная температура газа перед турбиной ..... 1173 К
Степень повышения давления в компрессоре 3,8
Степень регенерации 0,9
Внутренний КПД турбины по полным параметрам ..... не менее 0,9
Коэффициент потерь полного давления в выходном устройстве 0,96
Диапазон изменения мощности ..... 0–111 кВт
Частота вращения ротора турбины ..... до 60000 об/мин
Электрический КПД МТГ-100 не менее 0,31–0,32

2. Использованы новые технические решения: малорасходные центробежные компрессоры и ра-

диально-осевые турбины, выносные малотоксичные камеры сгорания, газодинамические подшипники, высокооборотные электрогенераторы с преобразователями позволили создать малогабаритную ГТУ, не имеющую аналогов в России и по некоторым показателям превышающую ГТУ малой мощности фирм Honeywell, Elliott, Capstone (США), а также Turbec (Volvo Aero, Швеция).

3. Созданы технологическая (НТЦ "Микротурбинные технологии") и экспериментальная (СПбГПУ, НТЦ "Микротурбинные технологии", ЦКТИ им. Ползунова) базы, позволяющие в короткие сроки изготавливать и проводить экспериментальные, доводочные и сдаточные испытания основных узлов, деталей и ГТУ в целом с высокой точностью и достоверностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Performance and Durability of High Temperature Foil Air Bearings for Oil [Текст] / NASA // Free Turbomachimery. TM-2000-209187. 2000.

2. **Беседин, С.Н.** Автономные газотурбинные установки малой мощности [Текст] / С.Н. Беседин // Научно-технические ведомости СПбГПУ.— 2009. № 4-1(89).

3. **Беседин С.Н.** Автономные источники электрической и тепловой энергии [Текст] / С.Н. Беседин, Н.А. Забелин, С.Ю. Оленников [и др.] // Труды союза изобретателей.— 2010.— № 1.

4. **Беседин, С.Н.**, Расчетно-экспериментальное исследование малотоксичной камеры сгорания для газотурбинной установки малой мощности [Электронный ресурс] / С.Н. Беседин, В.А. Асосков, Г.А. Фокин // Электронный журнал "Исследовано в России", 2010.— 002, стр.30-37. г. http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles /2010/002.pdf

УДК 621.1.016.4

В.М. Боровков, С.В. Скулин

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Современный индивидуальный тепловой пункт – это комплекс устройств для присоединения внутренних инженерных сетей здания к наружным тепловым сетям. К его главным задачам относятся преобразование и тонкое регулирование параметров теплоносителя, экономичное распределение тепла по системам теплопотребления и защита систем от аварийного повышения параметров теплоносителя.

В современных индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) применяются передовые автоматические системы управления (АСУ), обеспечивающие полноценное регулирование тепловой нагрузки теплопотребляющих систем. Причем сегодня задача энергосбережения в индивидуальных тепловых пунктах решается только АСУ и теплоизоляцией оборудования ИТП.

Цель предлагаемой вниманию статьи — показать скрытый резерв экономии топлива с помощью эксергетического анализа тепловой схемы ИТП. Рассмотрены виды эксергетических потерь ИТП, которые в числе прочих факторов влияют на перерасход топлива [1] на теплоисточнике. Проведен анализ возможностей снижения эксергетических потерь.

В качестве примера рассмотрим реальный объект капитального строительства — дошкольное образовательное учреждение (ДОУ) на 190 детей в Санкт-Петербурге. Проект индивидуального теплового пункта выполнен согласно техническим условиям присоединения к сетям централизованного теплоснабжения на температурный график 150–70 °С при расчетной температуре наружного воздуха -26 °С. Срезки графика, также согласно техническим условиям, не предусмотрены.

Проектная тепловая схема индивидуального теплового пункта изображена на рис. 1.

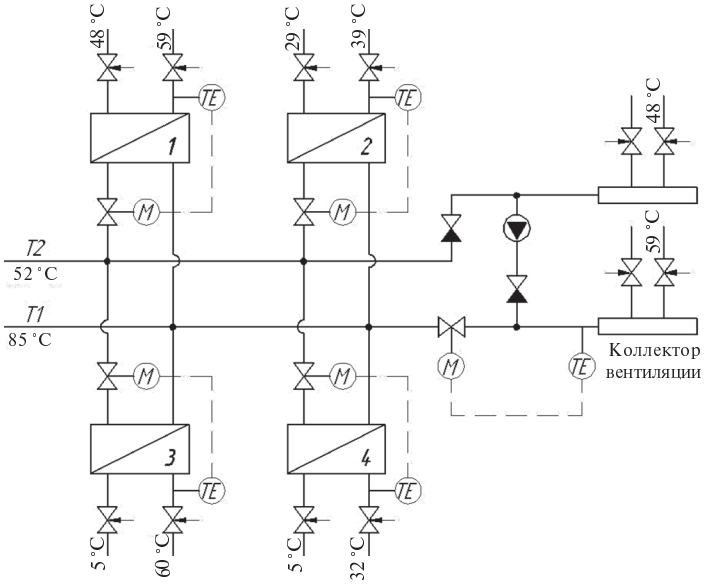


Рис. 1. Проектная тепловая схема ИТП (теплообменники: *1* — радиаторного отопления; *2* — напольного отопления; *3* — ГВС; *4* — бассейна)

Системы радиаторного и напольного отопления, а также ГВС и бассейна подключены по независимой схеме, все теплообменники включены параллельно. Температурные графики систем радиаторного отопления и вентиляции — погодозависимые. Температурные графики напольного отопления, ГВС и бассейна от погоды не зависят. Нагрузки ГВС и бассейна варьируются от максимальных в часы работы ДОУ до минимальных в нерабочее время.

Температурные графики и тепловые нагрузки меняются непрерывно в широком диапазоне, и анализ эксергетических потерь при различных условиях будет давать различные результаты.

Для анализа резерва снижения эксергетических потерь остановимся на параметрах ИТП при средней температуре отопительного периода и со среднечасовой нагрузкой горячего водоснабжения; к ним относятся:

средняя температура отопительного периода $T_{\text{ос}} = -18\ ^\circ\text{C}$;

температура теплоносителя в тепловой сети 85–52 °C;

температура теплоносителя систем отопления и вентиляции 59,5–48 °C.

Тепловые нагрузки инженерных систем, ккал/ч, при средней температуре отопительного периода –1,8 °C следующие:

Радиаторное отопление	116020
Напольное отопление	35700
ГВС (сред. час)	54050
Вентиляция	71000
Технологические нужды	15300

Эксергетический анализ проектной тепловой схемы ИТП

Рассмотрим работу индивидуального теплового пункта с позиций термодинамики. Тепловая схема ИТП включает несколько рекуператоров и смесительный узел, предназначенные для повышения эксергии теплоносителя контура нагревания за счет понижения эксергии теплоносителя греющего контура.

Для пластинчатых теплообменников и смесительных узлов характерны следующие виды эксергетических потерь: от конечной разности температур; от гидравлических сопротивлений; от теплообмена с окружающей средой; вызванные теплопроводностью вдоль поверхности теплообмена (только для теплообменников).

Для определения всех видов эксергетических потерь найдем среднетермодинамические параметры (табл. 1) процессов теплопередачи: среднетермодинамическую температуру T и эксергетическую температуру τ_e:

$$T = \frac{h_1 - h_2}{S_1 - S_2}; \qquad (1)$$

$$\tau_e = 1 - T_{\text{ос}} / T. \qquad (2)$$

Таблица1

Среднетермодинамические температуры процессов теплообмена

Теплообменник / смесительный узел	Температура по шкале Кельвина, К		Температура по эксергетической шкале, °Е	
	$T_{гр}$	$T_{нагр}$	$\tau_{гр}$	$\tau_{нагр}$
радиаторного отопления	341,42	327,12	0,2052	0,1705
напольного отопления	341,42	306,94	0,2052	0,1160
ГВС	341,42	304,79	0,2052	0,1097
вентиляции	341,42	327,12	0,2052	0,1705
технологических нужд бассейна	341,43	291,37	0,2053	0,0687

Потери эксергии от теплообмена при конечной разности температур. Первый вид эксергетических потерь определяется по формуле

$$D_{\text{Т}} = E_q^B - E_q^A = G_D \nabla e_B - G_D \Delta e_B =$$

$$\sum \delta q \Delta \tau_e = Q \Delta \overline{\tau}_e \,. \qquad (3)$$

Потери эксергии в теплообменниках и смесительных узлах составят:

$$D_{\text{Т}}^{\text{рад от}} = 116020 \ \left(0,2052 - 0,1705\right) =$$

$$= 4029,7 \text{ ккал/ч} = 16,87 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{нап от}} = 35700\left(0,2052 - 0,1160\right) =$$

$$= 3186,8 \text{ ккал/ч} = 13,34 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{ГВС}} = 54050 \ \left(0,2052 - 0,1097\right) =$$

$$= 5162,6 \text{ ккал/ч} = 21,61 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{вент}} = 71000 \ \left(0,2052 - 0,1705\right) =$$

$$= 2466,0 \text{ ккал/ч} = 10,32 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{т.н.басс}} = 15300 \ \left(0,2053 - 0,0687\right) =$$

$$= 2089,0 \text{ ккал/ч} = 8,75 \text{ МДж/ч}.$$

Суммарная потеря эксергии от конечной разности температур в ИТП

$$D_{\text{Т}}^{\text{ИТП}} = D_{\text{Т}}^{\text{рад от}} + D_{\text{Т}}^{\text{нап от}} + D_{\text{Т}}^{\text{ГВС}} + D_{\text{Т}}^{\text{вент}} + D_{\text{Т}}^{\text{т.н.басс}} =$$

$$= 16934,26 \text{ ккал/ч} = 70,9 \text{ МДж/ч}.$$

Потери эксергии от гидравлических сопротивлений. Процессы нагревания и охлаждения теплоносителей в ИТП близки к изобарным. Потеря эксергии от гидравлических сопротивлений в теплообменниках и смесительных узлах ИТП незначительна и определяется по формуле

$$D_p = G_A \nabla e_{1'-1} \frac{1}{\eta_e^A} + G_B \nabla e_{3'-3} \frac{1}{\eta_e^B}, \qquad (4)$$

где каждый член уравнения представляет собой величину работы нагнетательного устройства. В связи с малым гидравлическим сопротивлением подобранных пластинчатых теплообменников потери эксергии от гидравлических сопротивлений незначительны:

$$D_p^{\text{рад от}} = 199,26 \text{ кДж/ч};$$

$$D_p^{\text{нап от}} = 59,18 \text{ кДж/ч};$$

$$D_p^{\text{ГВС}} = 5,26 \text{ кДж/ч};$$

$$D_p^{\text{вент}} = 588,6 \text{ кДж/ч};$$

$$D_p^{\text{т.н.басс}} = 36,7 \text{ кДж/ч}.$$

Гораздо больший вклад в снижение эксергии от гидравлических сопротивлений вносит автоматическая регулирующая арматура: двухходовые и трехходовые клапаны. Это видно, например, по величине эксергетической потери в смесительных узлах систем вентиляции.

Сумма потерь эксергии от гидравлических сопротивлений ИТП (включая основную регулирующую арматуру) составляет

$$D_p^{\text{ИТП}} = 2,23 \text{ МДж/ч}.$$

Потери от теплообмена с окружающей средой. Третий вид потерь также вносит незначительный вклад благодаря современной теплоизоляции трубопроводов и теплообменников.

Следует отметить, что снижение этого вида потерь повышает эффективность системы теплопотребления только в том случае, когда тепловыделения оборудования превышают теплопотери помещения ИТП.

Поток эксергии, отводимый с поверхности теплоизолированного оборудования в помещение ИТП, определяется как

$$D_{\text{П}} = Q\Delta\bar{\tau}_e. \qquad (5)$$

Для определения максимально возможного теплового потока, отводимого в помещение с теплоизолированного оборудования и трубопроводов, была принята нормативная температура поверхности +35 °С по СП 41-101-95 "Проектирование тепловых пунктов" и температура воздуха в помещении +5 °С.

$$D_{\text{П}}^{\text{ИТП}} = 6{,}9 \text{ МДж/ч} \cdot 0{,}162^{\circ} E = 1{,}12 \text{ МДж/ч}.$$

Потери, вызванные теплопроводностью вдоль поверхности теплообмена. Четвертый вид эксергетических потерь — потери от продольной теплопроводности — характерен для всех теплообменников, у которых наблюдается изменение температуры теплоносителей вдоль поверхностей [1]. Однако в пластинчатых теплообменниках потери от продольной теплопроводности сведены к минимуму благодаря применению тонких пластин. Например, в теплообменнике системы радиаторного отопления угол между поверхностью пластины (условно считаем пластину плоской) и изотермическими поверхностями составляет от 0,51 до 1,10 °. Вектор теплового потока направлен под углом от 88,90 до 89,49 ° к поверхности пластины. А это значит, что при толщине пластины 0,5 мм перепад температур в направлении, перпендикулярном изотермам, больше перепада температур в направлении, перпендикулярном поверхности пластины, всего лишь на $4{,}35 \cdot 10^{-4}$ К. Поэтому потери, вызванные теплопроводностью вдоль поверхности теплообмена, не вносят какого-либо заметного вклада в суммарную величину эксергетических потерь.

Следует отметить, что данный вид потерь может достигать значительных величин в теплообменниках с малой разностью температур греющей и нагреваемой среды и с толстой стенкой поверхности теплообмена.

Для современных ИТП, оборудованных пластинчатыми теплообменниками, это не характерно, поэтому дальнейший анализ потерь от продольной теплопроводности не представляет практического интереса.

Итак, суммарные эксергетические потери индивидуального теплового пункта при средних за отопительный период тепловых нагрузках составят

$$D = D_{\text{Т}} + D_p + D_{\text{П}} = 70{,}90 + 2{,}23 + 1{,}12 =$$

$$= 74{,}25 \text{ МДж/ч},$$

что соответствует перерасходу условного топлива 2,53 кг у.т. в час и 13,38 т у.т. в течение отопительного сезона.

Альтернативная тепловая схема ИТП

Как было показано ранее, наибольший вклад в сумму эксергетических потерь ИТП вносит их составляющая от теплообмена при конечной разности температур. Альтернативная тепловая схема ИТП на рис. 2 выбрана для максимально возможного снижения данного вида потерь с сохранением температурных графиков всех внутренних инженерных систем.

Уменьшение эксергетических потерь от конечной разности температур возможно путем снижения среднетермодинамической температуры подвода теплоты, а этого можно достичь снижением температуры обратной сетевой воды. Для этой цели теплообменники, обслуживающие системы с низкими температурами теплоносителя (напольное отопление и бассейн), включены последовательно по греющей среде с теплообменниками систем радиаторного отопления и ГВС.

В альтернативной схеме последовательно соединены теплообменники радиаторного и напольного отопления. Системы радиаторного и напольного отопления работают непрерывно на протяжении отопительного сезона, запускаются и отключаются одновременно. Их температурные графики позволяют отсуществить такую комбинацию без шунтирования теплообменника радиаторного отопления.

Теплообменники ГВС и бассейна также соединены последовательно.

Система горячего водоснабжения выполнена с трубопроводом циркуляции. При среднечасовой нагрузке 54050 ккал/ч и объеме циркуляции 20 % от максимального часового расхода температура воды на входе в теплообменник составит 23 °С, а в нерабочее время при отсутствии водоразбора — 50 °С.

Из-за нестабильности нагрузки ГВС последовательное соединение теплообменников дополнено байпасом с двухходовым регулирующим клапаном (рис. 2). При этом байпасный регулирующий клапан включается в работу только после того, как исчерпана возможность регулиро-

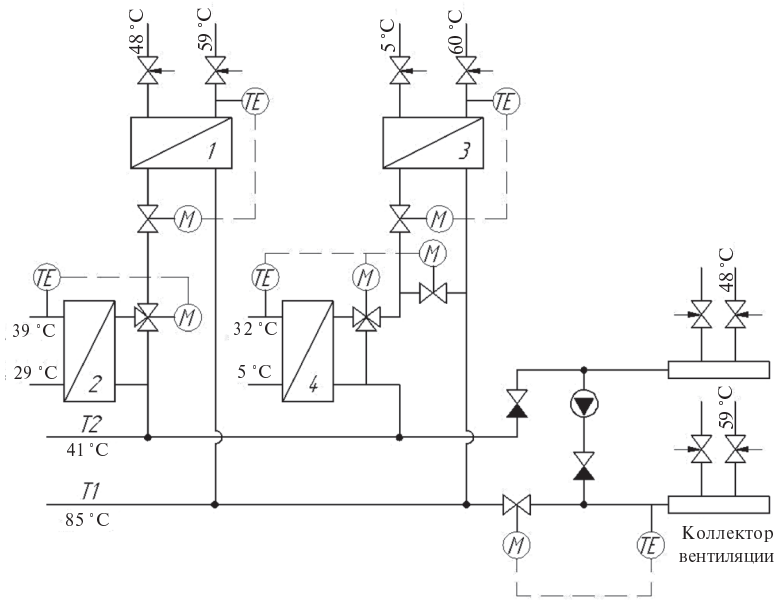


Рис. 2. Альтернативная тепловая схема ИТП

вания трехходовым клапаном и весь теплоноситель циркулирует через теплообменник бассейна.

Вычислим среднетермодинамические температуры процессов (табл. 2) и эксергетические потери в альтернативной тепловой схеме.

Потери эксергии от теплообмена при конечной разности температур (3):

$$D_{\text{Т}}^{\text{рад от}} = 116020\,(0,2052 - 0,1705) =$$

$$4029,7 \text{ ккал/ч} = 16,87 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{нап от}} = 35700(0,1389 - 0,1160) =$$

$$= 817,8 \text{ ккал/ч} = 3,42 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{ГВС}} = 54050(0,1905 - 0,1097) =$$

$$= 4364,0 \text{ ккал/ч} = 18,30 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{вент}} = 71000(0,2004 - 0,1705) =$$

$$= 2124,5 \text{ ккал/ч} = 8,89 \text{ МДж/ч};$$

$$D_{\text{Т}}^{\text{т.н.басс}} = 15300(0,1132 - 0,0687) =$$

$$= 680,6 \text{ ккал/ч} = 2,85 \text{ МДж/ч}.$$

Часть греющей воды в заданном режиме обходит теплообменники напольного отопления и бассейна по байпасам и смешивается с охлажденной водой, поэтому суммарная потеря эксергии от конечной разности температур в ИТП больше суммы эксергетических потерь теплообменников:

$$D_{\text{Т}}^{\text{ИТП}} = 12523,1 \text{ ккал/ч} = 52,4 \text{ МДж/ч}.$$

Потери эксергии от гидравлических сопротивлений (4):

$$D_{p}^{\text{ИТП}} = 4,22 \text{ МДж/ч}.$$

Таблица 2

Среднетермодинамические температуры процессов в альтернативной схеме

Теплообменник / смесительный узел	Температура по шкале Кельвина, К		Температура по эксергетической шкале, °Е	
	$T_{\text{гр}}$	$T_{\text{нагр}}$	$t_{\text{гр}}$	$t_{\text{нагр}}$
радиаторного отопления	341,42	327,12	0,2052	0,1705
напольного отопления	315,11	306,94	0,1389	0,1160
ГВС	335,19	304,79	0,1905	0,1097
вентиляции	339,36	327,12	0,2004	0,1705
технологических нужд бассейна	306,76	291,37	0,1154	0,0687

Потери от теплообмена с окружающей средой (5). Величину потерь от теплообмена с окружающей средой принимаем по ориентировочному расчету, выполненному для проектной схемы. (объективных причин для ее значительного изменения нет):

$$D_{\text{П}}^{\text{ИТП}} = 1{,}12 \text{ МДж/ч}.$$

Суммарные эксергетические потери альтернативной тепловой схемы индивидуального теплового пункта при средних за отопительный период тепловых нагрузках составят

$$D = D_{\text{Т}} + D_p + D_{\text{П}} = 52{,}4 + 4{,}22 + 1{,}12 =$$

$$= 57{,}74 \text{ МДж/ч},$$

что соответствует перерасходу условного топлива 1,97 кг у.т. в час и 10,40 т у.т. в течение отопительного сезона.

Благодаря применению альтернативной схемы ИТП, годовая экономия топлива составит 2,98 т у.т. В современных масштабах потребления топлива заявленная экономия невелика, но достигается она практически без дополнительных затрат на оборудование и обслуживание ИТП.

Снижение эксергетических потерь в индивидуальных тепловых пунктах может быть выгодно теплоснабжающей организации, но не принесет выгоды тепловому потребителю, поскольку поребитель оплачивает не расход топлива, а количество теплоты по установленному тарифу.

Коммерческий учет тепла ведется [2] теплосчетчиками по формуле

$$Q = G\left(h_1 - h_2\right). \qquad (6)$$

Для двух рассмотренных тепловых схем при прочих равных условиях будет справедливо равенство $G'\left(h_1' - h_2'\right) = G''\left(h_1'' - h_2''\right)$, что дает следующие значения:

$$8836 \text{ кг/ч}\left(356{,}383 \text{ кДж/кг} - 217{,}990 \text{ кДж/кг}\right) =$$

$$= 6642 \text{ кг/ч}\left(356{,}383 \text{ кДж/кг} - 172{,}278 \text{ кДж/кг}\right) =$$

$$= 1{,}223 \text{ МДж/ч}.$$

Потребление теплоты в обоих случаях одинаково.

В уменьшении эксергетических потерь ИТП путем снижения температуры обратной сетевой воды может быть заинтересована только теплоснабжающая организация. А поскольку именно теплоснабжающая организация определяет температурный график при выдаче технических условий подключения к тепловым сетям, то она владеет главным рычагом стимулирования эксергетической эффективности ИТП.

Резерв энергосбережения путем коррекции схемы индивидуального теплового пункта в проектируемом ДОУ составляет 115 ГДж в течение отопительного сезона, что равноценно 10,4 т у.т. Снижение эксергетических потерь от теплообмена при конечной разности температур возможно на всех объектах, где есть инженерные системы, потребляющие теплоту с низкими параметрами. Любое изменение схемы ИТП не отразится на величине теплопотребления здания. Поэтому снижение эксергетических потерь ИТП приносит выгоду только теплоснабжающей организации в виде экономии топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бродянский, В.М.** Эксергетический метод и его приложения [Текст] / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек; под ред В. М. Бродянского. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 288 с.

2. **Анисимов, Д.Л.** Скрытые ошибки учета тепла [Текст] / Д.Л. Анисимов // Энергосбережение. — 2007. № 7. — С. 35–37.

УДК621.865.8 (075.8)

О.В. Пухова

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ ГРУЗОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЯХ ПО ПАКЕТИРОВАНИЮ ГРУЗОВ

В современных автоматизированных линиях по пакетированию грузов для формирования пакетов используются пакетирующие машины, а также робототехнические комплексы (РТК). В РТК, как правило, предусмотрены технологические процессы, в которых робот выполняет перемещение грузов на поддон (паллету), расположенный на транспортной системе для горизонтального перемещения готового пакета. При этом граф рабочих операций обычно состоит из отрезков прямых линий. Очень часто в таких РТК используют манипуляторы, построенные на основе трех вращательных пар (ВВВ). У такого решения есть два существенных недостатка:

высокое энергопотребление, обусловленное диссипацией энергии в приводах плеча и предплечья манипулятора [1];

высокая стоимость промышленных роботов данного типа.

Этим объясняется низкая применяемость РТК в области пакетирования. Анализ применения промышленных роботов для осуществления операций по пакетированию грузов показывает, что в эта область использования роботов составляет около 5 %

В то же время сама операция пакетирования является массовой и практически стандартной для большинства грузов. С учетом существующих стандартов [2, 3] все пакеты с грузами имеют ограниченный ряд размеров, соответствующий стандартным поддонам 800×1200 и 1000×1200 мм. Высота пакетов ограничена размером 1200 мм, но при массе пакета, не превышающей 1200 кг, высота пакета может быть увеличена до 1800 мм.

Перечисленные выше соображения показывают, что для операции пакетирования целесообразна разработка специализированных робототехнических комплексов с одновременным решением задачи снижения энергопотребления.

Еще в 70-х годах XX века шведская компания RETAB предложила использовать в робототехнических комплексах для пакетирования грузовые платформы, что позволяло применять роботы, имеющие одну вращательную и две поступательные пары (ВПП) с высотой вертикального перемещения $H_в$, которая определялась разницей максимальной и минимальной высот пакета и величиной технологического перемещения схвата. При этом каждый последующий слой груза укладывался на предыдущий после опускания платформы на высоту, равную высоте одного слоя грузов. Однако проблема снижения энергопотребления в это время не стояла так остро, и внимание конструкторов осталось в стороне от того, что при максимальных нагрузках на привод платформы он работает в тормозном режиме, а при подъеме пустой платформы — в двигательном, а это приводит к большим потерям энергии на преодоление диссипативных сил.

Разработаны грузовые платформы с рекуператорами на базе пружинно-пневматического и пневматического аккумуляторов, которые позволяют повысить энергетическую эффективность как самой платформы, так и всего РТК в целом.

На рис. 1 представлена схема платформы с рекуператором энергии на базе пружинно-пневматического аккумулятора.

Платформа *1*, на которую устанавливаются грузы *2*, перемещается в вертикальном направлении вниз вдоль направляющих *3*. Платформа соединена с пружинами *4*, а также штоком пневматического цилиндра *5*. Бесштоковая полость

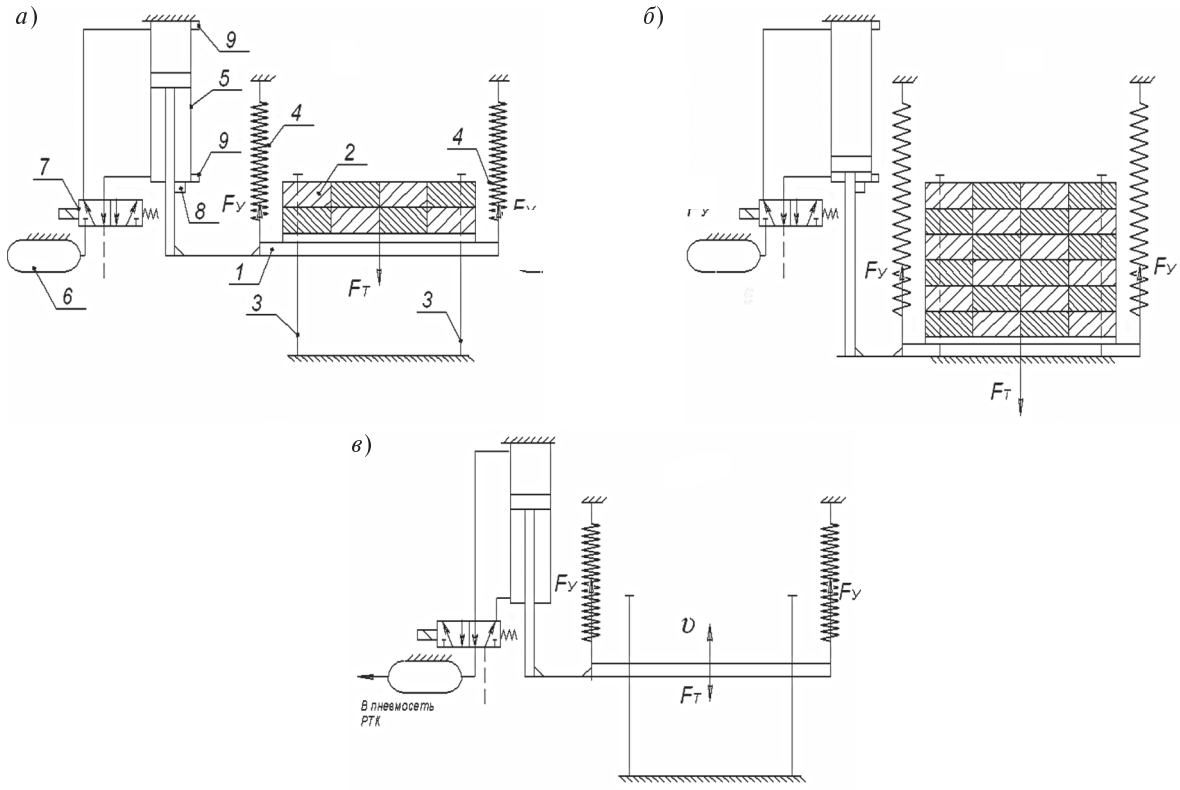


Рис. 1. Схема платформы с рекуператором энергии на базе пружинно-пневматического аккумулятора

пневмоцилиндра *5* соединена с ресивером *6* через пневмораспределитель *7*. Пневматический цилиндр оснащен фиксатором *8*, а также датчиками положения *9*.

Работа платформы происходит следующим образом. В начальный момент формирования пакета платформа, закрепленная фиксатором, находится в крайнем верхнем положении. Распределитель *7* находится в положении, показанном на рис. 1, *а*. После завершения укладки первого слоя грузов платформа снимается с фиксаторов и происходит ее вертикальное перемещение вниз (рис. 1, *б*). При этом поршень пневматического цилиндра *5* перемещается вниз вместе с платформой. После завершения вертикального перемещения система управления подает сигнал, по которому срабатывает фиксатор пневмоцилиндра. Далее аналогичным образом происходит укладка второго, третьего, четвертого и пятого слоев груза. Шестой слой укладывается без перемещения платформы. После завершения процесса формирования пакета система управления переключает распределитель *7* в положение, показанное на рис. 1, *в*, и бесштоковая полость пневматического цилиндра *5* соединяется с ресивером *6*. Далее происходит съем пакета с платформы, и под действием силы упругости пружин платформа начинает перемещаться вверх (рис. 1, *в*). При этом сжимаемый воздух из бесштоковой полости пневматического цилиндра *5* поступает в ресивер *6*. Далее процесс формирования пакета повторяется.

Для обеспечения возможности использования для укладки грузов на платформу манипулятора с минимальным обслуживаемым объемом желательно, чтобы уровень, на котором происходит укладка грузов, оставался постоянным при укладке всех слоев. Поэтому суммарная жесткость пружин определяется из условия, что при установке одного слоя грузов на платформу ее перемещение составляет высоту одного слоя грузов:

$$c = \frac{m_c g}{h_c}, \qquad (1)$$

где m_c — масса одного слоя грузов, h_c — высота одного слоя грузов

При укладке грузов перемещение платформы под действием силы тяжести определяется выражением

$$z = \frac{mh_c}{m_c}, \qquad (2)$$

где m — текущая масса нагруженной платформы.

Однако варианты реализации перемещения платформы под действием силы тяжести грузов могут быть различны, в их числе следующие:

1. Перемещение платформы происходит при укладке каждого отдельного груза. В начальный момент времени грузов на платформе нет. Начальное положение платформы определяется выражением

$$z_0 = \frac{m_{пл} h_c}{m_c}. \qquad (3)$$

При установке на платформу груза массой $m_{гр}$ она переместится вниз на величину

$$\Delta z_1 = \frac{m_{гр} h_c}{m_c}. \qquad (4)$$

При этом в системе возникнут затухающие колебания вида

$$z(t) = A_0 e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi_0), \qquad (5)$$

где A_0 — начальная амплитуда колебаний, которая равна Δz_1; δ — коэффициент затухания, определяемый выражением $\delta = \frac{a}{2m_{гр}}$, где a — коэффициент сопротивления среды; ω — частота затухающих колебаний, $\omega = \sqrt{\frac{c}{m_{гр}} - \delta^2}$.

При массе груза $m_{гр} = 20$ кг время затухания колебаний составляет $t = 2{,}5$ с, что не приведет к потере производительности, так как для пакетирующих манипуляторов, как правило, цикл работы составляет около шести секунд.

Отметим, что система управления манипулятором, устанавливающим грузы на платформу, может быть построена так, что перемещение груза манипулятором продолжается до столкновения проносимого груза с предыдущим или с упором. При описанной выше последовательности опускания платформы такая реализация технологического процесса укладки грузов манипулятором затруднительна, поскольку при укладке последних грузов слой уже опустится на достаточную высоту и площадь столкновения будет недостаточна.

2. Перемещение платформы происходит при укладке каждого слоя грузов. При установке на платформу слоя грузов она переместится вниз на величину

$$\Delta z_1 = h_c. \qquad (6)$$

При массе слоя $m_c = 200$ кг время затухания колебаний составит более 7 с. Такое время затухания приводит к потере производительности РТК. Поэтому целесообразно производить захват платформы в тот момент, когда она переместится на высоту одного слоя грузов. Недостаток такого подхода в том, что захват платформы производится на максимальной скорости.

3. Фиксация платформы в окрестности точки, где скорость равна нулю. Первое перемещение платформы происходит после установки первого слоя грузов. При этом фиксация платформы происходит в момент времени, когда она переместится на высоту двух слоев груза, при этом скорость минимальна. После завершения укладки второго слоя перемещения платформы не происходит. После укладки третьего слоя платформа снова снимается с фиксаторов и ее фиксация осуществляется при опускании платформы на высоту двух слоев груза при минимальной скорости. Далее происходит установка еще двух слоев груза и при необходимости процесс повторяется.

Результат сравнения разных вариантов технологии укладки груза приведен в таблице.

Найдем скорость перемещения платформы вверх после снятия с нее пакета и снятия платформы с фиксаторов. Для этого запишем уравнение энергетического баланса системы

$$П_{max} = T_{пл} + П_{пл} + E_{упр} + A_{сж} + A_{дис}, \qquad (7)$$

где $П_{max}$ — потенциальная энергия пакета, запасенная в пружинах; $T_{пл}$ — текущая кинетическая энергия пустой платформы; $П_{пл}$ — текущая потенциальная энергия пустой платформы; $E_{упр}$ — текущее значение потенциальной энергии растяжения пружины; $A_{сж}$ — работа, затрачиваемая сжатие газа в бесштоковой полости; $A_{дис}$ — работа, затрачиваемая на преодоление диссипативных сил.

Примем, что процесс сжатия газа в пневмоцилиндре является изотермическим. Тогда работа,

Сравнительный анализ рассмотренных вариантов последовательности перемещений платформы

Название характеристики	Значение характеристики в разных вариантах технологии укладки грузов манипулятором			
	Перемещение после установки каждого груза	Послойное перемещение платформы	Послойное перемещение с улавливанием	Перемещение после укладки двух слоев
Обслуживаемый объем манипулятора	минимальный	минимальный	минимальный	увеличенный
Работа манипулятора по упорам	невозможна	возможна	возможна	возможна
Время затухания колебаний	незначительное	значительное	–	–
Скорость, на которой производится улавливание платформы	–	–	максимальная	минимальная

затрачиваемая на сжатие газа, определяется выражением

$$A_{сж} = P_0 V_0 \ln\left(\frac{V_0}{V_т}\right), \qquad (8)$$

где P_0, V_0 — соответственно начальное давление и объем пневмоцилиндра, $V_т$ — текущий объем пневмоцилиндра.

Подставляя в формулу (7) выражение (8), а также выражения для текущих значений других слагаемых и не учитывая силы трения, получаем

$$\frac{cz_{max}^2}{2} = \frac{m_{пл} v^2}{2} + P_0 S(z_{max} + z_{дпр}) \times$$
$$\times \ln\left(\frac{z_{max} + z_{дпр}}{z_{max} + z_{дпр} - z}\right) + m_{пл} g z + \frac{cz^2}{2}, \qquad (9)$$

где z — текущая величина перемещения платформы; z_{max} — максимальное растяжение пружины; $z_{дпр}$ — приведенная добавочная высота (введена для удобства расчетов и равна условной длине ресивера, если бы его диаметр был равен диаметру поршня пневмоцилиндра); S — площадь поршня пневмоцилиндра; v — текущая скорость пустой платформы.

Начальное значение давления в системе выбрано из условия, что в конечный момент времени, когда платформа приходит в исходное положение, ее скорость равна нулю, а потенциальная энергия пружины полностью переходит в работу сжатия воздуха и подъема платформы. Тогда в конечный момент времени уравнение энергетического баланса (9) может быть записано так:

$$\frac{cz_{max}^2}{2} = P_0 S(z_{max} + z_{дпр}) \ln\left(\frac{z_{max} + z_{дпр}}{z_{дпр}}\right) +$$
$$+ m_{пл} g z_{max}. \qquad (10)$$

Откуда начальное давление в системе может быть выражено как

$$P_0 = \frac{\frac{cz_{max}^2}{2} - m_{пл} g z_{max}}{S(z_{max} + z_{дпр}) \ln\left(\frac{z_{max} + z_{дпр}}{z_{дпр}}\right)}. \qquad (11)$$

Из выражения (11) следует: чем больше величина приведенной добавочной высоты цилиндра, т. е. объем добавочного ресивера, тем большим должно быть начальное давление в системе.

Конечное давление после одного цикла работы платформы можно выразить так:

$$P_2 = P_0 \frac{z_{max} + z_р}{z_р}. \qquad (12)$$

Из выражения (12) можно найти, что при использовании стандартного цилиндра давлением до 10 Бар приведенная добавочная высота должна составлять около 0,4 м. При использовании специальных цилиндров с повышенным давлением может быть выбрана меньшая величина добавочного объема.

Из уравнения (9) можно получить скорость платформы при снятии ее с фиксаторов после отвода сформированного пакета:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2}{m_{пл}}\left(\frac{cz\max^2}{2} - mgz - \frac{c(z\max - z)^2}{2} - \right.}$$

$$\left. - \sqrt{P_0 S(z\max + z_{дпр})\ln\left(\frac{z\max + z_{дпр}}{z\max + z_{дпр} - z}\right)}\right). \quad (13)$$

При переходе потенциальной энергии груза в энергию растянутой пружины неизбежны ее потери на преодоление диссипативных сил. Потери энергии будут также и при переходе потенциальной энергии пружины в энергию сжатого воздуха. Таким образом, многократный переход энергии из одного вида в другой существенным образом влияет на КПД рекуператора энергии. В связи с этим предложено отказаться от промежуточного элемента в виде пружины и соединить платформу непосредственно с пневматическим цилиндром.

Схема грузовой платформы с рекуператором энергии на базе пневматического аккумулятора представлена на рис. 2.

Грузовая платформа *1* соединена со штоком пневматического цилиндра 2 и перемещается в вертикальном направлении по направляющим *3*. На пневматическом цилиндре *1* установлены датчики положения *4*, *5*, один из которых (*4*) контролирует верхнее положение поршня пневмоцилиндра, а другой (*5*) — его нижнее положение. На пневмоцилиндре *1* установлен фиксатор *6* в виде пневмоцилиндра, вход которого соединен с выходом ресивера *7* через пневмораспределитель *8*. Ресивер соединен также с пневмосетью робота. Бесштоковая область пневмоцилиндра *1* соединена с распределителями *9.1* и *9.2*, которые в свою очередь последовательно соединены с ресиверами *10.1* и *10.2* распределителями *11.1* и *11.2*, а таже ресивером *7*.

Работа платформы происходит следующим образом: в начальный момент времени пустая платформа поднята на максимальную высоту и фиксатор *6* находится в положении, когда шток пневматического цилиндра *2* зафиксирован. Клапаны *9.1*, *9.2* находятся в закрытом состоянии. При такой конфигурации пневмоцепи происходит укладка первого слоя грузов.

После окончания укладки первого слоя грузов пневматический цилиндр снимается с фиксатора, и платформа под действием силы тяжести грузов перемещается вниз. В тот момент, когда она опускается на высоту, равную высоте одного слоя грузов, датчик *12* подает в устройство управления сигнал, по которому устройство управления включает фиксатор *6*, и пневмоцилиндр *2* оказывается в зафиксированном положении. Далее система управления подает сигнал манипулятору для начала укладки следующего слоя. После завершения укладки третьего слоя открывается распределитель *9.1*, и к пневмосистеме подключается добавочный ресивер *10.1*. Подключение данного ресивера позволяет при-

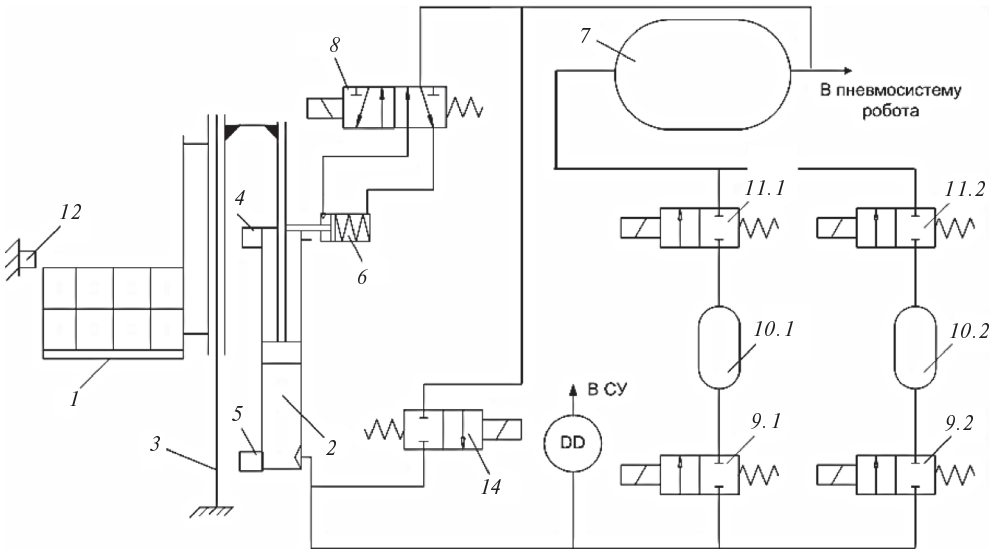


Рис. 2. Схема грузовой платформы с рекуператором энергии на базе пневматического аккумулятора

вести характеристику перемещения платформы к линейной. После перемещения платформы снова происходит фиксация штока пневмоцилиндра и начинается укладка пятого слоя грузов. При этом распределитель *9.2* переходит в открытое состояние, а к пневмоцепи подключается добавочный ресивер *10.*2. После окончания укладки пятого слоя происходит перемещение платформы на величину одного слоя грузов. Укладка шестого слоя грузов осуществляется без перемещения платформы. Далее распределители *9.1* и *9.2* переходят в закрытое состояние и добавочные ресиверы *10.1* и *10.2* отключаются от пневмоцепи. Затем устройство управления переводит распределители *11.1* и *11.2* в открытое состояние. При этом осуществляется стравливание воздуха из ресиверов *10.1* и *10.2* в ресивер *7.* После выравнивания давления в системе, ресиверы *10.1* и *10.2* отключаются от ресивера *7.* Ресивер *7* в свою очередь соединен с пневмосистемой манипулятора, а также с пневмоцилиндром *2.* После снятия сформированного пакета с платформы система управления переводит распределитель *8* в открытое состояние, и пустая платформа перемещается вверх. При достижении платформой верхнего положения система управления инициирует фиксацию штока. Далее цикл формирования нового пакета повторяется. Оставшийся в ресивере *7* сжатый воздух используется для осуществления горизонтальных перемещений манипулятора.

Определим конструктивные параметры грузовой платформы и рекуператора. Запишем уравнение энергетического баланса при опускании платформы с грузами

$$\Pi_{\max} = A_{\text{сж}} + A_{\text{дис}}, \qquad (14)$$

где $\Pi_{\max}$ — потенциальная энергия перемещаемых грузов; $A_{\text{сж}}$ — работа, затрачиваемая на сжатие газа в бесштоковой полости; $A_{\text{дис}}$ — работа, затрачиваемая на преодоление диссипативных сил.

Без учета диссипативных сил можно записать:

$$mgz = P_{\text{к}} V_{\text{к}} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right), \qquad (15)$$

где P — текущее давление сжатого воздуха в системе; $V_{\text{к}}$ — конечный объем пневмосистемы, P_0 — начальное давление в пневмосистеме; $P_{\text{к}}$ — конечное давление в пневмосистеме.

Выберем начальное давление P_0 из условия, что при установке на платформу трех слоев груза ее перемещение составляет заданную величину z_3. Для этого подставим заданные параметры в уравнение (15) и получим

$$m_3 g z_3 = P_{3\text{к}} S(H - z_3) \ln\left(\frac{P_{3\text{к}}}{P_0}\right), \qquad (16)$$

где H — максимальная высота перемещения платформы; $P_{3\text{к}}$ — давление в системе после установки на платформу трех слоев груза, которое определяется выражением $P_{3\text{к}} = \dfrac{m_3 g z_3}{S} + P_{\text{атм}}$.

Из уравнения (16) определим значение начального давления в системе, которое позволит при установке нескольких слоев груза переместить платформу в заданное положение:

$$P_0 = \frac{P_{3\text{к}}}{e^{\frac{m_3 g \cdot z_3}{a_3}}}, \qquad (17)$$

где $a_3 = P_{3\text{к}} S(H - z_3)$.

Объемы V_{bi} ресиверов *10.1* и *10.2* определяются исходя из необходимости обеспечить заданный шаг перемещения платформы на следующих этапах ее работы по формуле

$$V_{bi} = \frac{m_i g \Delta z}{P_{ik} \ln\left(\dfrac{P_{ik}}{P_{iH}}\right)} - S(H - z_{ik}) - V_{bi-1}, \qquad (18)$$

где m_i — масса платформы на i-м шаге перемещения; Δz — заданная высота перемещения платформы; z_{ik} — высота платформы в конце перемещения на i-м шаге работы; V_{bi-1} — объем ресивера, подключенного на предыдущем шаге.

Рассмотренные в статье платформы, оснащенные рекуператорами, позволяют повысить энергетическую эффективность технологического оборудования для пакетирования грузов. Повышение энергетической эффективности осуществляется в силу следующего:

опускание платформы происходит без применения приводов за счет потенциальной энергии грузов, накопленной ими при осуществлении технологического процесса;

потенциальная энергия грузов запасается в пружинно-пневматическом или пневматическом аккумуляторе энергии;

запасенная в аккумуляторе энергия используется для возврата пустой платформы в исходное положение, а также передается в пневмосистему манипулятора РТК.

Платформы с предложенными рекуператорами могут быть рекомендованы для применения не только в РТК, но и в пакетоформирующих машинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жавнер, В.Л.** Погрузочные манипуляторы [Текст] / В.Л. Жавнер, Э.И. Крамской; Под ред. проф. А.И. Колчина.— Л.: Машиностроение (Ленингр. отделение), 1975.

2. **ГОСТ 9078–84** (СТ СЭВ 317–76), Поддоны плоские. Общие технические условия [Текст].

3. **ГОСТ 26663–85.** Пакеты транспортные, формирование с применением средств пакетирования. Общие технические требования [Текст].

УДК 681.516.73.001.57

Ю.Н. Кожубаев, О.В. Прокофьев, В.И. Филимонов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Широкое использование конвейерного транспорта на шахтах и карьерах — один из важных факторов повышения технического уровня и эффективности функционирования горного производства. В последнее время на большинстве горных предприятий переходят на поточное транспортирование горной массы. Рост грузопотоков и длин транспортирования обусловил необходимость создания высокопроизводительных ленточных конвейеров большой длины и мощности с применением дорогих синтетических и резинотросовых лент. Это приводит к значительному увеличению стоимости конвейерной установки. В настоящее время коэффициент использования конвейерных установок на горных предприятиях составляет в среднем 50–70 % по производительности и 60–70 % по времени. Такое неэффективное использование конвейерных установок в чиле прочего связано с тем, что поступающие от горных машин грузопотоки характеризуются значительной неравномерностью по амплитуде и частоте поступления груза. Таким образом, проблема повышения экономической эффективности конвейерных установок при их эксплуатации на горных предприятиях весьма актуальна. Один из путей решения данной задачи сводится к согласованию режимов работы системы ленточных конвейеров с параметрами поступающего на него грузопотока.

Исследованию шахтных грузопотоков и определению их характеристик посвящены работы Л.Г. Шахмейстера [1], О.М. Зарецкого [2], В.А. Пономаренко [3], Р.В. Мерцалова [4]. Карьерные грузопотоки исследовались И.А. Шпакуновым, Е.М. Козловым и др.

Многочисленные наблюдения [5 и др.], выполненные на шахтах и карьерах, показали, что грузопоток представляет собой процесс, состоящий из многократно чередующихся в течение смены периодов поступления полезного ископаемого и его отсутствия, причем длительность периодов случайна. Отсутствие груза на конвейере бывает связано с остановкой горной машины для осмотра, выполнения различных технологических операций, устранения технических неисправностей и т. д. Особенно неравномерны грузопотоки на угольных шахтах.

Под грузопотоком понимают количество груза, перемещаемого в единицу времени. Грузопоток, поступающий на конвейер, находится по формуле

$$Q_{\text{вх}}(t) = \frac{dm_{\text{вх}}(t)}{dt}, \qquad (1)$$

где $m_{\text{вх}}(t)$ — масса горной породы.

Грузопоток с учетом скорости ленты $v(t)$ формирует на ленте линейную плотность $\rho(x,t)$, кг/м, причем в начале ленты она равна

$$\rho(x,t)\big|_{x=0} = \frac{dm_{\text{вх}}(t)}{dt}\frac{1}{v(t)}, \qquad (2)$$

где $v(t)$ — скорость движения ленты конвейера.

На выходе ленточного конвейера получаем

$$\rho(x,t)\big|_{x=L} = \rho_{\text{вых}}(t), \qquad (3)$$

что с учетом скорости ленты $v(t)$ преобразуется в выходной грузопоток

$$Q_{\text{вых}}(t) = \frac{dm_{\text{вых}}(t)}{dt} = \rho_{\text{вых}}(t)v(t). \qquad (4)$$

Входная $\rho_{\text{вх}}(t)$ и выходная $\rho_{\text{вых}}(t)$ плотности при переменной скорости $v(t)$ ленты связаны следующими соотношениями:

$$\rho_{\text{вых}}(t) = \rho_{\text{вх}}(t - \tau(t)); \qquad (5)$$

$$\int_{t-\tau(t)}^{t} v(\lambda)\, d\lambda = L, \qquad (6)$$

где $\tau(t)$ — переменное запаздывание, L — длина конвейера [6].

В эксплуатационно-технической документации зачастую приводятся ограничения в эксплуатации конвейера, в частности дается величина $\rho_{\text{об max}}$ — объемная плотность (кг/м^3), максимально допустимая на конвейере, $Q_{\text{экс max}}$ — максимально допустимая эксплуатационная производительность, т/ч.

Однако в расчете на тяговое усилие ленточного конвейера возникают сложности при вычислении единицы объема, для которой заданы ограничения по максимальному весу транспортируемого материала. К примеру, в расчете ленточного конвейера затруднительно, зная максимально допустимую объемную плотность, определить максимальный возможный грузопоток при заданной скорости движения ленты.

Для необходимых расчетов и, в частности, для моделирования ленточного конвейера в паспортных данных следует приводить максимальную линейную плотность — $\rho_{\text{лин max}}$. Тогда из (2), зная скорость движения ленты конвейера $v_{\max}(t)$ и максимальную линейную плотность $\rho_{\text{лин max}}$, можно найти максимально допустимый грузопоток, поступающий на конвейер:

$$\left(\frac{dm_{\text{вх}}(t)}{dt}\right)_{\max} = \rho_{\text{лин max}}\, v(t)_{\max}. \qquad (7)$$

Исходя из вышесказанного рекомендуется в эксплуатационно-технической документации в качестве параметра, ограничивающего режим работы конвейера, приводить не максимальную объемную плотность $\rho_{\text{об max}}$ (кг/м^3), а линейную плотность $\rho_{\text{лин max}}$ (кг/м).

Если не учитывать вязко-упругих свойств ленты и тягового фактора привода, то структуру конвейера можно представить в виде, изображенном на рис.1, где $v(t)$ — переменная скорость конвейера, одинаковая для всех элементов конвейера.

На рис. 2 представлена реализация структурной схемы конвейера в среде Matlab/Simulink [7].

На вход *1* блока транспортного запаздывания *TZ* (рис. 2) подается входной сигнал $\rho_{\text{вх}}(t)\big|_{x=0} = \frac{dm_{\text{вх}}(t)}{dt}\frac{1}{v(t)}$. На вход *2* блока транспортного запаздывания *TZ* подается управляющий сигнал $\frac{L}{v(t)}$. Этот сигнал при переменной скорости физического смысла не имеет, но необходим как управляющий вход этого блока. На выходе блока *TZ* формируется $\rho_{\text{вых}}(t) = \rho_{\text{вх}}(t - \tau(t))$, где $\tau(t)$ удовлетворяет соотношению (6).

Для анализа характеристик поточно-транспортной системы при различных грузопотоках, скоростях конвейеров и их длинах разработана соответствующая модель системы.

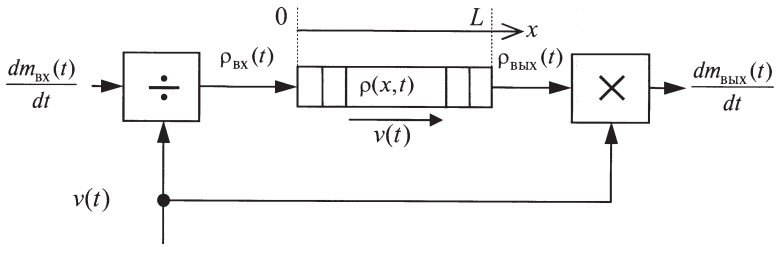


Рис. 1. Структурная схема конвейера

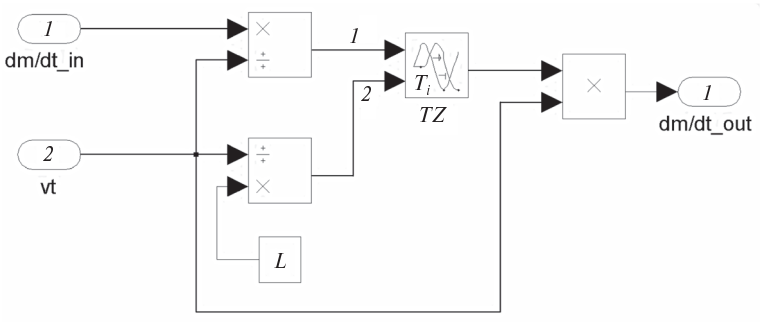


Рис. 2. Реализация структурной схемы конвейера в среде Simulink

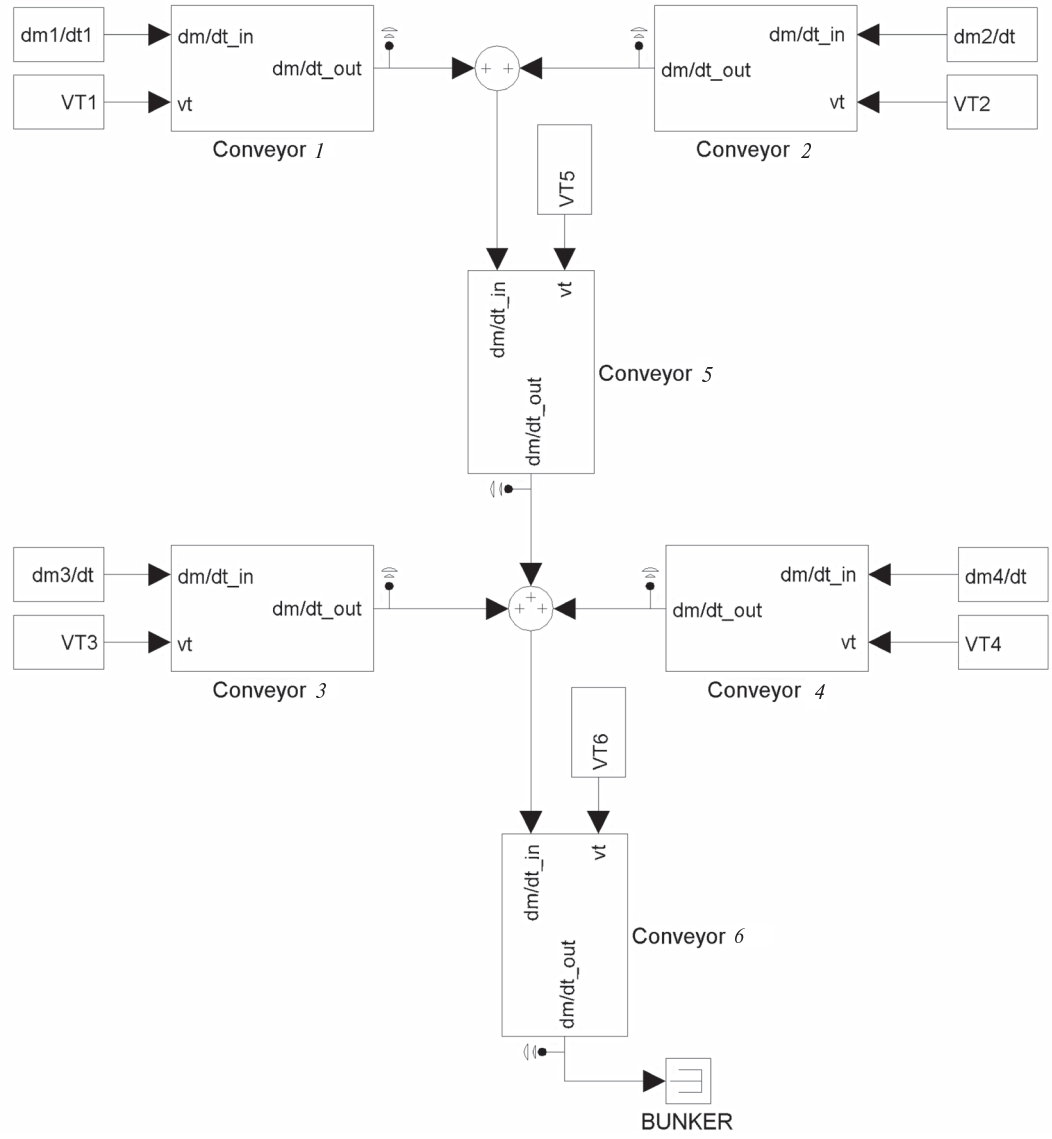


Рис. 3. Модель поточно-транспортной системы из шести ленточных конвейеров

На рис. 3 изображена модель поточно-транспортной системы из шести ленточных конвейеров, где *1*, *2*, *3*, *4* — участковые конвейеры, а *5*, *6* — магистральные.

Модель каждого из шести конвейеров в системе выполнена в соответствии с рис. 2. Выходные грузопотоки с участковых конвейеров, суммируясь, поступают на магистральные конвейеры.

На рис. 4 приведены результаты моделирования процессов в поточно-транспортной системе при следующих исходных данных:

$$\frac{dm_{1,2}}{dt} = 100\left(1 + \frac{\lambda_{1,2}}{100}\exp\left(-\frac{(t - t^*_{1,2})^2}{2\sigma^2}\right)\right), \text{ кг/с;} \quad (8)$$

$$\frac{dm_{3,4}}{dt} = 100\left(1 + \frac{\lambda_{3,4}}{100}\exp\left(-\frac{(t - t^*_{3,4})^2}{2\sigma^2}\right)\right); \quad (9)$$

$$v_{1,2}(x) = 2\left(1 - \frac{\mu_{1,2}}{100}\exp\left(-\frac{(t - t^*_{1,2})^2}{2\sigma^2}\right)\right); \quad (10)$$

$$v_{3,4}(x) = 2\left(1 - \frac{\mu_{3,4}}{100}\exp\left(-\frac{(t - t^*_{3,4})^2}{2\sigma^2}\right)\right); \quad (11)$$

$$v_5(x) = 2\left(1 - \frac{\mu_5}{100}\exp\left(-\frac{(t - t^*_5)^2}{2\sigma^2}\right)\right); \quad (12)$$

$$v_6(x) = 2\left(1 - \frac{\mu_6}{100}\exp\left(-\frac{(t - t^*_6)^2}{2\sigma^2}\right)\right). \quad (13)$$

В выражениях (8)—(13) обозначено:

$\lambda_{1,2} = \lambda_{3,4} = 200\,\%$ — относительные возмущения грузопотоков;

$\mu_{1,2} = \mu_{3,4} = \mu_5 = \mu_6 = 10\,\%$ — относительные возмущения скоростей конвейеров;

$t^*_{1,2} = 10$ с, $t^*_{3,4} = 60,2$ с — значения времени максимумов возмущений грузопотоков и минимумов возмущений по скоростям участковых конвейеров;

$t^*_5 = 60,2$ с, $t^*_6 = 110,4$ с — значения времени минимумов возмущений по скорости магистральных конвейеров;

$\sigma = 2$ — характеристика длительности возмущения. Длительность колоколообразного возмущения составляет примерно 2σ.

Форма возмущений выбрана из соображений близости к реальным кратковременным возмущениям. В качестве наблюдаемых переменных (рис. 4) представлены грузопотоки, поскольку переход к линейной плотности можно осуществить, используя соотношения (2) и (4).

Грузопоток на выходе магистрального конвейера *6* (рис. 4) увеличился более чем в 4 раза по отношению к его величине в установившемся эксплуатационном режиме. Плотность груза на ленте 6-го конвейера в установившемся режиме — 200 кг/м, а при возмущении — 890 кг/м. При наличии кратковременных малых возмущений только по скорости ($\lambda_{1-4} = 0, \mu_{1-6} = 10\,\%$) грузопоток на выходе конвейера *6* увеличивается с 400 до 500 кг/с. Изменение параметра σ не влияет на амплитуды грузопотоков и плотности, но определяет длительность итоговых возмущений на выходе.

Основные результаты работы следующие:

1. Предложены рекомендации по составлению эксплуатационно-технической документации ленточных конвейеров. В определении максимально допустимых параметров ленточных конвейеров предлагается вместо объемной плотности (кг/м^3) использовать линейную плотность (кг/м), что позволяет по формуле (7) определить требуемую величину максимального грузопотока, поступающего на конвейер.

2. Результаты моделирования поточно-транспортной системы показывают, что допустимые кратковременные вариации входных грузопотоков и параметры системы конвейеров в рабочих режимах при определенных комбинациях, неблагоприятных временных сочетаниях могут привести к аварийным ситуациям, к перегрузке отдельных конвейеров, особенно магистральных.

3. При наличии датчиков, позволяющих измерять величины грузопотоков — $Q_{\text{вх}}$ и скоростей — $v(t)$, и при соответствующем интерфейсе данная модель может позволить в режиме реального времени отслеживать характеристики поточно-транспортной системы, в частности линейную плотность транспортируемой горной массы. Такая визуализация состояния системы позволит принимать своевременные решения при изменении внешних воздействий с целью контроля и поддержания необходимого уровня загрузки системы конвейеров, тем самым предот-

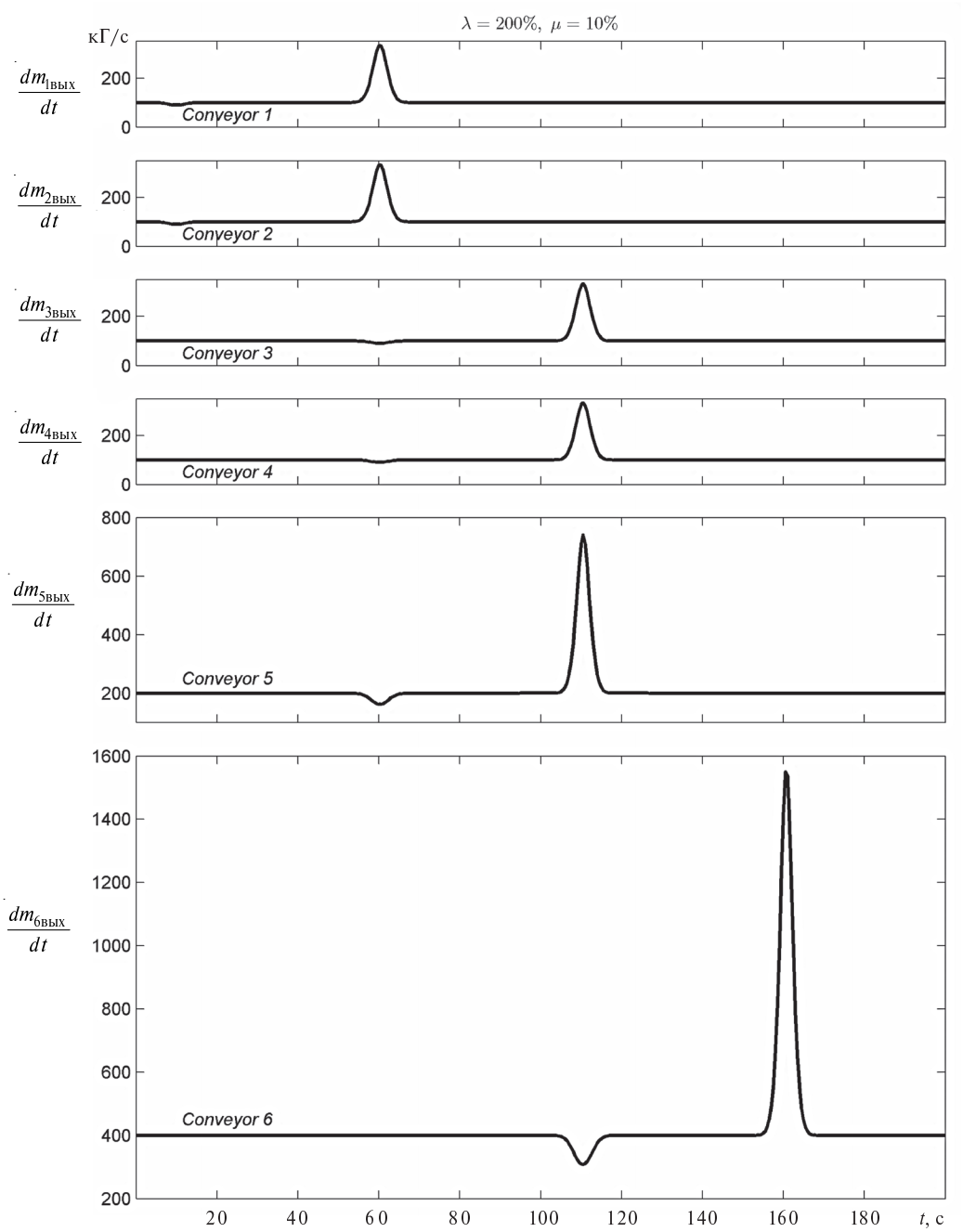


Рис. 4. Результаты моделирования поточно-транспортной системы

вращения аварийного режима работы. Особенно важно не допускать перегрузки поточно-транспортной системы, что может привести к разрыву лент и остановке всей системы с дальнейшими затратами времени на восстановление.

4. Построенная модель поточно-транспортной системы в среде Matlab/Simulink с возможностью задания входных грузопотоков и скоростей конвейеров позволяет исследовать работу системы ленточных конвейеров не только в эксплуатационном режиме, но и при пуске и торможении.

5. При сформулированной цели управления построенная модель может быть основой для выбора структуры и параметров системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шахмейстер, Л.Г.** Теория и расчет ленточных конвейеров [Текст] / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев.— М.: Машиностроение, 1987.— 336 с.

2. **Зарецкий, О.М.** Исследование неравномерности грузопотоков из очистных забоев угольных шахт и разработка методики расчета и выборки параметров привода выравнивающих бункер конвейеров [Текст]: дис. ... канд. тех. наук / О.М. Зарецкий.— М., 1979.

3. **Пономаренко, В.А.** Научные основы определения резервов пропускной способности и оптимизация систем подземного транспорта угольных шахт [Текст]: дис. ... докт. тех. наук / В.А. Пономаренко. — Донецк, 1965.

4. **Мерцалов, Р.В.** Исследование подземных грузопотоков и установление способов повышения эффективности использования шахтных конвейеров [Текст]: дис. ... канд. тех. наук Р. В. Мерцалов.— М., 1968.

5. **Брагин, В.В.** Формирование грузопотоков угля из комплексно-механизированных забоев [Текст] / В.В. Брагин, А.Л. Шевелев, Л.Д. Ларичкин // Сб. научных трудов ассоциации "Кузбасуглетехнология".— 1992. № 5.— С. 16–29.

6. **Филимонов, В.И.** Моделирование переменного комбинированного запаздывания [Текст] / В.И. Филимонов, О.В. Прокофьев, М.А. Беляев // Сб. научных трудов "Вычислительные, измерительные и управляющие системы".— СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2007.— С. 32–38.

7. **Дэбни, Дж.** Simulink4 [Текст] / Дж. Дэбни, Т. Харман. — М.: Бином. Лаборатория базовых знаний, 2003.— 404 с.

УДК 621.867.17

В.Н. Смирнов, С.В. Никитин

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Конвейеры — машины призванные перемещать объекты труда человека между рядом технологических операций. Их широкое использование обусловлено высокой производительностью и долговечностью, что и определяет жесткость предъявляемых к ним технических и эксплуатационных требований.

В машиностроении наиболее распространены цепные конвейеры. Среди многих проблем, связанных с их проектированием, следует отметить наиболее острую: определение динамических нагрузок, связанных с кинематикой зацепления привода.

Данной проблемой занимались многие известные ученые — Г.Г. Ганфштенгель, А.А. Долголенко, И.Г. Штокман. Но использование созданных ими методик, особенно при проектировании эскалаторов, часто дает завышенные значения нагрузок. Созданные в последнее время динамические модели не учитывают ряд важных факторов и могут быть применены к расчету динамических нагрузок в течение малого промежутка времени.

Указанные обстоятельства, необходимость более точного расчета динамических усилий и упрощения алгоритма их определения для рядового инженера вызвали потребность в создании новой обобщенной модели и ее реализации в виде программного продукта.

Разрабатываемая модель является «конструктором», элементы которого составляют расчетную модель машины. При этом отдельный элемент (модуль) — обособленная программная структура, использующая собственные математические методы и ресурсы компьютера, что позволяет выполнять расчет для нескольких модулей параллельно.

Создание такого конструктора требует удовлетворения некоторых принципов, которые можно назвать "логистическими" из-за организации информационных потоков и поддерживающих их управляющих сигналов. В их числе:

организация взаимосвязи разнотипных расчетных модулей узлов конвейера путем определения достаточного объема передаваемой информации;

организация управляющих взаимодействий, позволяющих эффективно направлять работу модулей;

возможность параллельной работы модулей, что значительно сократит время выполнения программой всех расчетов.

Таким образом, кроме разработки топологии и содержания модулей отдельных узлов конвейеров требуется создание управляющей программы, обеспечивающей выполнение расчетов в целом.

Управляющая программа выполняет следующие функции: организует сбор информации для выделения памяти каждому модулю; запускает и контролирует расчет начальных условий; запускает модули на расчет и контролирует его выполнение; подсчитывает модельное время и контролирует момент окончания расчета.

Сначала выделяется необходимый для расчета объем памяти. Затем управляющая программа поочередно передает управление расчетчикам каждого модуля модели с сигналом “Расчет начальных условий”. Модули можно разделить на два типа: ведущие и ведомые.

Расчетная программа ведущего модуля способна самостоятельно определить его начальное состояние без использования информации от других модулей. Ведомые модули для определения своего начального состояния должны получать информацию о состоянии ведущих.

Запустив процесс установки начальных условий в модулях модели, управляющая программа ожидает прихода ответного сигнала — “Готово” или “Не готово”, в зависимости от типа модуля и наличия требуемой входной информации. К ведомым модулям, которые вернули “Не готово”, управляющая программа обращается повторно.

После стадии определения начальных условий следует собственно стадия “Расчет”. Это стадия взаимного влияния, когда выходные параметры одного модуля влияют на ход расчета внутреннего состояния других модулей. Взаимодействие с модулями здесь также осуществляется при помощи ответных сигналов “Готово” и “Не готово”.

На рис. 1 представлена схема обмена информацией между различными модулями в модели.

Моделируемый процесс — динамический, протекающий во времени. Стандартный метод решения такой системы — дискретизация решения по времени. Начальные условия для всех модулей определяются для момента времени t_0. Расчетные программы на основе начальных условий определяют состояние модулей на момент времени $t_0 + dt$. Затем, используя рассчитанные состояния модулей как начальные условия, определяют их состояние в момент $t_0 + 2dt$. Таким образом, “Расчет” продолжается до указанного времени t_1 его окончания. Параметр dt — дискретность системы по времени.

На схеме (рис.1) модели конвейера размещены следующие модули: “Привод”, “Натяжное устройство”, “Отклоняющее устройство”, “Груз”. Их информационные связи замыкаются на модуле “Тяговый орган”, через который происходят все взаимодействия. Следовательно, состояние большинства модулей прямо не зависит от

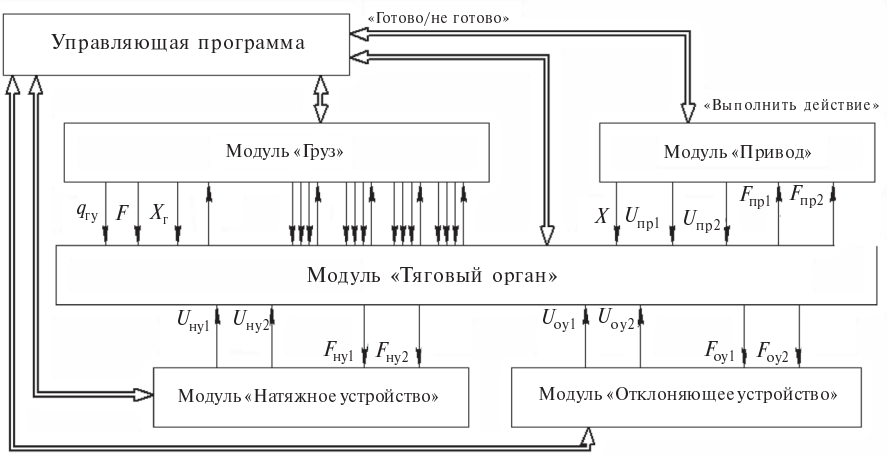


Рис. 1. Схема информационных и управляющих потоков в модели

состояния других, и при наличии многопроцессорной системы расчет можно организовать в несколько параллельных потоков.

В ряде работ тяговый элемент представлялся в виде дискретных масс, соединенных упругими связями [2]. Более точной является модель эквивалентного упруго-вязкого стержня, описываемая волновым уравнением вида

$$\frac{\partial^2 U(t,x)}{\partial t^2} = \nu^2 \frac{\partial^2 U(t,x)}{\partial x^2} + K \frac{\partial^3 U(t,x)}{\partial x^2 \partial t},$$

где $U(x,t)$ — продольные отклонения сечения стержня, расположенного в точке с координатой x в момент времени t; ν – скорость распространения упругой волны в стержне; K — коэффициент кинематической вязкости.

Волновое уравнение выведено из условия, что напряжения связаны с упругими деформациями зависимостью

$$\sigma = E\varepsilon + k\frac{\partial \varepsilon}{\partial t},$$

где E — модуль упругости стержня; k — коэффициент динамической вязкости; ε — коэффициент относительной деформации.

Скорость распространения упругой волны ν и коэффициент K определяют по формулам

$$\nu = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{EF}{m_0}};$$

$$K = \frac{k}{\rho} = \frac{kF}{m_0},$$

где ρ — плотность материала; F — площадь поперечного сечения; m_0 — погонная масса стержня.

Для решения волнового уравнения выбран конечноразностный неявно-явный метод [3], который основан на разбиении исследуемого стержня на узлы функциональными значениями $U(t,x)$ (рис. 2, *а*).

Как и в дискретных моделях [2], здесь исследуются относительные колебания, поэтому для узлов принята неподвижная система координат U_0^t, U_1^t, ..., U_i^t, U_{i+1}^t, ..., U_{n-1}^t, за начала отсчета взято состояние статического равновесия системы, движущейся без колебаний с начальными скоростями, равными среднему значению. Метод определяет два основных параметра: dx — дискретность по координате, т. е. расстояние между двумя соседними узлами U_i^t и U_{i+1}^t; dt — дискретность по времени.

Взаимодействие с модулем "Привод" или иным происходит через промежуточные узлы (для привода — $U_{\text{пр1}}^t$, $U_{\text{пр2}}^t$), расположение которых в основной системе координат тягового элемента зависит от положения в ней взаимодействующего модуля (между узлами i и $i+1$, расстояния dx_1 и dx_2). Физически работа системы сопряжена с перемещением тягового органа. При указанном направлении скорости V на рис. 2, *а* смещение модуля привода вдоль системы координат происходит на величину шага зацепления цепи $l_{\text{ц}}$. Поэтому с каждым зацеплением будут изменяться расстояния dx_1 и dx_2 и номера узлов, ближайших к промежуточным $U_{\text{пр1}}^t$, $U_{\text{пр2}}^t$, определяющим взаимодействие модулей.

Привод — ведущий элемент машины, его параметры определяют состояние всей системы. При создании модели привода приняты во внимание следующие положения:

1. Основное действие привода на систему тягового элемента — это возмущение, вызванное кинематикой зацепления шарнира цепи с зубом звездочки или толкателем.

2. Модель привода предполагает исследование влияния таких его параметров, как жесткости рамы, тихоходного вала, механической характеристики двигателя.

3. При нечетном числе зубьев приводной звездочки в цепи могут появиться значительные дополнительные усилия (см. работы [1, 4]). Поэтому модель привода должна позволять исследовать и этот случай.

Рассмотрим кинематическую схему звездочного привода (рис. 2, *б*). Конструктивные параметры: l_0 — длина свободного участка цепи; h — высота направляющих тягового органа над осью, проходящей через центр звездочки; R — радиус делительной окружности зубьев приводной звездочки; z — количество зубьев звездочки.

Известно, что при равномерном вращении приводной звездочки горизонтальная составляющая скорости шарнира цепи, входящего в зацепление с зубом звездочки (рис. 2, *б*, точка *A*), изменяется по закону

$$V_{\text{г}}(t) = \omega R\cos(\Psi(t)) \ .$$

В момент перезацепления происходит скачок ускорения от $-\omega^2 R\sin(\pi/z)$ до $\omega^2 R\sin(\pi/z)$.

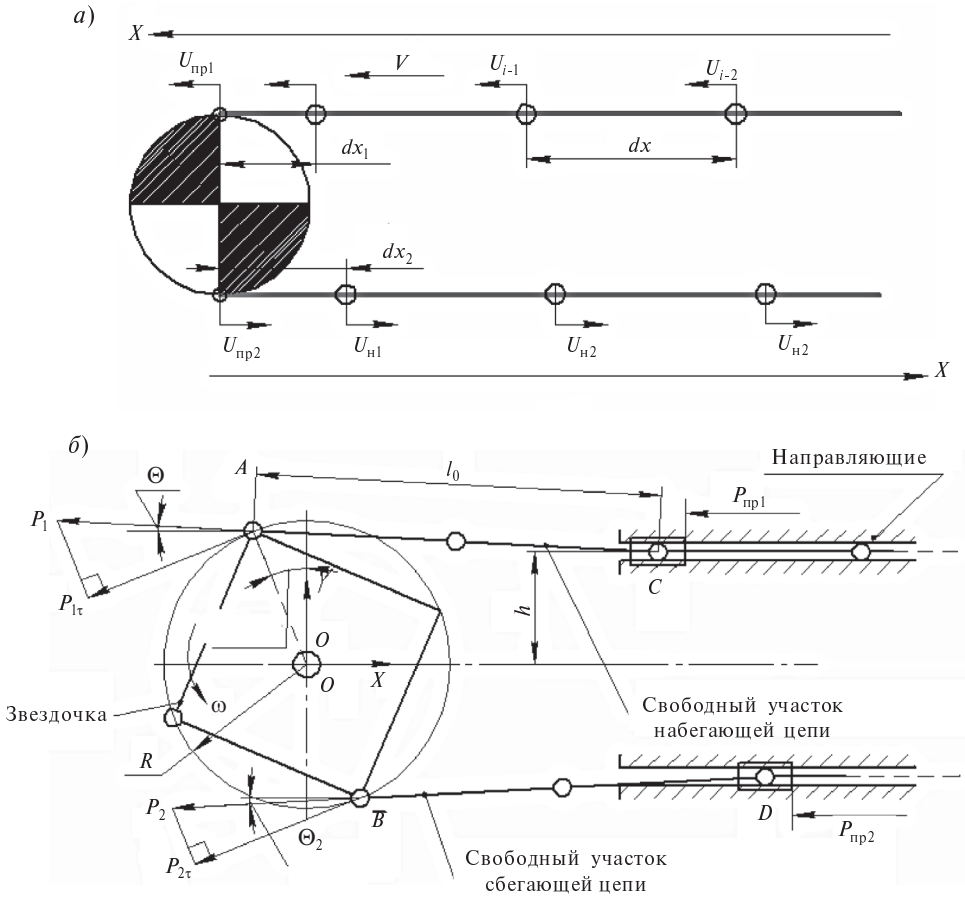


Рис. 2. Схемы взаимодействия модуля “Привод” с модулем “Тяговый орган”:
а — схема расположения взаимодействующих узлов модулей;
б — кинематическая схема привода

Угол поворота звездочки $\Psi(t)$, приведенный к отрезку $[-\pi/z,\ +\pi/z]$, вводится разрывной функцией

$$\Psi(t)=\omega t\left(\frac{\omega t}{2\pi/z}-\text{floor}\left(\frac{\omega t}{2\pi/z}\right)\right)-\frac{\pi}{z},$$

где $\text{floor}(u)$ — функция округления аргумента u до меньшего целого числа. Член уравнения $\text{floor}\left(\frac{\omega t}{2\pi/z}\right)$ соответствует количеству прошедших перезацеплений звездочки с шарнирами цепи.

В относительной системе координат горизонтальная составляющая скорости шарнира уменьшается на величину средней скорости $V_{ср}=\omega R\frac{\sin(\pi/z)}{\pi/z}$:

$$V_{го}(t)=\omega R\left(\cos(\Psi(t))-\frac{\sin(\pi/z)}{\pi/z}\right).$$

При этом закон изменения ускорения остается прежним, а продольные перемещения шарнира цепи принимают периодический характер:

$$X_A(t)=R\sin(\Psi(t))-\omega R\frac{\sin(\pi/z)}{\pi/z}t+R\sin(\pi/z).$$

Выходными параметрами модели привода являются относительные перемещения точек C и D (рис. 2, *б*):

$$X_C(t)=X_D(t)=$$

$$=R\sin(\Psi(t))+\sqrt{l_0{}^2-\left(R\cos(\Psi(t))-h\right)^2}-$$

$$-\frac{R\omega\sin(\pi/z)}{\pi/z}t+R\sin(\pi/z)-$$

$$-\sqrt{l_0^2-\left(R\cos(\pi/z)-h\right)^2}.$$

Динамическая модель звездочного привода (рис. 3, *а*) характеризуют следующие параметры: $M_{пр}$ — масса привода; $M_ц$ — масса цепи, лежащей на приводной звездочке; $J_{пр}$ — момент инерции привода, приведенный к выходному валу; $J_{зв}$ — момент инерции приводной звездочки; $C_{пр}$ и $b_{пр}$ — параметры жесткости и демпфирования рамы привода; C_φ и b_φ — параметры вращательной жесткости и демпфирования конструкции привода; β — параметр, выражающий жесткость механической характеристики двигателя.

Модель описывается следующим набором обобщенных координат: $X_{пр}$ — смещением рамы привода; φ — углом колебаний $J_{пр}$; φ_1 — углом поворота приводной звездочки.

Входные параметры модуля привода — динамические усилия, действующие со стороны набегающей и сбегающей частей тягового элемента $P_{пр1}$, $P_{пр2}$. Они определяются согласно выражениям (рис. 2, *б*)

$$P_{пр1}=\frac{U_{i-1}-U_{пр1}}{dx+dx_1}EF;\qquad P_{пр2}=\frac{U_{пр2}-U_{i+2}}{dx+dx_2}EF.$$

Выходные параметры — координата положения привода вдоль трассы конвейера X, относительные перемещения выходных звеньев $U^t_{пр1}$, $U^t_{пр2}$.

Математическая модель звездочного привода представлена следующей системой уравнений:

$$\begin{cases}\left(J_{зв}+M_ц R^2\right)\varphi_1= \\ \qquad =\left(F_{1\tau}-F_{2\tau}\right)R-C_\varphi\left(\varphi_1-\varphi\right)-b_\varphi\left(\varphi_1-\varphi\right); \\ M_{пр}\ddot{x}_{пр}=-C_{пр}x_{пр}-b_{пр}\dot{x}_{пр}+F_{пр1}+F_{пр2}; \\ J_{пр}\varphi=-\beta\varphi\eta_P i^2+C_\varphi\left(\varphi_1-\varphi\right)+b_\varphi\left(\varphi_1-\varphi\right).\end{cases}$$

С учетом влияния динамических параметров перемещения выходных звеньев (точки C, D) определяются следующими выражениями:

$$U^t_{пр1}=X_C(t)=R\sin(\Psi(t)+\varphi_1)+$$
$$+\sqrt{l_0^2-\left(R\cos(\Psi(t)+\varphi_1)-h\right)^2}-$$

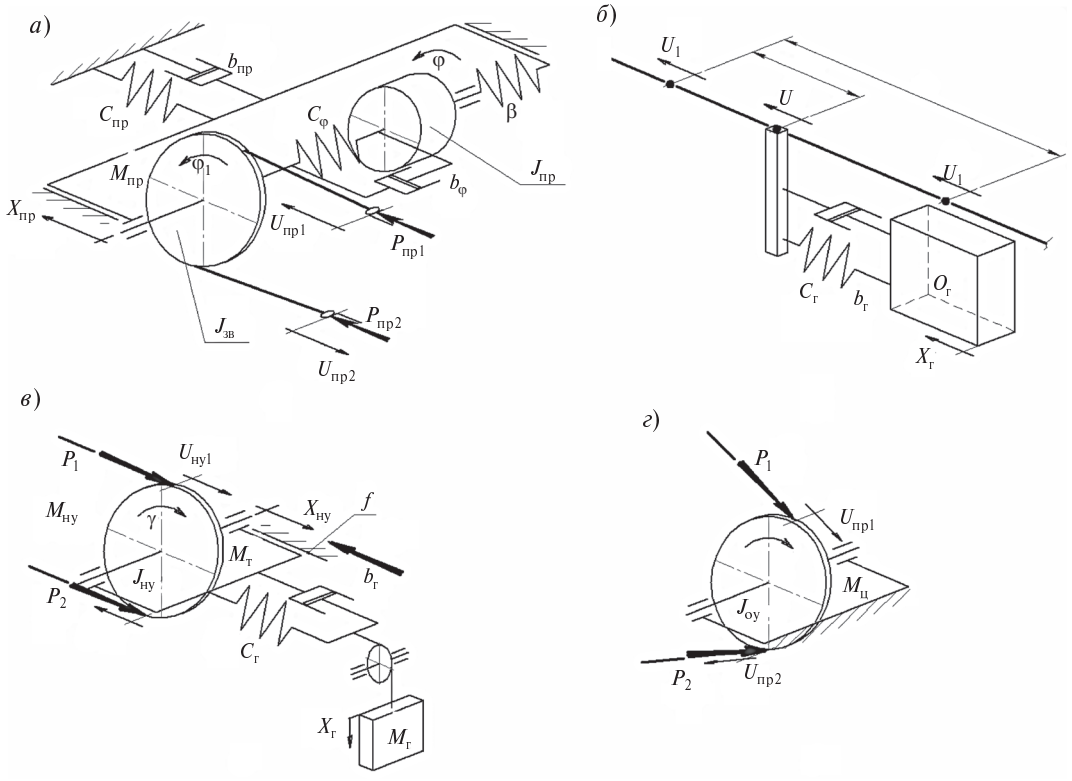


Рис. 3. Элементы динамических моделей модулей: *а* — звездочного привода; *б* — грузовой единицы; *в* — натяжного устройства; *г* —отклоняющего устройства

$$-\frac{R\omega z}{\pi}\sin(\pi/z)t + R\sin(\pi/z) -$$

$$-\sqrt{l_0^2 - \left(R\cos(\pi/z) - h\right)^2} + x_{\text{пр}};$$

$$U^t_{\text{пр2}} = X_D(t) = R\sin(\Psi^*(t) + \varphi_1) +$$

$$+\sqrt{l_0^2 - \left(R\cos(\Psi^*(t) + \varphi_1) - h\right)^2} -$$

$$-\frac{R\omega z}{\pi}\sin(\pi/z)t + R\sin(\pi/z) -$$

$$-\sqrt{l_0^2 - \left(R\cos(\pi/z) - h\right)^2} - x_{\text{пр}}.$$

В случае $l_0 = 0$ перемещения выходных узлов будут соответствовать перемещениям точек A и B и определяться выражениями вида

$$U^t_{\text{пр1}} = X_A(t) = R\sin(\Psi(t)\varphi(t) + \varphi_1) -$$

$$-\frac{R\omega z}{\pi}\sin(\pi/z)t + R\sin(\pi/z) + x_{\text{пр}};$$

$$U^t_{\text{пр2}} = X_B(t) = R\sin(\Psi^*(t) + \varphi_1) -$$

$$-\frac{R\omega z}{\pi}\sin(\pi/z)t + R\sin(\pi/z) - x_{\text{пр}}.$$

Параметры $\Psi(t)$ и $\Psi^*(t)$ соответствуют действительному углу поворота приводной звездочки, приведенному к отрезку $[-\pi/z;\ +\pi/z]$, соответственно для набегающей и сбегающей ветвей тягового элемента.

Действительный угол поворота звездочки при условии непостоянства угловой скорости ее вращения ($\Delta\omega$) должен определяться интегрированием:

$$\Psi(t) = \int_0^t \left(\omega + \int_0^t \Delta\dot{\omega}(t)\,dt\right) dt.$$

Приведение этого угла к отрезку $[-\pi/z;\ +\pi/z]$ осуществляется вычислением выражения

$$\varphi(t) = \Psi(t) - \pi/z - 2(\pi/z)\,\text{floor}\left(\Psi(t)z(2\pi)\right).$$

При этом угол $\varphi^*(t)$ определяется из следующих условий:

при четном числе зубьев приводной звездочки z $\varphi^*(t) = \varphi(t)$;

при нечетном числе зубьев приводной звездочки z

$$\varphi^*(t) = \begin{cases} \varphi(t) + \pi/z & \text{при} \quad \varphi(t) \le \pi/z; \\ \varphi(t) - \pi/z & \text{при} \quad \varphi(t) > \pi/z. \end{cases}$$

Окружные усилия $F_{1\tau}$ и $F_{2\tau}$, которые есть составляющие реакции взаимодействия цепи и приводной звездочки, определяются согласно выражениям

$$P_{1\tau} = P_{\text{пр1}}\cos(\Theta_1 + \Psi(t) + \varphi_1)/\cos(\Theta_1);$$

$$P_{2\tau} = P_{\text{пр2}}\cos(\Theta_2 - \Psi^*(t) - \varphi_1)/\cos(\Theta_2),$$

где $\sin(\Theta_1) = \dfrac{R\cos(\Psi(t) + \varphi_1)}{l_0}$;

$$\cos(\Theta_1) = +\sqrt{1 - \sin^2(\Theta_1)};$$

$$\sin(\Theta_2) = \frac{R\cos(\Psi^*(t) + \varphi_1)}{l_0};$$

$$\cos(\Theta_2) = +\sqrt{1 - \sin^2(\Theta_2)}.$$

В случае модели с параметром $l_0 = 0$ свободных участков цепи не существует и углы их наклона к горизонтали Θ_1 и Θ_2 не имеют смысла. В этом случае окружные усилия определяются так:

$$P_{1\tau} = P_{\text{пр1}}\cos(\Psi(t) + \varphi_1);$$

$$P_{2\tau} = P_{\text{пр2}}\cos(\Psi^*(t) + \varphi_1).$$

Изменение действующего момента двигателя, приведенного к его выходному валу, происходит вследствие изменения угловой скорости его вращения $\dot{\varphi}$. Это изменение определяется членом $\beta\dot{\varphi}\eta_{\text{р}}i^2$, где i — передаточное число редуктора; $\eta_{\text{р}}$ — КПД редуктора. Параметр β, выражающий жесткость механической характеристики, определяется по известной формуле

$$\beta = -M_{\text{н}}/(\omega_{\text{н}}s),$$

где $M_{\text{н}}$ — номинальный момент; $\omega_{\text{н}}$ — номинальная угловая скорость вращения выходного вала двигателя; s — скольжение при номинальном моменте.

Момент инерции привода $J_{\text{пр}}$ складывается из моментов инерции ротора двигателя редуктора, $J_{\text{рот}}$ и $J_{\text{ред}}$:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{рот}}i^2 + J_{\text{ред}},$$

где i — передаточное отношение редуктора.

Модули “Натяжное устройство” и “Отклоняющее устройство” содержат похожие динамические модели и математическое описание. При этом существующие виды применяемых натяжных устройств приводятся к этому описанию путем фиксации обобщенных координат или задания соответствующих параметров жесткости и вязкого сопротивления.

При создании динамических моделей этих устройств, представленных на рис. 3, *в*, *г*, приняты следующие положения и допущения:

натяжное и отклоняющее устройства — ведомые элементы, поэтому изменение обобщенных координат моделей происходит только под действием внешних воздействий;

модель отклоняющего устройства отражает только свойство вращательной инерции, поэтому направление набегания и сбегания тягового органа не влияет на распространение продольных упругих волн;

сопротивлениями в шарнирах вращающихся элементов пренебрегаем;

для упрощения модели натяжного устройства принято условие, что набегающий и сбегающий участки тягового органа параллельны направлению продольных колебаний устройства.

Динамические модели натяжного и отклоняющего устройств характеризуют следующие параметры:

$J_{\text{ну}}, J_{\text{оу}}$ — приведенные моменты инерции вращающихся элементов устройств; $M_{\text{ц}}$ — масса тягового органа, вращающаяся совместно с элементами устройств; $M_{\text{ну}}$ — масса элементов натяжного устройства, совершающих продольные колебания; $M_{\text{г}}$ — масса натяжного груза; $C_{\text{г}}$ и $b_{\text{г}}$ — параметры жесткости и демпфирования рамы устройства, натяжной пружины, элемента подвески груза либо цилиндра в зависимости от того, какой тип натяжного устройства взят при проектировании машины; f — коэффициент сопротивления передвижению натяжной рамы.

Математическая модель отклоняющего устройства представлена уравнением

$$\left(J_{\text{оу}} + M_{\text{ц}}R^2\right)\ddot{\chi} = \left(F_1 - F_2\right)R,$$

а перемещения выходных узлов подчиняются закону

$$U^t_{\text{оу1}} = U^t_{\text{оу2}} = R\chi.$$

Математическая модель натяжного устройства представлена более сложной системой:

$$\begin{cases} \left(J_{\text{ну}} + M_{\text{ц}}R^2\right)\gamma = \left(F_1 - F_2\right)R; \\ M_{\text{ну}}\ddot{x}_{\text{ну}} = F_1 + F_2 + C_{\text{г}}\left(x_{\text{г}} - x_{\text{ну}}\right) + \\ \qquad + b_{\text{пр}}\left(\dot{x}_{\text{г}} - \dot{x}_{\text{ну}}\right) + M_{\text{ну}}g\,f\,\text{sign}(\dot{x}_{\text{ну}}); \\ M_{\text{г}}\ddot{x}_{\text{г}} = C_{\text{г}}\left(x_{\text{ну}} - x_{\text{г}}\right) + b_{\text{пр}}\left(\dot{x}_{\text{ну}} - \dot{x}_{\text{г}}\right). \end{cases}$$

Перемещения ее выходных узлов определяются выражениями

$$U^t_{\text{ну1}} = R\gamma + x_{\text{ну}};$$

$$U^t_{\text{ну2}} = R\gamma - x_{\text{ну}}.$$

Усилия P_1 и P_2, действующие на объект со стороны тягового органа:

для отклоняющего устройства

$$P_1 = \frac{U_{i-1} - U_{\text{оу1}}}{dx}EF; \quad P_2 = \frac{U_{\text{оу2}} - U_{i+2}}{dx}EF;$$

для натяжного устройства

$$P_1 = \frac{U_{i-1} - U_{\text{ну1}}}{dx}EF; \quad P_2 = \frac{U_{\text{ну2}} - U_{i+2}}{dx}EF,$$

где U_{i-1} и U_{i+2} — перемещения смежных с устройством узлов тягового органа, как и в случае с приводом (рис. 2, *а*).

Модуль "Груз" отвечает за расчет параметров всех грузовых единиц, взаимодействующих с тяговым органом. Постоянно обращаясь к модулю тягового элемента, он передает ему рассчитанные параметры и получает входные воздействия.

При построении динамической модели грузовой единицы (рис. 3, *б*), входящей в состав модуля, учитывались следующие положения:

влияние груза на динамический процесс в конвейере зависит от способа крепления груза к тяговому органу;

трение в шарнирах и других элементах учитывается коэффициентом вязкого сопротивления $b_{\text{г}}$.

Математически модель сосредоточенного груза на упругой подвеске описывается следующим уравнением:

$$a_{\text{г}}\ddot{x}_{\text{г}} = \left(U - x_{\text{г}}\right)c_{\text{г}} + \left(\dot{U} - \dot{x}_{\text{г}}\right)b_{\text{г}}.$$

В этом случае выходной параметр — это усилие, действующее со стороны груза на тяговый орган:

$$P = \left(x_{\text{гх}} - U\right)c_{\text{гх}} + \left(\dot{x}_{\text{гх}} - \dot{U}\right)b_{\text{гх}},$$

Здесь $a_{\text{г}}$, $c_{\text{г}}$ — инерционный и квазиупругий коэффициенты подвески [2]. Входной параметр U определяется линейной интерполяцией по перемещениям соседних с грузом узлов сетки тягового органа:

$$U = U_i + \left(U_{i-1} - U_i\right) dx_г \,/\, dx.$$

В случае жесткой подвески вся масса груза $M_г$ считается распределенной по загруженному участку трассы $q_г = M_г / l_п$, где $l_п$ — шаг подвесок. Эта погонная нагрузка учитывается при решении волнового уравнения в составе входящих в него коэффициентов

$$\nu = \sqrt{\frac{EF}{m_0 + q_г}}; \quad K = \frac{k}{\rho} = \frac{kF}{m_0 + q_г}.$$

Несмотря на все сложности в реализации, представленная модель универсальна. Она позволяет внедрять в себя дополнительные объекты — модули, а также использовать объекты одинаковых устройств, основанных на различных физических и математических моделях, дополняющих друг друга. А реализация такой системы, построенной на модульном принципе, в виде программного продукта упростит и ускорит процесс определения искомых параметров в инженерном расчете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Козьмин, П.С.** Машины непрерывного транспорта [Текст] / П.С. Козьмин. — М.: Машиностроение, 1938. — 259 с.

2. **Смирнов, В.Н.** Подвесные конвейеры. Теория расчета, прогнозирование тенденций развития [Текст] / В.Н. Смирнов.— СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006.

3. **Формалев, В.Ф.,** Численные методы [Текст] / В.Ф. Формалев, Д.Л. Ревизников. — М.:Физматлит, 2004.

4. **Штокман, И.Г.** Динамические нагрузки в цепных тяговых органах рудничных конвейеров [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / И.Г. Штокман; ДГИ.— 1956.— 289 с.

УДК 629.11.012.817

Л.Ф. Яскевич

РАСЧЕТ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПОДВЕСКИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С НАИЛУЧШЕЙ ПЛАВНОСТЬЮ ХОДА

“Подвеской танка называются детали, узлы и механизмы, связывающие корпус машины с осями опорных катков. От совершенства подвески танка в большой мере зависят его средняя скорость движения, меткость огня с ходу, утомляемость экипажа, надежность и долговечность работы узлов, механизмов, приборов и аппаратов машины” [2]. Для обеспечения хорошей плавности хода подвески должны удовлетворять следующим требованиям. “При движении танка с любыми возможными скоростями, при любом взаимном удалении и любой длине неровностей суммарные вертикальные ускорения в носовой части танка (на месте механика-водителя) не превосходят половину ускорения силы тяжести на малых неровностях высотою 5 см и трех ускорений силы тяжести на больших неровностях высотою 15 см” [2].

Расчет подвесок базируется на исследовании дифференциальных уравнений, отражающих связь колебаний корпуса гусеничной машины с ее конструктивными параметрами и условиями движения. Следует отметить ценность работ С.С. Бурова [2], А.А. Дмитриева и др. [3], Н.А. Забавникова [4], Л.В. Сергеева [5] и других авторов как попытку теоретического и экспериментального исследования плавности хода, что позволяет наметить программу дальнейших исследований. Вместе с тем нельзя согласиться с некоторыми положениями этих авторов ввиду их недостаточной обоснованности и иногда противоречивости.

В частности, в работе А.А. Дмитриева и др. [3] разработаны вопросы использования метода гармонического баланса Н.М. Крылова и Н.Н. Боголюбова [1] применительно к системе подрессоривания транспортных гусеничных машин. При этом сила P_f (j = 1, 3, ..., m) действующая на корпус от подвески j-го катка, рассматрива-

ется как функция $P_f(f_j,\ \dot{f}_j)$ его хода f_j и скорости $\dot{f}_j$ при $P_j \geq 0$ или при безотрывном движении катка по грунту. Справедливость этого равенства можно распространить и на случай отрыва катка от грунта, если под f_j понимать не действительный ход катка, а изменение расстояния между грунтом и корпусом машины по вертикали, проходящей через ось j-го катка. Обозначим изменение этого расстояния через λ_j. Очевидно,

$$\lambda_j = \lambda_{0j} - \left(x_j - x\right)\varphi - z + y_j.$$

Здесь λ_{0j} — статический относительный ход j-го опорного катка; x, x_j — соответственно координаты центра тяжести корпуса и центра j-го опорного катка в продольном направлении; z, φ — соответственно вертикальные и угловые перемещения корпуса; y_j — перемещение j-го катка в вертикальном направлении, определяемое профилем пути. Следовательно,

$$P_j = P_j\left(\lambda_j, \dot{\lambda}_j\right) = P_j\left(\varphi,\ z,\ \dot{\varphi},\ \dot{z},\ y_j,\ \dot{y}_j\right).$$

Если считать характер колебаний гармоническим, значения λ_j как линейные функции от φ, z и y_j с точностью до амплитуды первой гармоники можно представить в виде

$$\lambda_j = A_j + H_j \sin pt + Q_j \cos pt,$$

где $A_j = \lambda_{0j} - z_0 - \left(x_j - x\right)\varphi_0$.

Постоянные z_0, φ_0 — координаты корпуса, относительно которых происходят периодические колебания; множители H_j, Q_j — некоторые коэффициенты, зависящие от высоты неровности h и параметров колебаний.

После подстановки $\alpha = pt$ разложение в ряд Фурье периодической функции $P_j = P_j\left[\lambda_j(\alpha), \dot{\lambda}_j(\alpha)\right]$ с точностью до первой гармоники имеет вид

$$P_j = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} P_j\left[\lambda_j(\alpha), \dot{\lambda}_j(\alpha)\right]d\alpha +$$

$$+\frac{1}{\pi}\sin\alpha \int_0^{2\pi} P_j\left[\lambda_j(\alpha), \dot{\lambda}_j(\alpha)\right]\sin\alpha\, d\alpha +$$

$$+\frac{1}{\pi}\cos\alpha \int_0^{2\pi} P_j\left[\lambda_j(\alpha), \dot{\lambda}_j(\alpha)\right]\cos\alpha\, d\alpha.$$

Эквивалентная линейная функция от $\lambda_j - \lambda_{0j}$ и $\dot{\lambda}_j$ аналогична по форме P_j в линейных системах подрессоривания и при определенных значениях коэффициентов P_{0j}, c_j, r_j полностью соответствует полученным разложениям.

После подстановки в исходную систему дифференциальных уравнений вместо P_j приближенных значений получим систему линейных дифференциальных уравнений, которая, по мнению автора, с определенной точностью характеризует колебания корпуса при движении машины по гармоническому профилю. Это позволяет применить для исследования нелинейных систем подрессоривания хорошо разработанные, сравнительно простые и широко известные методы исследования линейных систем подрессоривания.

Однако в силу единственности решения рассматриваемой системы дифференциальных уравнений гармонические колебания корпуса имеют место в том и только в том случае, когда длина волны синусоидального профиля равна расстоянию между осями соседних опорных катков. При этом $z_0 = 0$, $\varphi_0 = 0$, так как отсутствует угол между опорной плоскостью машины и горизонталью. Очевидно, что круговая частота и сдвиг фазы внешнего возмущения и колебаний корпуса соответственно равны. Полученная система дифференциальных уравнений не может описать движения корпуса в этом случае, так как колебания корпуса относительно гусениц вообще отсутствуют, а движение корпуса вместе с гусеницами прямолинейно и равномерно, т. е. не рассматривается.

В общем случае различным значениям угла подъема или спуска соответствуют разные значения z_0 и φ_0. Поэтому нельзя согласиться с автором, считающим z_0 и φ_0 постоянными без всяких обоснований и конкретных вычислений их значений. Не убедительны также ссылки на экспериментальные данные, позволяющие описать колебания корпуса гармоническими функциями. В итоге неверное решение подлежит определению из неверной системы дифференциальных уравнений, тем более неверной после линеаризации упруго-демпфирующих сил, т. к. "силы, действующие от опорных катков на корпус через детали и агрегаты системы подрессоривания, не могут быть выражены линейными функциями обобщенных координат" [3].

До сих пор проблема плавности хода гусеничных машин исследована недостаточно. Слабый математический аппарат не позволяет по-

лучить зависимость между основными параметрами машины и динамическими, а следовательно, и кинематическими элементами неравномерного движения по местности (когда произвольно чередуются прямолинейные участки и неровности различной высоты и длины) и реально действующими усилиями от упругого элемента и амортизатора с нелинейными характеристиками. Поэтому оценку системы подрессоривания проводят опытным путем.

Все эти факторы учтены при выборе жесткости упругих элементов, коэффициентов сопротивления демпферов, расстояний по горизонтали от центра тяжести корпуса до осей опорных катков, веса подрессорной части, длины опорной части гусеницы, радиуса ведущего колеса, высоты центра тяжести корпуса, который нацелен на то, чтобы ускорение рассматриваемой точки корпуса было минимально. Внимание к этому вопросу привлекла докторская диссертация Г.О. Котиева на тему "Прогнозирование эксплуатационных качеств систем подрессоривания военных гусеничных машин". Автор диссертации утверждает, что ее научную новизну составляет "оригинальная математическая модель прямолинейного движения ВГМ по неровностям, особенностью которой является то, что впервые для решения задач теории подрессоривания скорость машины не принудительно задается, а формируется в зависимости от частоты вращения ведущих колес и условий движения с учетом отрыва катков от опорной поверхности". К основным результатам относится "возможность моделировать движение с учетом нелинейных характеристик подвески". С этими утверждениями никак нельзя согласиться по двум причинам.

1. Научная новизна, заявленная во введении и заключении, вообще отсутствует в содержании. Убедиться в этом позволяют расчетная схема ВГМ и уравнения ее движения [4], в частности уравнение вертикального перемещения центра тяжести корпуса

$$m_0\ddot{z}_c = -m_0 g + \sum_i P_{\text{ш}i}\cos\alpha_i - \sum_i P_{fi}\sin\alpha_i -$$

$$-\sum_i\Big[K_{1i}\Big\{P_i\Big(1-\cos\big(\gamma_{i\text{п}}-\alpha_{i\text{п}}\big)\Big)\sin\alpha_{i\text{п}} -$$

$$-P_{i+1}\Big(1-\cos\gamma_{i\text{л}}+\alpha_{i\text{л}}\Big)\Big)\sin\alpha_{i\text{л}}\Big\}+$$

$$+K_{2i}\Big\{-P_i\sin\gamma_{i\text{л}}-P_{i+1}\sin\gamma_{i\text{л}}\Big\}\Big],$$

выбранное для определенности, ибо остальные уравнения имеют те же замечания.

Расчетная схема ВГМ неверна в техническом смысле. Сила трения $\overline{P}_{fi}$ не может проходить через центр катка, так как в этой точке каток ни с чем не соприкасается и отсутствует сопротивление его перемещению. Катки должны вращаться в другую сторону, если на их оси действуют усилия в направлении $\overline{P}_{fi}$, указанном на рисунке. При этом машина будет двигаться назад. Под действием силы тяги $\overline{R}_i$, которая, по мнению Г.О. Котиева, приложена в точках касания катков с грунтом, вращения катков вообще не будет. Будет не качение, а скольжение катков опять же назад, так как сила тяги $\overline{R}_i$ направлена в сторону кормы. В этом случае рис. 1 представляет собой расчетную схему ВГМ для дезертира.

Уравнения неверны в механическом смысле. По теореме о движении центра тяжести и теореме моментов в правые части не могут входить силы натяжения гусениц $\overline{P}_i$ и силы сопротивления движению $\overline{P}_{fi}$, приложенные к тележке. Согласно перечисленным теоремам движение твердого тела (корпуса) происходит под действием приложенных к нему внешних сил (сила веса и упруго-демпфирующие силы). Необъяснимо, но факт: в уравнениях вообще отсутствуют упруго-демпфирующие силы $\overline{F}_i$, составляющие "новизну" диссертации Г.О. Котиева. Поэтому каждое (только одно) уравнение моделирует сразу два разных движения корпуса: колебания относительно тележки без упруго-демпфирующих сил и перемещение вместе с тележкой.

Уравнения неверны в математическом смысле. Они вообще не имеют решения по теореме Пикара о существовании и единственности решения, согласно которой правые части уравнений должны быть известными функциями переменных x_c, z_c, ψ, φ, β и удовлетворять еще двум математическим условиям.

Однако силы $\overline{P}_{fi}$, $\overline{P}_{\text{ш}i}$ и отрыв катков от грунта при определении коэффициентов K_1 и K_2 предлагается находить по рисункам. Остальные силы $\overline{P}_i$, вызванные удлинением гусениц, $\overline{P}_{\text{св л}}$, $\overline{P}_{\text{рабл}}$, $\overline{P}_{\text{свп}}$, $\overline{P}_{\text{рабл}}$, слагаемое M_i и углы α, β, γ без названия и упоминания в тексте показаны только на

рис. 1. Отсутствие аналитических выражений всех перечисленных сил, коэффициентов и углов через неизвестные x_c, z_c, ψ, φ, β превращают их в совокупность обозначений, не пригодных для решения системы уравнений, которое предшествует определению скорости машины.

Поэтому ни в диссертации, ни в автореферате, ни в публикациях Г.О. Котиева нет скорости машины, которая "зависит от частоты вращения ведущих колес и условий движения с учетом отрыва катков от опорной поверхности и нелинейных характеристик подвески". Экспериментальные данные и результаты расчетов параметров колебаний машины ГМ-569, представленные на рисунках, не могут быть примером использования модели Г.О. Котиева, так как систему уравнений нельзя решать на компьютере по рисункам, а ссылка на отчет ПО "Метровагонмаш" для служебного пользования не позволяет определить модель, по которой получены эти параметры и их конкретные числовые значения.

2. Моделирование неравномерного движения ВГМ с отрывом катков от грунта по неровностям со скоростью, зависящей от частоты вращения ведущего колеса, и нелинейные характеристики подвески впервые рассмотрены в моих работах [6–19]. Сложное движение корпуса разложено на два простых: движение вместе с гусеницами и перемещение относительно гусениц. Для их исследования выбраны три правые системы координат в продольной вертикальной плоскости симметрии машины. Система Cxz неизменно связана с корпусом: ее осями являются главные центральные продольная Cx и вертикальная Cz оси инерции корпуса. Ось Cx направлена в сторону носовой части. Система $O'X'Z'$ жестко связана с гусеницами: ось $O'X'$ является проекцией оси Cx на опорную плоскость машины. Ось $O'Z'$ проходит через центр тяжести корпуса. В начале движения система $O'X'Z'$ занимает положение OXZ, при котором машина находится на ровной местности. Дальнейшее перемещение системы $O'X'Z'$ относительно системы OXZ определяют координаты X_O', Z_O' начала O' и угол α, который отсчитываем от оси OZ к оси $O'Z'$ против часовой стрелки при наблюдении с конца оси $OY(O'Y')$ правой системы координат $OXYZ(O'X'Y'Z')$. Выражения для $X_O'Z_O'$ и α через угол поворота ведущего колеса j, а также производные этих функций по φ известны [7–10,13]. Значения φ, $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ получены из уравнения (2) [12], которому соответствуют два уравнения переносного движения корпуса:

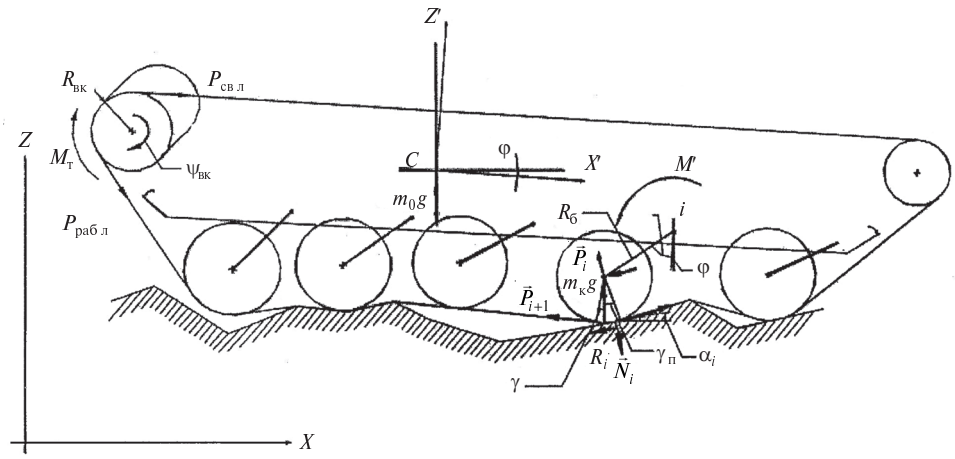
$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \Phi_1\left(L, r, h_c, \varphi_1\ \varphi_2\right) = \varphi_2;$$

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = \Phi_2\left(L, r, h_c, \varphi_1\ \varphi_2\right) =$$

$$= -\left[\frac{X_c'X'' + Z_c'Z_c''}{\left(X_c'\right)^2 + \left(Z_c'\right)^2} + \frac{f}{\delta}\beta'\right]\varphi_2^2 -$$

$$- \frac{g}{\delta\sqrt{\left(X_c'\right)^2 + \left(Z_c'\right)^2}}\left(\frac{\mathrm{tg}\beta + f}{1 + \mathrm{tg}^2\beta} - f_g\right).$$

Здесь φ_1 и φ_2 — угол поворота ведущего колеса φ и его угловая скорость. Производные по φ от ко-



Расчетная схема ВГМ

ординат центра корпуса X_c, Z_c в плоскости OXZ, от угла β наклона касательной траектории точки O' к оси OX и tgβ есть сложные функции от φ, заданные через производные по φ от X_O', Z_O', α [8–10]. Кроме того, L — длина опорной части гусеницы, r — радиус ведущего колеса, h_c — расстояние между центром тяжести корпуса и серединой опорной части гусеницы, f и δ — коэффициенты сопротивления движению и условного приращения массы гусеничной машины, f_g — динамический фактор.

Движение корпуса относительно гусениц определяют перемещение центра тяжести z_c по оси $O'Z'$ и угол поворота θ оси $O'Z'$ к оси Cz, который отсчитываем против часовой стрелки при наблюдении с конца оси $O'Y'(Cy)$ правой системы координат $O'X'Y'Z'$ ($Cxyz$). Они удовлетворяют модели относительного движения [16, 18], которую можно записать в виде системы четырех уравнений:

$$\frac{dz_1}{dt} = F_1\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ...\right.$$

$$\left. ..., r_m, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2\right) = z_2;$$

$$\frac{dz_2}{dt} = F_2\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ...\right.$$

$$\left. ..., r_m, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2\right) =$$

$$= \frac{g}{G_\text{п}\cos\alpha}\left\{2\left(\frac{G_\text{п}}{g}\dot\alpha\sin\alpha - K\cos\alpha\sum_{j=1}^{m} r_j\right)z_2 + \right.$$

$$+\left[\frac{G_\text{п}}{g}\left(\dot\alpha^2\cos\alpha + \ddot\alpha\sin\alpha\right) - 2\cos\alpha\sum_{j=1}^{m} c_j\right]z_1 +$$

$$+ 2K\cos\alpha\sum_{j=1}^{m} r_j X_j'\theta_2 + 2K\cos\alpha\sum_{j=1}^{m} r_j X_j'\theta_1 +$$

$$+ 2N\cos\alpha\sum_{j=1}^{m} r_j\left(-z_2 + X_j'\theta_2\right)^3 - G_n -$$

$$\left. - 2\cos\alpha H_c\sum_{j=1}^{m} c_j - \frac{G_\text{п}}{g}Z_O\right\};$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = F_3\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ...\right.$$

$$\left. ..., r_m, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2\right) = \theta_2;$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = F_4\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ...\right.$$

$$\left. ..., r_m, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2\right) =$$

$$= \frac{1}{l_y}\left\{-2K\sum_{j=1}^{m} r_j\left(X_j'\right)\theta_2 - 2\sum_{j=1}^{m} c_j\left(X_j'\right)^2\theta_1 - \right.$$

$$+ 2\sum_{j=1}^{m} r_j X_j' z_2 + \left(G_\text{п}\sin\alpha + 2\sum_{j=1}^{m} c_j X_j'\right)z_1 -$$

$$\left. - 2N\sum_{j=1}^{m} r_j X_j'\left(-z_2 + X_j'\theta_2\right)^3 - 2N_c\sum_{j=1}^{m} c_j X_j' - I_y\ddot\alpha\right\}.$$

Здесь z_1 и θ_1 — вертикальное и угловое перемещения корпуса в плоскости $O'X'Z'$; z_2 и θ_2 — соответствующие скорости; m опорных катков каждого борта перенумерованы от носовой части корпуса к кормовой. Подвески, расположенные над j-ми ($j = 1, 2, ..., m$) опорными катками каждого борта, имеют одинаковую жесткость упругих элементов c_j, коэффициенты сопротивления демпферов r_j, абсциссы X_j' точек касания j-х катков и опорной плоскости машины в системе $O'X'Z'$. Кроме того, $l_j = \left|X_j'\right|$ при $j = 1, 2, ..., m$, а также $G_\text{п}$ — вес подрессоренной части машины; H_c — расстояние между центром тяжести корпуса и опорной плоскостью машины при недеформированном состоянии рессор; I_y — главный центральный поперечный момент инерции подрессоренной части гусеничной машины. Постоянные K, N определены в работе [11].

Полученная система равносильна системе вида

$$\varphi_1 = \varphi_1\left(L, r, h_c\right);$$

$$\varphi_2 = \varphi_2\left(L, r, h_c\right);$$

$$z_1 = z_1\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m\right);$$

$$z_2 = z_2\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m\right);$$

$$\theta_1 = \theta_1\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m\right);$$

$$\theta_2 = \theta_2\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m\right);$$

где $\varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2$ суть неявные функции, определяемые уравнениями связей. Мы будем использовать их при вычислении ускорения произвольной точки корпуса как сложной функции,

заданной на конечном множестве D различных значений независимых переменных $L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m$ через посредство промежуточных аргументов $\varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2$ [15], а именно:

$$\sqrt{\ddot{X}^2 + \ddot{Z}^2} = w\left(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2\right). \quad (3)$$

Конструктивные параметры гусеничной машины с индивидуальной системой подрессоривания соответствуют наименьшему значению функции w на множестве D, которое достигается ею либо в точках соседних с критической внутри этого множества, либо в граничных точках.

В точке минимума $M_0\,(L^0, r^0, h_c^0, G_\text{п}^0, l_1^0, ..., l_m^0, c_1^0, ..., c_m^0, r_1^0, ..., r_m^0, \varphi_1^0, \varphi_2^0, z_1^0, z_2^0, \theta_1^0, \theta_2^0)$ функции $w(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2, \theta_1, \theta_2)$ от $3m + 10$ переменных, или, что то же самое, в точке минимума $P_0(L^0, r^0, h_c^0, G_\text{п}^0, l_1^0, ..., l_m^0, c_1^0, ..., c_m^0, r_1^0, ..., r_m^0)$ сложной функции от $3m + 4$ переменных $w(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m, \varphi_1(L, r, h_c), \varphi_2(L, r, h_c), z_1(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m), ..., \theta_2(L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m))$, должен обращаться в нуль ее дифференциал и притом тождественно относительно дифференциалов независимых переменных $dL, dr, dh_c, dG_\text{п}, dl_1, ..., dl_m, dc_1, ..., dc_m, dr_1, ..., dr_m$. По инвариантности формы первого дифференциала это условие можно записать так:

$$\frac{\partial w}{\partial L}dL + \frac{\partial w}{\partial L}dr + \frac{\partial w}{\partial h_c}dh_c + \frac{\partial w}{\partial G_\text{п}}dG_\text{п} + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial l_j}dl_j + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial c_j}dc_j + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial r_j}dr_j + \sum_{k=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial \varphi_k}d\varphi_k + \sum_{k=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial z_k}dz_k + \sum_{k=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}d\theta_k = 0.$$

Здесь под $d\varphi_1, ..., d\theta_2$ разумеются дифференциалы функций φ_1, φ_2 в точке $N_0(L^0, r^0, h_c^0)$ и функций $z_1, z_2, \theta_1, \theta_2$ в точке P_0, в то время как частные производные вычисляем в точке M_0.

Отсюда нельзя сделать заключение о равенстве нулю коэффициентов при дифференциалах, так как не все эти дифференциалы произвольны. Для того чтобы свести дело к произвольно выбираемым дифференциалам, т. е. дифференциалам $dL, dr, dh_c, dG_\text{п}, dl_1, ..., dl_m, dc_1, ..., dc_m, dr_1, ..., dr_m$ независимых переменных, нужно исключить дифференциалы $d\varphi_1, ..., d\theta_2$ переменных зависимых. Это легко сделать, так как

$$d\varphi_k = \frac{\partial \varphi_k}{\partial L}dL + \frac{\partial \varphi_k}{\partial r}dr + \frac{\partial \varphi_k}{\partial h_c}dh_c;$$

$$dz_k = \frac{\partial z_k}{\partial L}dL + \frac{\partial z_k}{\partial r}dr + \frac{\partial z_k}{\partial h_c}dh_c + \frac{\partial z_k}{\partial G_\text{п}}dG_\text{п} + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial z_k}{\partial l_j}dl_j + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial z_k}{\partial c_j}dc_j + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial z_k}{\partial r_j}dr_j;$$

$$d\theta_k = \frac{\partial \theta_k}{\partial L}dL + \frac{\partial \theta_k}{\partial r}dr + \frac{\partial \theta_k}{\partial h_c}dh_c + \frac{\partial \theta_k}{\partial G_\text{п}}dG_\text{п} + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial \theta_k}{\partial l_j}dl_j + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial \theta_k}{\partial c_j}dc_j + \sum_{j=1}^{m}\frac{\partial \theta_k}{\partial r_j}dr_j,$$

$$k = 1, 2.$$

При этом $\frac{\partial \varphi_k}{\partial L}, \frac{\partial \varphi_k}{\partial r}, \frac{\partial \varphi_k}{\partial h_c}$ являются производными от решения уравнения связи по параметру $\mu = L, r, h_c$ и, следовательно, удовлетворяют линейной системе уравнений

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \varphi_k}{\partial \mu}\right) = \sum_{i=1}^{2}\frac{\partial \Phi_k}{\partial \varphi_i}\frac{\partial \varphi_i}{\partial \mu} + \frac{\partial \Phi_k}{\partial \mu},$$

$$k = 1, 2.$$

Аналогично производные $\frac{\partial z_k}{\partial \nu}, \frac{\partial \theta_k}{\partial \nu}$ при $\nu = L, r, h_c, G_\text{п}, l_1, ..., l_m, c_1, ..., c_m, r_1, ..., r_m$ являются решением системы уравнений

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial z_k}{\partial \nu}\right) = \sum_{i=1}^{2}\frac{\partial F_k}{\partial z_i}\frac{\partial z_i}{\partial \nu} + \sum_{i=1}^{2}\frac{\partial F_k}{\partial \theta_i}\frac{\partial \theta_i}{\partial \nu} + \frac{\partial F_k}{\partial \nu};$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \theta_k}{\partial \nu}\right) = \sum_{i=1}^{2}\frac{\partial F_{k+2}}{\partial z_i}\frac{\partial z_i}{\partial \nu} + \sum_{i=1}^{2}\frac{\partial F_{k+2}}{\partial \theta_i}\frac{\partial \theta_i}{\partial \nu} + \frac{\partial F_{+2k}}{\partial \nu};$$

$$k = 1, 2.$$

Условие минимума функции $w(L, ..., q_2)$ после подстановки выражений $d\varphi_1, ..., d\theta_2$ через $dL, dr, dh_c, dG_\text{п}, dl_1, ..., dl_m, dc_1, ..., dc_m, dr_1, ..., dr_m$ принимает вид

$$\left(\frac{\partial w}{\partial L}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \varphi_k}\frac{\partial \varphi_k}{\partial L}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial L}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial L}\right)dL+$$

$$+\left(\frac{\partial w}{\partial r}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \varphi_k}\frac{\partial \varphi_k}{\partial r}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial r}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial r}\right)dr+$$

$$+\left(\frac{\partial w}{\partial h_c}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \varphi_k}\frac{\partial \varphi_k}{\partial h_c}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial h_c}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial h_c}\right)dh_c+$$

$$+\left(\frac{\partial w}{\partial G_{\text{п}}}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial G_{\text{п}}}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial G_{\text{п}}}\right)dG_{\text{п}}+$$

$$+\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\partial w}{\partial l_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial l_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial l_j}\right)dl_j+$$

$$+\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\partial w}{\partial c_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial c_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial c_j}\right)dc_j+$$

$$+\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\partial w}{\partial r_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial r_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial r_j}\right)dr_j=0.$$

Поскольку здесь фигурируют только дифференциалы dL, dr, dh_c, $dG_{\text{п}}$, dl_1, ..., dl_m, dc_1, ..., dc_m, dr_1, ..., dr_m независимых переменных, то в точке M_0 обращается в нуль каждая скобка. Вместе с уравнениями связи это дает $3m + 10$ уравнений для определения неизвестных L^0, r^0, h_c^0, $G_{\text{п}}^0$, l_1^0, ..., l_m^0, c_1^0, ..., c_m^0, r_1^0, ..., r_m^0, φ_1^0, φ_2^0, z_1^0, z_2^0, θ_1^0, θ_2^0.

Отметим внутренние точки множества D рядом с критической, если они существуют. Сравним значения функции w в этих и граничных точках. Наименьшему из них соответствуют искомые конструктивные параметры машины. Если внутри множества D нет точек соседних с критической, находим наименьшее значение функции w на его границе при тех аргументах, которые подлежат определению.

Задача о плавности хода гусеничных машин рассмотрена на основе двух критериев: эксплуатационного, чтобы выяснить, каковы будут сотрясения машины, и конструктивного, чтобы установить зависимость между основными конструктивными параметрами и измерителями плавности хода. При конструировании машины можно выбрать наивыгоднейшие значения этих параметров из условий минимального сотрясения и наилучшей плавности хода, руководствуясь следующим алгоритмом:

1) найти критическую точку внутри области D, решая систему уравнений связи (1), (2) и условий минимума функции $w(L, ..., \theta_2)$

$$\frac{\partial w}{\partial L}+\sum_{k=1}^{m}\frac{\partial w}{\partial \varphi_k}\frac{\partial \varphi_k}{\partial L}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial L}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial L}=0;$$

.....

$$\frac{\partial w}{\partial r_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial z_k}\frac{\partial z_k}{\partial r_j}+\sum_{k=1}^{2}\frac{\partial w}{\partial \theta_k}\frac{\partial \theta_k}{\partial r_j}=0,$$

$$k=1, 2, ..., m.$$

Входящие сюда $\frac{\partial \varphi_k}{\partial L}$, ..., $\frac{\partial \theta_k}{\partial r_m}$ удовлетворяют уравнениям (4) и (5);

2) вычислить значения ускорения по формуле (3) в точках, соседних с критической, лежащих внутри области D, и в граничных точках;

3) наименьшее из них будет наименьшим значением ускорения во всей области D при тех значениях аргументов, которые суть искомые конструктивные параметры машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боголюбов, Н.Н.** Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний [Текст] / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. М.: Физматгиз, 1963.— 410с.

2. **Буров, С.С.** Конструкция и расчет танков [Текст] / С.С. Буров.— М.: Изд-во акад. БТВ, 1973.— 602 с.

3. **Дмитриев, А.А.** Теория и расчет нелинейных систем подрессоривания гусеничных машин [Текст] / А.А. Дмитриев, В.А. Чобиток, А.В. Тельминов.— М.: Машиностроение, 1976.— 207 с.

4. **Котиев, Г.О.** Прогнозирование эксплуатационных свойств систем подрессоривания военных гусеничных машин [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: Спец. 05.05.03 / Котиев Георгий Олегович.— М., 2000.— 32с.: ил.— Библиогр.: С. 30–32.

5. **Сергеев, Л.В.** Теория танка [Текст] / Л.В. Сергеев.— М.: Изд-во акад. БТВ, 1973.— 494 с.

6. **Яскевич, Л.Ф.** Аппроксимация функции нескольких переменных [Текст] / Л.Ф. Яскевич, Г.И. Мельников, В.И. Маловиков // В кн.:. Дина-

мика нелинейных механических и электромеханических систем. — Л., 1975.— Гл. I, § 3. С. 19–22.

7. **Яскевич, Л.Ф.** Уравнения движения середины опорной части условной гусеницы при движении гусеничной машины по неровной местности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Динамика и прочность машин.— Харьков, 1982.— Вып. 36.— С. 75–82.

8. **Яскевич, Л.Ф.** Касательная и нормальная составляющие силы тяжести неподрессоренной гусеничной машины при движении по неровной местности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Динамика и прочность машин.— Харьков, 1982.— Вып. 36.— С. 82–85.

9. **Яскевич, Л.Ф.** Нормальное ускорение центра тяжести неподрессоренной гусеничной машины при движении по неровной местности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Теория механизмов и машин.— Харьков, 1982.— Вып. 33.— С. 39–44.

10. **Яскевич, Л.Ф.** Касательное ускорение центра тяжести неподрессоренной гусеничной машины при движении по неровной местности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Теория механизмов и машин.— Харьков, 1982.— Вып. 33.— С. 44–47.

11. **Яскевич, Л.Ф.** Свободные продольные колебания корпуса гусеничной машины на подъеме или спуске при наличии демпферов в системе подрессоривания [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Вычислительная математика и математическая физика: Сб. науч. тр. МГПИ им. В.И. Ленина.— М., 1982.— С. 90–96.

12. **Яскевич, Л.Ф.** Уравнение движения центра тяжести неподрессоренной гусеничной машины, преодолевающей неровность [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Проблемы машиностроения.— Киев, 1982.— Вып. 17.— С. 24–25.

13. **Яскевич, Л.Ф.** Динамика корпуса гусеничной машины при движении по неровной местности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Динамика и прочность машин.— Харьков, 1983.— Вып. 37.— С. 92–96.

14. **Яскевич, Л.Ф.** Свободные колебания корпуса гусеничной машины на наклонной плоскости при наличии сил трения в системе подрессоривания [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Вычислительная математика и программирование: Сб. науч. тр. МГПИ им. В.И. Ленина.— М., 1983.— С. 45–50.

15. **Яскевич, Л.Ф.** Кинематика корпуса гусеничной машины при движении по неровной местности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Теория механизмов и машин.— Харьков, 1983.— Вып. 35.— С. 65–69.

16. **Яскевич, Л.Ф.** Движение корпуса гусеничной машины с индивидуальной подвеской при обкатке неровности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Проблемы машиностроения.— Киев, 1986.— Вып. 25.— С. 54–59.

17. **Яскевич, Л.Ф.** Переносное движение гусеничной машины с условными гусеничными, преодолевающей ров [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Проблемы машиностроения.— Киев, 1986.— Вып. 26.— С. 22–27.

18. **Яскевич, Л.Ф.** Движение корпуса гусеничной машины с условными гусеницами при обкатке неровности [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Проблемы машиностроения.— Киев, 1987.— Вып. 27.— С. 22–24.

19. **Яскевич, Л.Ф.** Движение корпуса гусеничной машины с индивидуальной подвеской, преодолевающей ров [Текст] / Л.Ф. Яскевич // Проблемы машиностроения.— Киев, 1987.— Вып. 28.— С. 24–28.

УДК 629.1.032.001

Р.В. Русинов, В.Б. Шеломов, Р.Ю. Добрецов

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ЦИКЛА БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ С ПРЕДЕЛЬНО ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ

Известно, что в принципе — при одинаковой степени сжатия — КПД бензиновых двигателей выше, чем у дизелей. Однако дизели с их достаточно высокой степенью сжатия, не ограниченной, как это имеет место в бензиновых двигателях, детонацией горючей смеси, реально экономичнее в силу более полного расширения рабочего тела и, следовательно, более полного использования теплосодержания последнего, невзирая на некоторую потерю рабочего хода поршня на "предварительное" расширение (линия " $y - z$ ", рис. 1) для "последующего", истинного расширения (линия " $z - b$ ").

Вообще говоря, на эффективность рабочего или действительного теплового цикла дизелей [1], помимо степени сжатия $\varepsilon = V_a / V_c$ (рис. 1), степени предварительного расширения $\rho = V_z / V_c$ и степени последующего расширения $\delta = V_a / V_z = \varepsilon / \rho$, влияют также степень повышения давления $\lambda = p_z / p_c$, обусловленная одновременным самовоспламенением объема топлива, впрыскиваемого в цилиндры дизелей за период задержки самовоспламенения (период индукции), показатели политроп процессов сжатия и расширения — n_1 и n_2 (k_1 и k_2 в теоретическом цикле и k — в идеальном), количество остаточных газов от предыдущего цикла $\gamma_г$ и многое другое.

Для наиболее экономичных дизелей — с неразделенными камерами сгорания [1] — величина λ достаточно велика, составляя до 2 и более единиц; величина ρ определяется продолжительностью впрыска топлива после верхней мертвой точки (ВМТ) поршня, которое сгорает уже по мере поступления в цилиндры дизелей, и составляет 1,2–1,8. При этом для быстроходных дизелей максимальное давление сгорания топлива p_z не должно превышать 12 МПа, т. к. сверх этого уровня возникают трудности с механическими нагрузками и обеспечением газовой плотности стыка торца цилиндров с цилиндровой крышкой.

Таким образом, у быстроходных дизелей “серийного” производства (при традиционно используемой для них конструктивно простой и достаточно надежной топливной аппаратуре с механическим приводом плунжеров–золотников и гидравлически управляемыми закрытыми форсунками при непрерывающихся на протяжении единичных процессов впрысках топлива) с учетом скачка давления λ давление конца сжатия p_c не должно превышать 4–5 МПа, а степень сжатия ε — 18.

В то же время, логически целесообразно и даже практически возможно дальнейшее повышение степени сжатия и достижение предельного давления p_z уже в конце процесса сжатия, а начальный впрыск в цилиндры дизелей — за период индукции достаточно малой, “запальной” порции топлива порядка 3–5 % от номинальной цикловой подачи, существенно не влияющей на рост давления в цилиндрах, и равномерная подача основной порции топлива

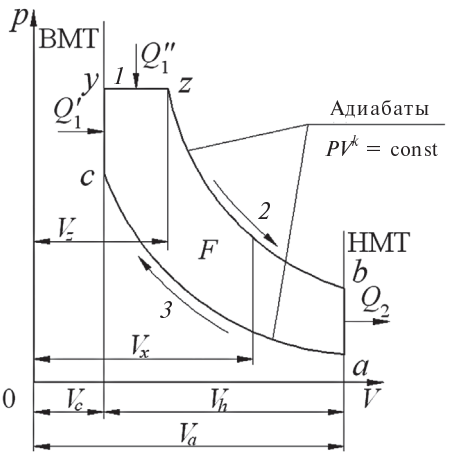


Рис. 1. Идеальный цикл быстроходного дизеля: p — давление в цилиндре; V_a — объем цилиндра; V_c — объем камеры сгорания; V_x — текущий объем; V_h — рабочий объем цилиндра; V_z — объем на конец предварительного расширения, $Q_1' + Q_1'' = Q_1$ — теплота, подводимая к рабочему телу; Q_2 — отводимая теплота; ВМТ — верхняя мертвая точка положения поршня; НМТ — нижняя мертвая точка

после ВМТ в строго определенное время для исключения роста p_z уже в процессе предварительного расширения.

Учитывая особую сложность сравнительного анализа эффективности двух представленных выше вариантов тепловых циклов (“серийного” и “модернизированного”) как рабочих, численная оценка их основных параметров, в частности эффективного КПД η_e, была осуществлена на расчетной базе для идеальных циклов [2] с использованием реальных для быстроходных дизелей значений относительного η_0 и механического $\eta_м$ КПД.

При построении кривых процесса сжатия идеальных циклов (линия “$a - c$”, рис. 1) и расширения (линия “$z - b$”) использовалось уравнение для адиабаты $pV^k = \text{const}$ с показателем $k = 1{,}3$, а в качестве рабочего тела принят газ (воздух) с неименными физико-химическими свойствами, теплоемкостями при постоянных объеме c_v и давлении c_p, равными соответственно 0,17 и 0,23 ккал/кг·град.

Термический (термодинамический) КПД η_t рассчитывался по известным формулам: $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$ — при подводе теплоты Q_1 при посто-

янном объеме; $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}$ — при постоянном давлении; $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda\rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)}$ — при "смешанном" подводе теплоты. А эффективный КПД — $\eta_e = \eta_м \eta_0 \eta_t$.

В табл. 1 представлены расчетные данные для неизменной степени сжатия $\varepsilon = 18$ и комбинаций теплот Q_1' и Q_1'' с соответствующими им степенями повышения давления λ и предварительного расширения ρ при очевидном условии неизменности величины Q_1, а в табл. 2 — при принятом предельном значении $p_z = 11{,}8$ МПа (120 кгс/см^2) соответствующая комбинация ε, λ и ρ; давление в начале процесса сжатия $p_0\,(p_a)$ принято равным атмосферному — 0,098 МПа (1,0 кгс/см^2).

По данным табл. 1 очевиден рост эффективного КПД η_e в зависимости от роста максимального давления сгорания p_z и максимальной температуры T_z, а также отрицательная роль увеличения степени предварительной расширения ρ.

Табл. 2 констатирует рост термического и эффективного КПД цикла при повышении степени сжатия ε и сохранении неизменным p_z с достижением максимального КПД при предельно высокой степени сжатия.

Максимальной экономичности сравниваемых тепловых циклов по табл. 1 соответствуют данные позиции 3 ($\eta_e = 0{,}385$, $p_z = 11{,}4$ МПа), а по табл. 2 — позиции 7 ($\varepsilon = 39{,}7$, $\eta_e = 0{,}405$).

Таким образом, практический выигрыш по экономичности второго варианта цикла равен 5,2 %, а удельный расход топлива по известному выражению $g_e = \frac{3600}{Q_T^H \eta_e}$ для сравниваемых циклов соответственно составляет $g_e^1 = 0{,}223$ кг/кВт·ч и $g_e^2 = 0{,}212$ кг/кВт·ч при экономии топлива по второму варианту 11 г/кВт·ч.

Вполне естественно, что помимо анализа тепловой эффективности сравниваемых циклов возникает необходимость анализа и их энергоспособности.

Известно, что эффективная мощность поршневого двигателя $N_e = 13{,}1 D^2 S p_e ni/m$, кВт. Здесь D — диаметр цилиндра, м; S — ход поршня, м; p_e — среднее эффективное давление рабочего цикла, МПа; n — обороты коленчатого вала, мин$^{-1}$; i — число цилиндров; m — коэффициент тактности ($m = 1$ — для двухтактных двигателей и $m = 2$ — для четырехтактных двигателей).

Как видно, при прочих равных условиях мощность двигателя зависит только от p_e.

Для численной оценки среднего давления p_t рассматриваемых идеальных циклов как меры их энергетической способности следует определить площадь F "индикаторной" диаграммы (рис. 1), представляющей в определенном масштабе работу цикла, и поделить ее на рабочий объем V_h цилиндра (на ход S поршня — в случае расчета площади "индикаторной" диаграммы в координатах "P–S").

Сама площадь индикаторной диаграммы с очевидностью представляется площадью $F_1 + F_2$ под линиями "$y - z$" и "$z - b$" (участки *1* и *2*) за вычетом площади F_3 под кривой "$c - a$" (участок *3*).

Таблица 1

Параметры идеальных циклов при неизменной степени сжатия и разных вариантах соотношений Q_1' и Q_1''

№ п/п	Q_1', ккал/кг	Q_1'', ккал/кг	T_y, K	T_z, K	λ	$p_y = p_z$, МПа	ρ	η_t	η_ε
1	410	0	3102	3102	4,50	18,9	1	0,580	0,394
2	300	110	2455	2933	3,56	14,9	1,19	0,577	0,392
3	200	210	1867	2780	2,71	11,4	1,49	0,566	0,385
4	100	310	1278	2626	1,85	7,8	2,05	0,552	0,375
5	0	410	690	2473	1,00	4,2	3,58	0,468	0,320

$\varepsilon = 18$; $p_a = 0{,}098$ МПа; $Q_1 = Q_1' + Q_1'' = 410$ ккал/кг воздуха ($\alpha = 1{,}7$); $k = 1{,}3$; $c_v = 0{,}17$ ккал/кг·град; $c_p = 0{,}23$ ккал/кг·град; $T_c = 690$ K; $p_c = 4{,}2$ МПа (42,8 кгс/см^2)

Таблица 2

Параметры идеальных циклов при неизменном максимальном давлении сгорания p_z = 11,8 МПа (120 кгс/см^2);

№ п/п	ε	T_c, К	p_c, МПа	T_y, К	Q_1', ккал/кг	Q_1'', ккал/кг	T_z, К	ρ	λ	η_t	η_ε	α°, п.к.в.	t, мс
1	11,5	603	2,34	3028	~410	0	3028	1	5,02	0,519	0,353	0	0
2	15	654	3,31	2322	284	126	2870	1,24	3,55	0,551	0,375	3,08	0,17
3	20	712	4,81	1740	175	235	2762	1,59	2,44	0,575	0,391	5,59	0,31
4	25	762	6,44	1392	107	303	2709	1,95	1,83	0,587	0,400	7,12	0,40
5	30	805	8,16	1161	60,5	349,5	2681	2,31	1,44	0,591	0,402	8,15	0,45
6	35	843	9,97	995	25,8	384,2	2665	2,68	1,18	0,595	0,405	9,00	0,50
7	39,7	876	11,7	877	~0	410	2660	3,03	~1,0	0,505	0,405	9,45	0,53

Примечание 1: p_a = 0,098 МПа; T_a = 290 К; = 410 ккал/кг воздуха (α = 1,7); k = 1,3; c_v = 0,17 ккал/кг·град; c_p = = 0,23 ккал/кг·град.

Примечание 2: T_y — температура рабочего тела в конце скачка давления; T_z — максимальная температура; T_c — температура в конце процесса сжатия; α° — продолжительность впрыска основной порции топлива (n = 3000 мин$^{-1}$); t — время поворота коленчатого вала двигателя на угол α°.

Так, $F_1 = p_z\left(V_z - V_c\right) = p_z\dfrac{V_c}{V_c}\left(V_z - V_c\right) = \lambda p_c V_c \times$ × (ρ − 1).

Для участка *2* по уравнению адиабаты имеем $p_z V_z^k = p_x V_x^k$ и $p_x = p_z\left(V_z/V_x\right)^k = \lambda\, p_c V_z^k V_x^{-k}$, а дифференциал $dF_2 = \lambda p_c V_z^k V_x^{-k} dV$, откуда

$$F_2 = \lambda p_c V_z^k \int_{V_z}^{V_b=V_a} V_x^{-k}\,dV = \lambda p_c V_z^k \left.\frac{V_x^{-k+1}}{-k+1}\right|_{V_z}^{V_a} =$$

$$= \frac{\lambda p_c V_z}{-k+1}\left(\frac{V_z^{k-1}}{V_a^{k-1}} - \frac{V_z^{k-1}}{V_z^{k-1}}\right) = \frac{\lambda p_c V_z}{k-1}\left(1 - \frac{1}{\delta^{k-1}}\right).$$

По аналогии с предыдущим

$$F_3 = \frac{p_c V_c}{k-1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\right).$$

В общем итоге

$$P_e = \eta_м \eta_0 P_t.$$

Применительно к реальным циклам окончательно имеем: $p_e = \eta_м \eta_o (p_t^o - p_o)$.

Как видно из представленных выше вариантов идеальных циклов по табл. 1 (поз. 3) и табл. 2 (поз. 7), в энергетическом отношении цикл с предельно высокой степенью сжатия практически не уступает циклу с традиционной "серийной" организацией теплового процесса, но, как было показано выше, значительно превосходит его по экономичности.

Рассмотрим характер относительного изменения расчетных давлений по всем позициям 1–7 табл. 2 применительно к варианту поз. 3 табл.1. На рис. 2 представлены значения $\Delta = p_e^2 / p_e^1$, где $p_e^1 = 0{,}99$ МПа.

По итогам расчета параметры циклов по точкам 4 и 5 со значением Δ = 1,01, не обладая особыми преимуществами по энергетическому потенциалу, по-прежнему обеспечивают достаточную экономичность: при η_e для этих циклов, равном 0,400–0,402 (табл. 2), удельный расход топлива для них составляет 213–214 г/кВт·ч.

В то же время степень сжатия 25–30 для этих циклов намного меньше, чем для вариан-

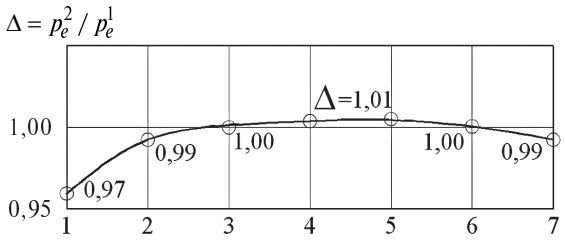


Рис. 2. Примерные соотношения средних эффективных давлений вариантов предлагаемого цикла быстроходного дизеля по данным табл. 2 (поз. 1–7) и цикла "стандартного" быстроходного дизеля (табл. 1, поз. 3)

та с ε = 39,7, которая реально может быть и невыполнима по конструктивным обстоятельствам.

В последнем случае проблематично и качественное распыливание "запальной" порции топлива в 3–5 % от полной цикловой подачи, хотя, возможно, оно и может быть обеспечено при использовании особой конструкций форсунки, к примеру форсунки с двойным распылителем, разработанной на кафедре двигателей внутреннего сгорания СПбГПУ.

Существенным препятствием для реализации изначального варианта теплового цикла может быть и нестабильность различных сортов дизельных топлив по их воспламенительным свойствам (цетановым числам), влияющим на длительность периода индукции топлива, что может затруднить выставление необходимого опережения впрыска первой, весьма малой, порции топлива.

Таким образом, для быстроходного дизеля окончательно рекомендуется как "предельно" высокая степень сжатия ε = 25–30 с "запальной" порцией топлива в 14–25 % и более высокой температурой в конце первого периода подачи топлива — 1161–1392 *K* против 877 *K* для ε = 39,7, благоприятной для развития последующего процесса сгорания топлива; при этом последующая доля топлива должна впрыскиваться в строго заданный промежуток по углу поворота коленчатого вала дизеля — $\alpha_{\text{о}} = 6nt$ (см. табл. 2).

В заключение следует отметить, что при использовании современных электронных средств не составляет особой проблемы создание дискретной системы топливоподачи двойного впрыска, однако при реализации изложенных рекомендаций основные трудности могут быть связаны с обеспечением равномерности впрыска в цилиндры второй порции топлива. Практическая же возможность получения полного или хотя бы частичного эффекта по предлагаемому способу организации теплового цикла быстроходного дизеля предварительно должна быть установлена путем лабораторной проверки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Русинов, Р.В.** Двигатели автомобилей и тракторов [Текст] / Р.В. Русинов, Р.Ю. Добрецов.— СПб: Изд–во Политехн. ун-та, 2009.— С. 13–19.

2. **Русинов, Р.В.** О некоторых проблемах организации теплового процесса дизелей [Текст] / Р.В. Русинов, И.М. Герасимов, И.Р. Русинов // Двигателестроение.— 2006. № 2.— С. 3–6.

УДК 621.8:62.522

Е.Н. Сюсюка

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАТАНИЯ ОПОРНЫХ УЗЛОВ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ НА БАЗЕ ШАГОВОГО ПРИВОДА

Вопросы восстановления точности формы бандажей и роликов опорных узлов цементных печей не теряют своей актуальности, так как направлены на повышение долговечности узлов, износостойкости контактных поверхностей и, в конечном счете, повышения экономической эффективности печи в целом. Ремонтной обработкой бандажей и роликов технологических барабанов — цементных вращающихся печей, известерегенерационных печей, коагуляторов, сушилок и т. п. — занимаются многие предприятия и фирмы [1]. Восстановление геометрической точности изношенных базовых поверхностей бандажей и роликов осуществляется точением, фрезерованием и шлифованием. Профилактика и ремонт особенно эффективен при использовании мобильного оборудования — приставных и встраиваемых станков. Разработаны различные конструкции станков, использующие при восстановлении процессы резания и шлифования [1,4].

Теоретические положения по восстановлению технологических барабанов, способы управления точностью механической обработки, пе-

редовые методы ремонтных технологий разработаны учеными кафедры машиностроения БГТУ им. В.Г. Шухова. Технологические методы восстановления геометрической точности изношенных поверхностей крупногабаритных деталей на рабочем месте без их демонтажа определяют особые требования к конструктивному исполнению, компоновке и месту установки мобильного оборудования. Эти требования обусловлены спецификой решаемых технологических задач и определяют существенное отличие переносных, приставных и встраиваемых станков от обычных стационарных.

Теоретические и практические исследования показали, что задачи повышения точности обработки встраиваемым станком, уменьшения неопределенности базирования, сокращения трудоемкости наладки станка могут быть успешно решены с использованием адаптивного управления. Учеными БГТУ им В.Г.Шухова предложены схемы измерительных устройств, которые могут быть применены в составе адаптивной системы. Таким образом, теоретическая и элементная база созрела для того, чтобы разработать автоматизированный привод поперечных подач, реализующий исполнительное поведение резца.

Такой привод должен иметь малые габариты, модульность конструкций, удобство компоновки на поперечном суппорте, высокую надежность, небольшой ход перемещений в рабочих режимах, способность согласовываться с цифровыми устройствами. Этими свойствами обладает линейный электрогидравлический шаговый привод (ЛЭГШП) [3].

Анализ структуры и конструктивных особенностей ЛЭГШП станков с ЧПУ и роботов выявил, что наивысшей точностью обладают приводы с замкнутой обратной связью. Большинство приводов в управляющей части имеют изнашиваемые механические передачи, что понижает их эксплуатационную точность. Предложен гидроусилитель ЛЭГШП, лишенный указанных недостатков, который позволяет реализовать привод, удовлетворяющий задаче повышения точности.

На рис.1 представлена схема предложенного ЛЭГШП, защищенная патентом на полезную модель [3].

Схема работает следующим образом: предварительно производится обмер профиля бандажа *12* посредством датчика профиля бандажа *16*. Данные, характеризующие форму поверхности катания бандажа *12*, снимаются с определенной дискретностью и заносятся в память контроллера *1*. С помощью винтовой подачи *13* суппорт *14* с рабочим органом *10* и инструментом *11* подводится в начальное положение, характеризуемое смещением инструмента *11* к поверхности катания бандажа *12* до их соприкосновения в точке, находящейся на краю горизонтальной плоскости бандажа *12*. Производится запуск станка с заданием режима обработки в задатчике *2*. Далее посредством полученных данных о профиле бандажа *12* с датчика профиля бандажа *16* и текущего сигнала с датчика профиля *16* вырабатывается управляющее воздействие. Оно служит заданием положения рабочего органа *10* с инструментом *11*. При этом учитываются биения и неровности поверхности бандажа *12*, а также текущее положение рабочего органа *10*, снятого посредством датчика положения *15*. Сигналы от программной части *3*, в которой вырабатывается управляющий сигнал, и с датчика положения *15* поступают на сравнивающее устройство *4*. Далее управляющее электрическое воздействие поступает на устройство *5*, управляющее ша-

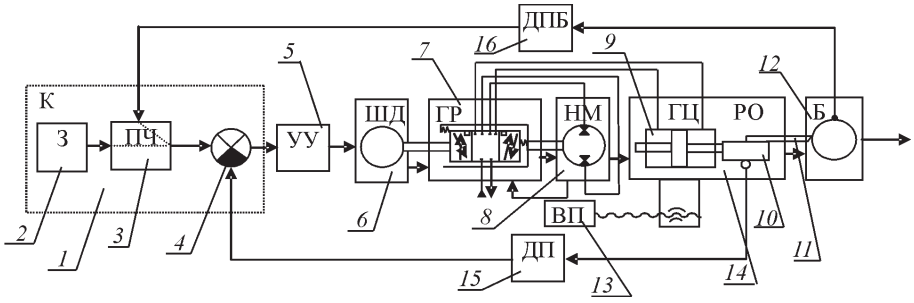


Рис. 1. Схема шагового линейного электрогидравлического привода в составе адаптивной системы восстановительной обработки поверхностей качения опорных узлов

говым двигателем *6*, посредством которого вращается внутренняя секция золотника гидравлического распределителя *7*. Поток жидкости поступает по открывшимся каналам к насосу-мотору *8*, сообщая ему вращение. Далее жидкость из насоса-мотора *8* переходит в гидроцилиндр *9*, смещая его шток с рабочим органом *10*, и поступает на слив. Ротор насоса-мотора *8* жестко связан со второй секцией золотника — внешней. Таким образом, организуется местная гидравлическая обратная связь, которая отслеживает положение штока гидроцилиндра *9* и при выполнении задания перекрывает гидроканал, что приводит систему в установившийся режим. Гидроцилиндр *9* смещает рабочий орган *10* с инструментом *11* на необходимое расстояние, причем это расстояние корректируется, исключая возможные неточности обработки из-за утечек. Положение рабочего органа *10* с инструментом *11* отслеживается по электрической обратной связи посредством датчика положения *15*. Отслеживание и обработка сигналов с датчиков производится непрерывно в режиме реального времени.

Расчет показателей статической точности гидроусилителя с дистанционной гидравлической обратной связью в установившихся режимах рассмотрен в работе [2]. Он позволил судить о точности и жесткости привода ГУ, определить зависимость дискретности от характеристик привода.

Точность и жесткость привода достигается лишь при устойчивости движения рабочего органа, поэтому устойчивость — основное условие работоспособности привода. Условия устойчивости гидроусилителя рассматриваются для линеаризованной модели. На начальном этапе пренебрегаем силами сухого трения, считаем, что

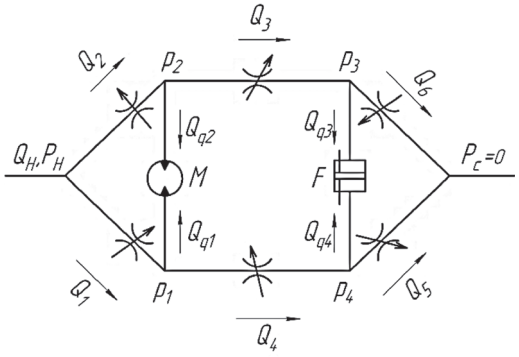


Рис. 2. Эквивалентная схема ГУ привода

отклонения всех координат от установившихся значений малы, а волновые процессы в трубопроводах отсутствуют.

Расчет проводится применительно к эквивалентной схеме ГУ (рис. 2) с начальным открытием управляющих кромок, установленным исходя из равенства размеров всех щелей в начальном положении, при одновременной работе всех дросселей.

Принимаем давление на входе постоянным ($p_{\text{н}} = \text{const}$) и записываем основные уравнения системы.

Уравнения равновесия статики в двигателях дают

$$p_1 - p_2 = \frac{M 2\pi}{q}, \qquad p_3 - p_4 = \frac{R}{F}.$$

Уравнения расходов в элементах схемы имеют вид

$$Q_{g1} = Q_1 - Q_4; \quad Q_{g3} = Q_3 - Q_6;$$
$$Q_{g2} = Q_2 - Q_3; \quad Q_{g1} = Q_4 - Q_5.$$

Линеаризация уравнения истечения через дроссели:

$$Q = (x_0 \pm x)\mu b\sqrt{\frac{2}{\beta}}\sqrt{p_i - p_{i+1}};$$

$$\Delta Q_Q = \Delta x k_Q + \Delta p_i k_{\text{ж}i} - \Delta p_{i+1} k_{\text{ж}(i+1)};$$

$$\Delta Q_Q = -\Delta x k_Q - p_i k_{\text{ж}i} + \Delta p_{i+1} k_{\text{ж}(i+1)};$$

где $k_Q = \mu b\sqrt{\frac{2}{\beta}}\sqrt{p_{i0} - p_{(i+1)0}}$;

$$k_{\text{ж}i} = \frac{x_{0i}\mu b\sqrt{\frac{2}{\beta}}}{2\sqrt{p_{i0} - p_{(i+1)0}}};$$

$$k_{\text{ж}(i+1)} = \frac{x_{0i}\mu b\sqrt{\frac{2}{\beta}}}{2\sqrt{p_{i0} - p_{(i+1)0}}}.$$

Считаем, что все коэффициенты усиления по расходу одинаковы:

$$k_{Q1} = k_{Q2} = k_{Q3} = k_{Q4} = k_{Q5} = k_{Q6} = k_Q,$$

как и коэффициенты жесткости расходной характеристики

$k_{ж1} = k_{ж2} = k_{ж3} = k_{ж4} = k_{ж5} = k_{ж6} = k_{ж}$.

Уравнения расходов жидкости в приращениях:

$$\Delta Q_1 = \Delta x k_Q - \Delta p_1 k_{ж};$$

$$\Delta Q_2 = -\Delta x k_Q - \Delta p_2 k_{ж};$$

$$\Delta Q_2 = -\Delta x k_Q - \Delta p_2 k_{ж};$$

$$\Delta Q_4 = -\Delta x k_Q + \Delta p_1 k_{ж} - \Delta p_4 k_{ж};$$

$$\Delta Q_5 = \Delta x k_Q + \Delta p_4 k_{ж}; \quad \Delta Q_6 = -\Delta x k_Q + \Delta p_3 k_{ж}.$$

Уравнения расходов в линиях двигателей:

$$\Delta Q_{g1} = 2k_Q \Delta x - (p_1 - p_2) k_{ж} + \Delta p_4 k_{ж};$$

$$\Delta Q_{g2} = -2k_Q \Delta x - (p_1 - p_2) k_{ж} + \Delta p_3 k_{ж};$$

$$\Delta Q_{g3} = 2k_Q \Delta x - (p_3 - p_4) k_{ж} + \Delta p_2 k_{ж};$$

$$\Delta Q_{g4} = 2k_Q \Delta x - (p_3 - p_4) k_{ж} + \Delta p_1 k_{ж};$$

$$p_1 - p_2 = \Delta\Delta p_1 = -2\Delta p_2;$$

$$p_3 - p_4 = 2\Delta p_3 = -2\Delta p_4.$$

Уравнения трубопроводов и гидродвигателей записываем, опустив знак приращения в операторной форме, при следующих условиях: перетечки между полостями гидродвигателей пропорциональны разности давлений в полостях $Q_у = c_н (p_{n1} - p_{n2})$; приведенные объемы гидродвигателей $V_i = V_{im} + V_{iд}$; момент инерции на валу ГМ $J_1 = J_м + J_н$; E — модуль упругости жидкости, λ — коэффициент зависимости нагрузки от скорости — линейно от нее зависит.

Для полостей нагнетания и слива гидромотора соответственно получаем

$$\frac{V_1}{E} S p_1 = Q_{g1} - C_{нэ} (p_1 - p_2) - \frac{q}{2} \pi\omega;$$

$$\frac{V_2}{E} S p_2 = Q_{g2} - C_{нэ} (p_1 - p_2) - \frac{q}{2} \pi\omega;$$

а для гидроцилиндра

$$\frac{V_3}{E} S p_3 = Q_{g1} - C_{нэ} (p_3 - p_4) - Fv;$$

$$\frac{V_4}{E} S p_4 = Q_{g2} - C_{нэ} (p_3 - p_4) - Fv.$$

Запишем уравнения нагрузки в операторной форме:

а) для гидромотора

$$M_g = -\frac{q}{2} \pi (p_1 - p_2) - JS\omega\lambda_1\omega - M_{вд};$$

б) для гидроцилиндра:

$$R = F(p_3 - p_4) = mSv + \lambda_2 v - R_{рез}.$$

Управляющие кромки поворотного управляющего распределителя расположены на радиусе $R_з$. Поэтому между углом поворота ε управляющей части распределителя и параметром открытия x щели прямоугольной формы существует зависимость $x = \varepsilon R_з$. Механическая жесткая отрицательная обратная связь по угловому положению α ротора определяется уравнением $\alpha - \varphi = \varepsilon$.

Перекрестные связи $\Delta p_1 k_ж$, $\Delta p_2 k_ж$, $\Delta p_3 k_ж$, $\Delta p_4 k_ж$, реализующие гидравлическою обратное воздействие по давлениям в полостях двигателей соответственно на расходы $\Delta Q_{д4}$, $\Delta Q_{д3}$, $\Delta Q_{д2}$, $\Delta Q_{д1}$, затрудняют получение аналитического выражения передаточной функции для оценки устойчивости и определения показателей качества и быстродействия ГУ.

В связи с этим использовано моделирование системы в среде Simulink.

Путем изменения соответствующих коэффициентов в модели (рис. 3) исследовалось влияние на устойчивость (характеристики переходного процесса) параметров гидроцилиндра: эффективной площади поршня, хода поршня, длины трубопроводов между двигателями при различных характеристиках золотника, давлениях нагнетания, управляющих и возмущающих воздействиях.

Исследованиями доказана работоспособность гидроусилителя, определены границы устойчивости и даны рекомендации по выбору параметров конструкции и условий ее эксплуатации для достижения необходимой точности обработки бандажей.

Величина дискретности ЛЭГШП рассчитана по формуле

$$D = \alpha \frac{q}{2\pi F},$$

где D — перемещение, мм; α — угловой шаг двигателя, град.; q — удельный объем мотора, мм^3/град.; F — площадь поршня, мм^2.

Привод позволяет по результатам первого прохода корректировать погрешность при установке

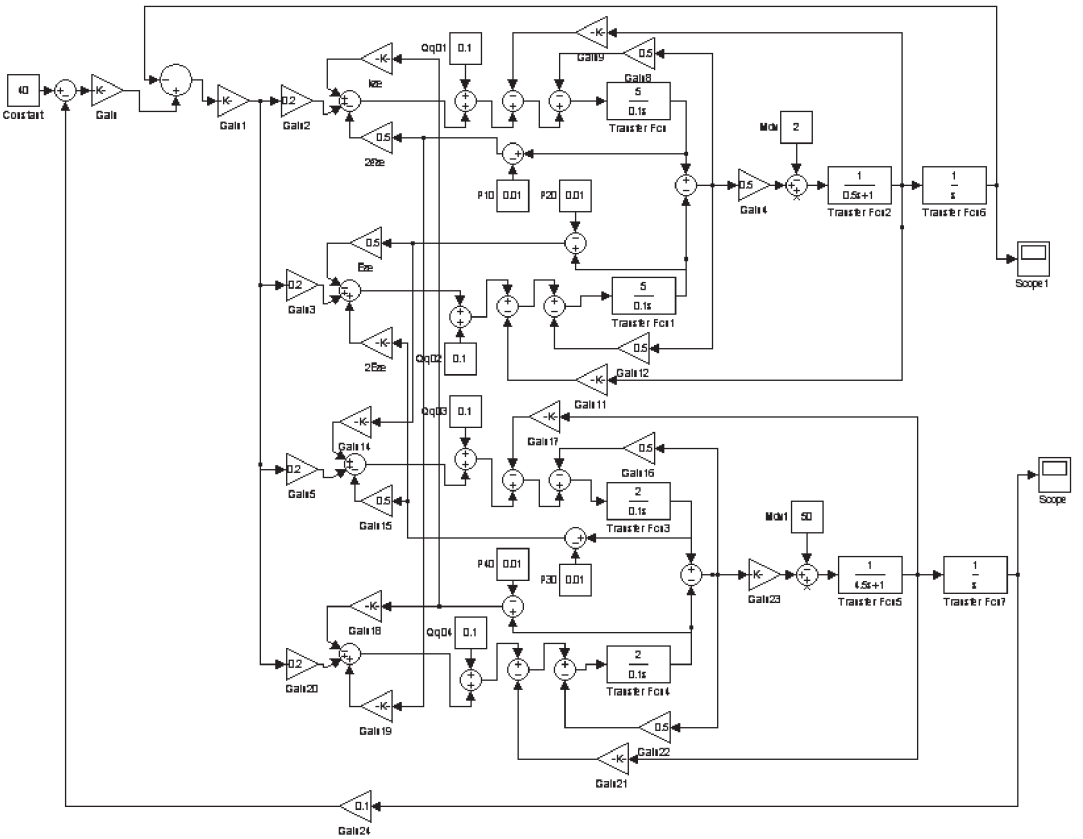


Рис. 3. Представленная в среде Simulink эквивалентная структурная схема ГУ в составе привода с обратной связью по положению

встраиваемого станка относительно осей бандажа или ролика. При этом для расчета корректирующей траектории используется выражение

$$\Delta(z) = R_1\left[\sqrt{1+\left(\frac{z\Delta}{R_1 L}\right)^2 + 2\frac{z}{R_1}\frac{\Delta}{L}\cos\varphi} - 1\right],$$

где L — длина обработки (ширина ролика); φ — угловая погрешность при линейной погрешности установки станка Δ на длине обработки L; z — текущая координата перемещения суппорта от края бандажа или ролика; R_1 — радиус в начале корректирующей обработки.

При коррекции учитывается погрешность направления поперечной подачи резца, зависящая от погрешности установки станка. Система контроля формы поверхности качения позволит учесть деформации станка, изменение усилий резания, тепловые деформации системы, а также неопределенность базирования бандажа в процессе обработки.

Таким образом, использование ЛЭГШП в приводе поперечных подач встраиваемого станка позволит повысить точность и производительность ремонтной обработки бандажей и роликов вращающихся цементных печей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Погонин, А.А.** Ремонтно-восстановительная обработка поверхностей катания опорных узлов цементных печей мобильными станками [Текст] / А.А. Погонин, В.Н. Бондаренко, С.Н. Санин, А.Г. Схиртладзе // Ремонт, восстановление, модернизация.— 2005. № 1.— С. 13–16.

2. **Бондаренко, В.Н.** Анализ гидроусилителей линейных электрогидравлических приводов для поперечных суппортов встраиваемых станков [Текст] / В.Н. Бондаренко, Е.Н. Сюсюка, И.А. Барчук // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова».— 2008. № 1.— С. 64–67.

3. **Патент № 91746 на полезную модель. Российская Федерация, МПК F15B21/08.** Автоматический шаговый линейный электрогидравлический привод [Текст] / В.Н. Бондаренко, Е.Н. Сюсюка, В.Г. Рубанов, В.Г. Михайлов; заявитель и патентообладатель — БГТУ им. В.Г. Шухова.— № 2009139498/22; заявл. 26.10.2009; опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6. — 1с.: ил.

4. Электронный ресурс mosintrast.ru Московской международной корпорации “Мосинтраст”.

УДК 004.891.2

Д.И. Загороднев, Л.А.Санакулова, Л.А. Симонова

ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Для многих машиностроительных предприятий с системой распределенного производства и с большим парком автомашин, таких, как ОАО “КАМАЗ”, управление материальными потоками — проблемный вопрос в связи с тем, что возникает задача о наиболее рациональном маршруте и своевременной доставке груза по пунктам; ее решение позволяет существенно экономить на затратах, возникающих в связи с развозкой. Это особенно актуально из-за тенденции роста цен на топливо.

Из-за отсутствия автоматизированной диспетчеризации движения нарушается согласованная работа производств, входящих в предприятие, что в свою очередь ведет к значительным потерям времени, неэффективному использованию имеющихся ресурсов и увеличению общих издержек. Отсутствие электронного документооборота не позволяет проследить последовательность и местонахождение изделий приближенно к реальному времени.

Широкое внедрение систем управления материальными потоками в машиностроительном производстве обусловлено большими потенциальными возможностями повышения эффективности таких процессов, как управление транспортом, складским хозяйством, системой закупок сырья и системой сбыта продукции, запасами, и т. д. При этом есть стремление обеспечить сквозное управление материальными потоками в соответствии с CALS-технологией.

Основная задача совершенствования системы управления материальными потоками заключается в повышении эфективности работы при сохранении установленных параметров качества процесса. Задача может стать очень трудоемкой, если налагать всевозможные условия (время заказа, объем заказа, время и приоритет доставки и т.д). При расчетах вручную приходится составлять графики развоза товаров и маршрутов объезда клиентской сети, компоновать разный по весу, форме и объему товар, рассчитывать поставки заказанного товара или услуги в определенное, установленное клиентами время. Все это довольно сложно. Преимущество решения такой задачи с применением компьютеров — компактность, большая проработка и быстрота решения.

Один из главных путей повышения качества и эффективности работы транспорта сегодня — это рассмотрение вариантов использования транспортного средства (ТС) и маршрутов, из которых по определенным критериям должен выбираться оптимальный. При поиске решения задач управления материальными потоками не существует единого универсального критерия эффективности, и его выбор зависит от конкретных условий перевозок и решаемой задачи. Уменьшение или увеличение значения критерия оптимальности определяется необходимостью выполнения различных требований заказчика, техническими параметрами ТС и т. д. Для оценки и выбора оптимальных решений могут быть применены такие показатели: производительность; общая и чистая прибыль; себестоимость перевозки; общие и приведенные затраты на выполнение перевозок;

своевременность перевозок; сохранность груза; скорость доставки; трудоемкость перевозки; коэффициент использования транспортного парка за день; производительность человеческого труда; рентабельность; среднее расстояние перевозок и нулевого пробега; потребное количество автомобилей для перевозки; суммарный простой транспорта;суммарная грузоподъемность; порожний пробег; время пребывания транспорта на маршруте и время работы за день.

Автоматизированная система, основываясь на комплексе технологических средств, информационном обеспечении и пакете прикладных программ, должна обеспечивать рационально-максимальную загрузку транспортного средства и повышение эффективности перевозочного процесса за счет рассмотрения большого числа вариантов решения и оптимального его выбора. При наличии в этой системе базы знаний не надо полагаться на интуицию и опыт диспетчера, чтобы принимать решения по выбору наилучшего маршрута и ликвидировать оперативные сбои транспортного процесса.

На рис. 1 изображен общий алгоритм работы такой системы. Введем множество временных слоев $\mathbf{L} = \{L1..\}i\ i\ NL$, где NL — их количество, и множество типов АТС $\mathbf{TTS} = \{TTS1..\}i\ i\ NTTS$, где $NTTS$ — количество таких типов.

В качестве исходной требуется следующая информация по автомобильному парку:

1) $A_i(j = 1, m)$ — перечень имен (типов) автомобилей парка;

2) $A_{ri}(j = 1, m_r)$ — перечень имен (типов) автомобилей, годных в данный момент к эксплуатации;

3) $A_{эj}(j = 1, m_э)$ — перечень имен (типов) автомобилей, находящихся в эксплуатации;

4) $A_{пi}(j = 1, m_п)$ — перечень имен (типов) автомобилей, находящихся сегодня в простое по различным причинам;

5) $q_{нi}(j = 1, m)$ — номинальная грузоподъемность j-го автомобиля;

6) $V_i(j = 1, m)$ — объем груза, вмещаемого в j-й автомобиль;

7) $G_i(j = 1, m)$ — расход топлива j-го автомобиля;

8) $S_{tj}(j = 1, m)$ — стоимость топлива для j-го автомобиля;

9) $S_{эj}(j = 1, m)$ — стоимость эксплуатации (амортизационная), расхода j-го автомобиля на единицу пробега;

10) $З_j(j = 1, m)$ — заработная плата водителя i-го автомобиля;

11) $\Gamma_{зi,j}(j = 1, k; j = 1, m)$ — время (удобство) загрузки i-го типа товара в j-й автомобиль;

12) $\Gamma_{вi,j}(j = 1, k; j = 1, m)$ — время (удобство) выгрузки i-го типа товара из j-го автомобиля.

Решение задач оптимального управления транспортными средствами по обслуживанию сетей заказчиков требует, чтобы в математическое обеспечение автоматизированной системы входили следующие математические модели, управляющие и функциональные алгоритмы:

1. Математическая модель топологии сети производителей и сети показателей товарной продукции с характеристиками их дорог в виде схемы иерархических матриц. Такая модель позволит автоматически (программным путем) производить поиск оптимальных маршрутов при любых изменениях состава и адресов расположения пунктов назначения.

2. Алгоритмы определения оптимальных маршрутов, в том числе с использованием сочетания типов транспортировки (кольцевых, маятниковых и т. д.) по интегральному критерию.

3. Математическая модель и функциональные алгоритмы выбора типа автомобиля и оптимальной его загрузки, а также оптимального распределения автомобилей по маршрутам.

4. Алгоритмы расчета времени доставки, простоев, пробегов и т. д. по всем маршрутам и для всех автомобилей.

5. Алгоритмы оперативной корректировки запланированных маршрутов при возникновении внештатных ситуаций.

6. Математическая модель и функциональные алгоритмы формирования расписания загрузки транспортных единиц, а также диспетчеризации транспортных потоков.

7. Методы и алгоритмы автоматического контроля за процессом загрузки, доставки и выгрузки грузов. Мониторинг выполнения плана на основе информации, полученной по системе методов слежения.

8. Математическая модель и функциональные алгоритмы формирования всех протоколов электронного документооборота, включая формирование электронных путевых листов, передачу транспортных накладных по корпоративной сети и т. д. Объединение всех моделей, управляющих функциональных алгоритмов в единую систему требует создания функциональной, организационной и информационной структуры математического обеспечения автоматизированной системы.

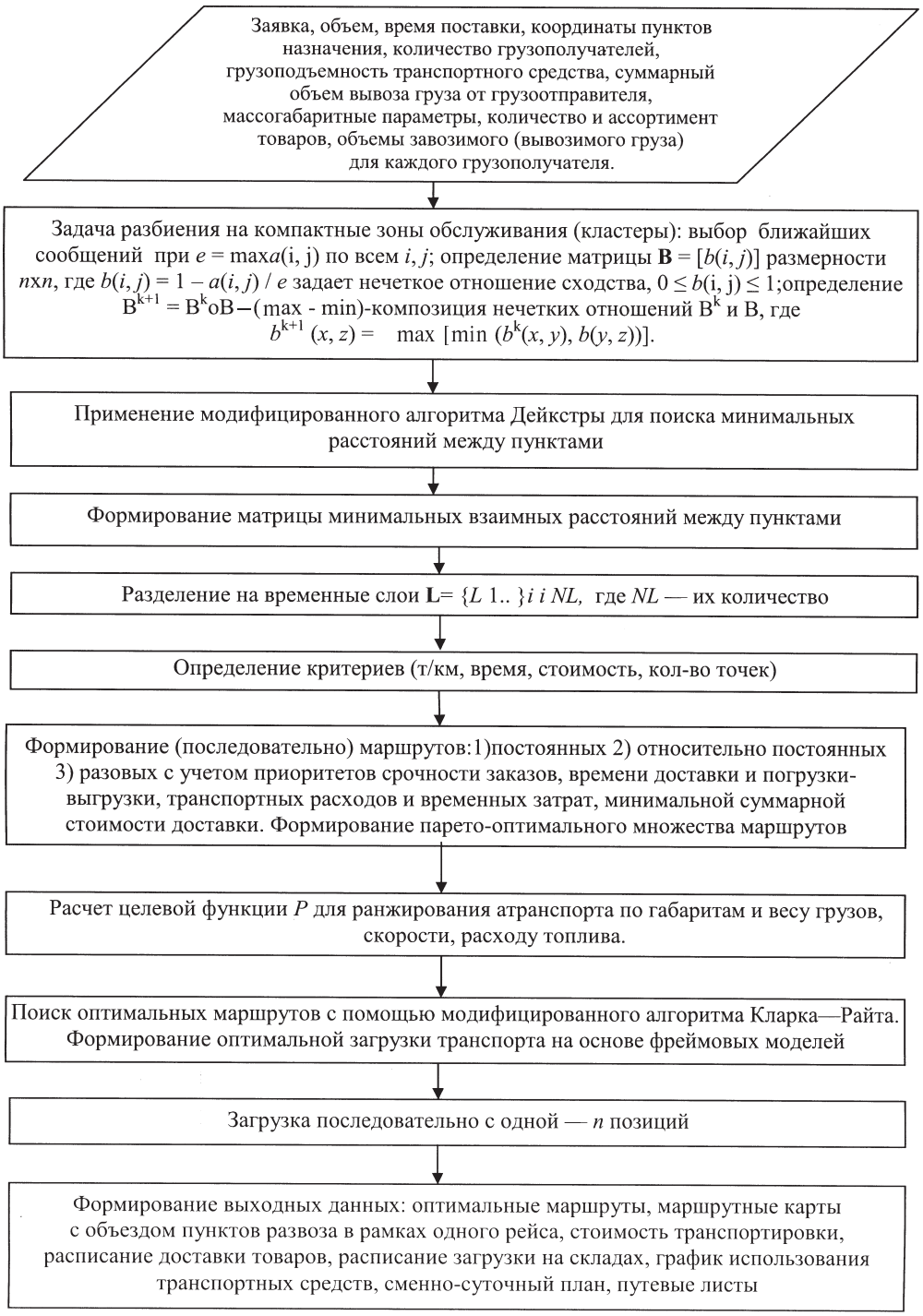


Рис. 1. Общий алгоритм работы автоматизированной системы

В зависимости от вида решаемой задачи выбирается конкретный критерий оптимальности с функцией независимых параметров (исходных данных) задачи $F = F(x_1, x_2, x_3, ..., x_n)$, для которого стремятся найти наилучшее значение (например, минимальный пробег ТС).

Процесс выбора оптимальных потоков — сложная задача, так как велико число альтернатив и нельзя учесть все возникающие факторы на определенном этапе, что требует применения более гибких алгоритмов, таких, как эвристические. Применение подобных алгоритмов, использующих

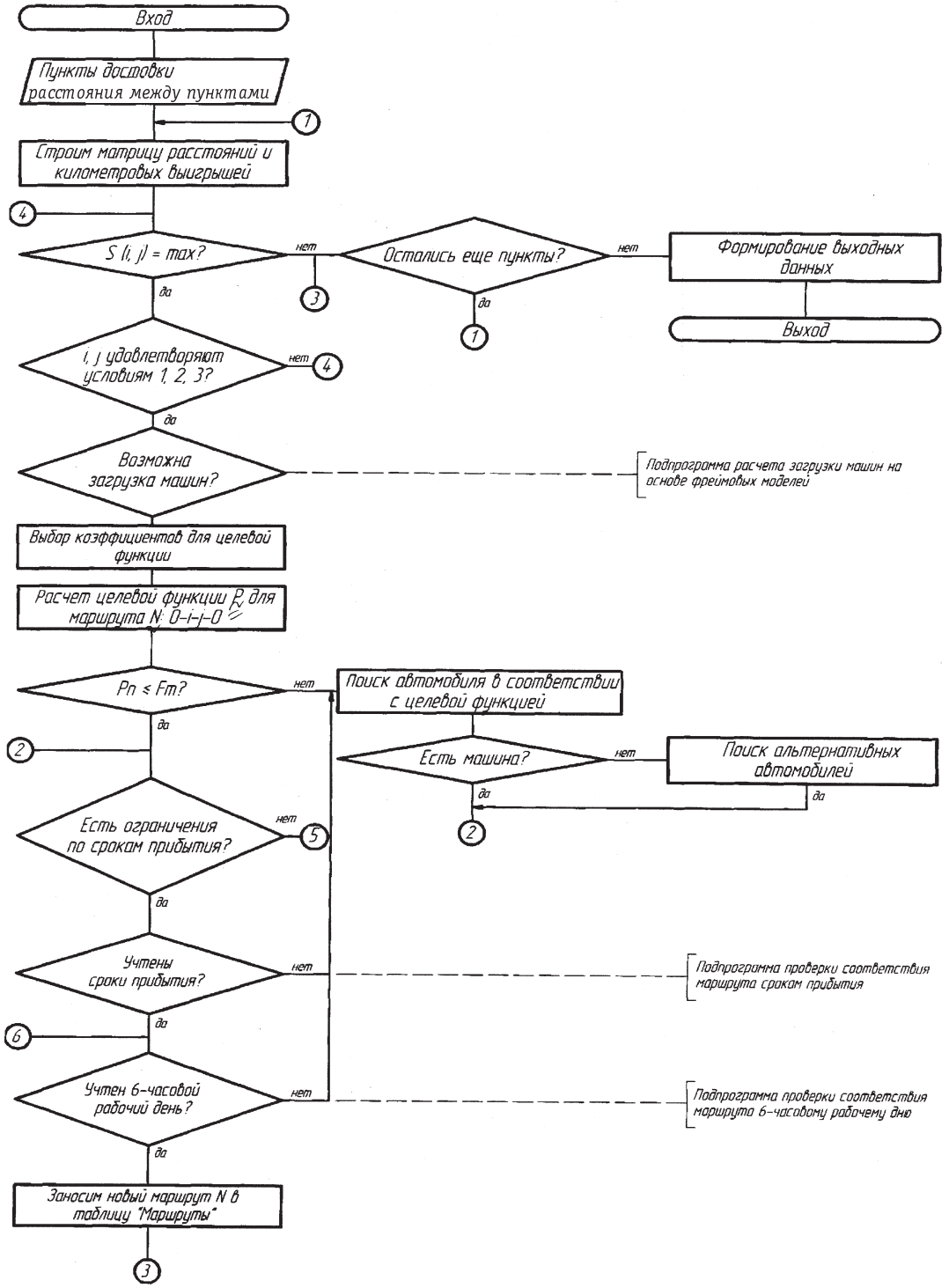


Рис. 2. Модифицированный алгоритм Кларка—Райта

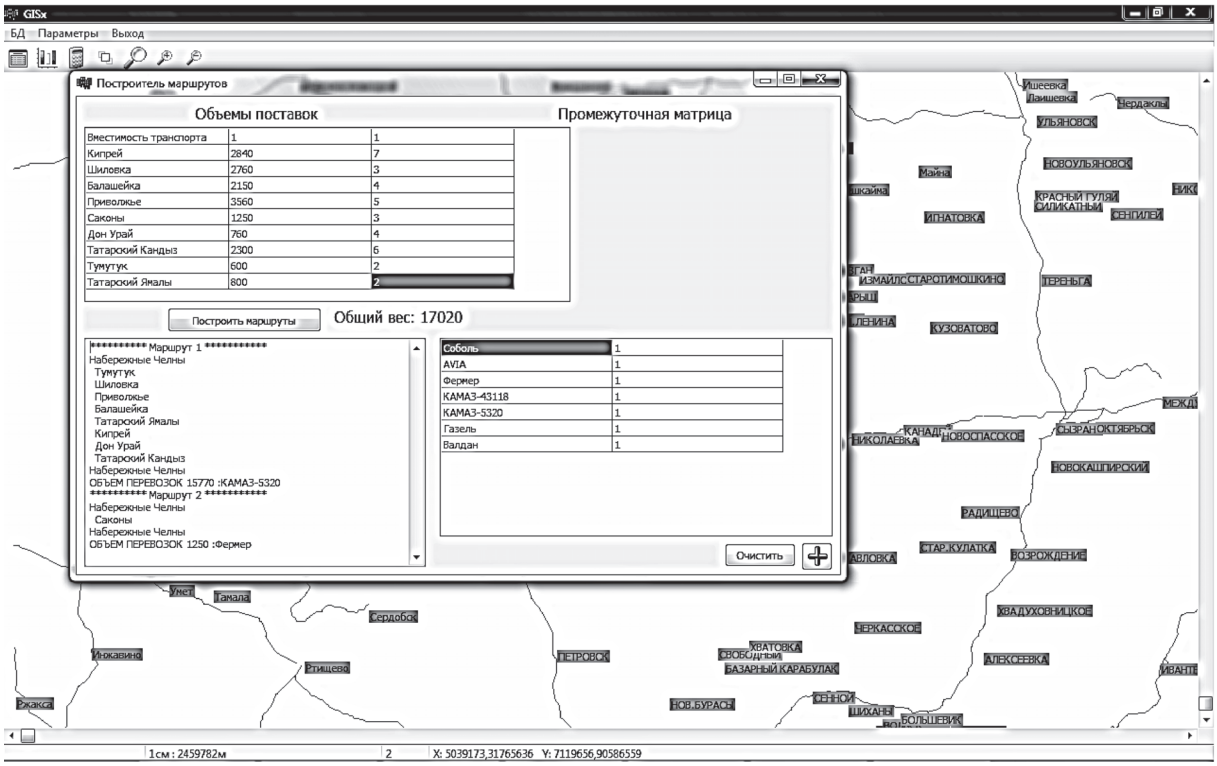


Рис. 3. Построение маршрутов с учетом наличия автомобилей и загрузки

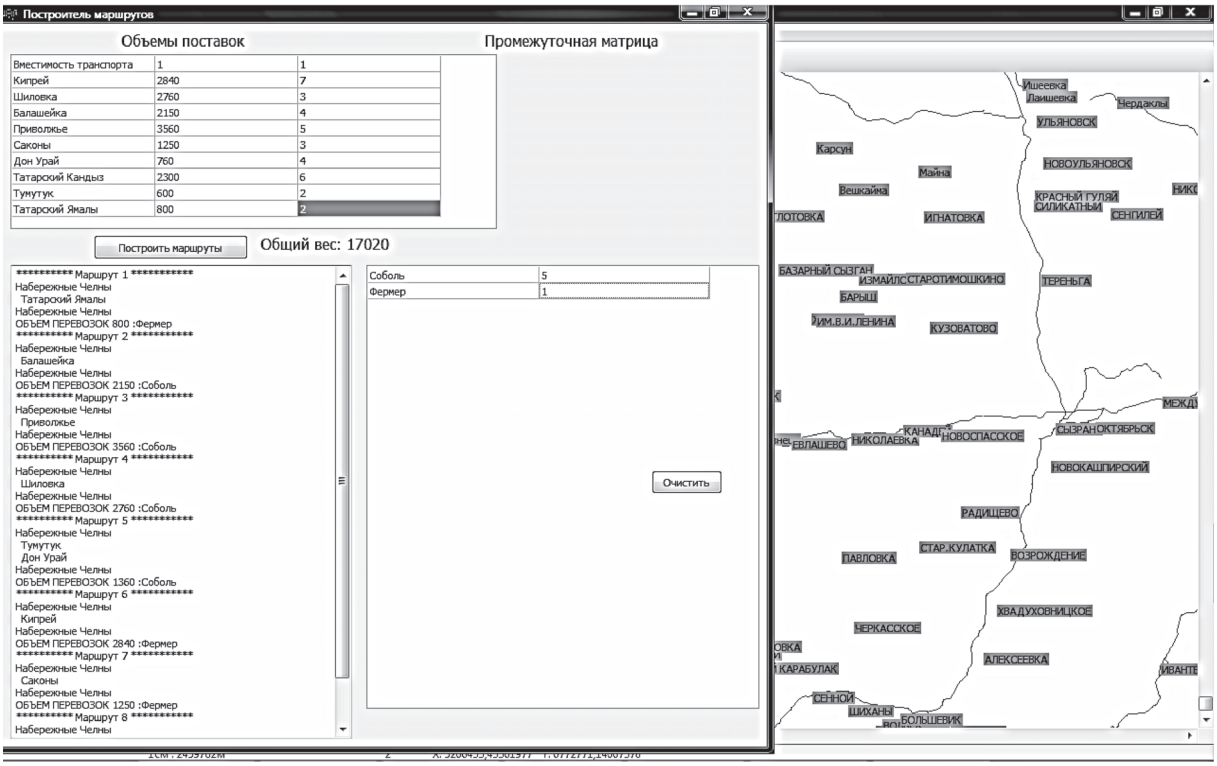


Рис. 4. Построение маршрутов при изменении условий

знания экспертов, — мощное средство для нахождения оптимального пути из всех возможных. А модульный принцип в построении системы позволяет создать банк типовых технологических и организационных решений. В этом случае решение задачи оптимизации транспортных потоков требует от автоматизированной системы выработки альтернативных вариантов распределения и загрузок автомобилей, маршрутов и выбора оптимального из них. Кроме того, сложность усугубляется тем, что для поиска и решения логистической задачи оптимизации материальных потоков сегодня не существует комплексного критерия. Разрабатываемые теоретические основы и методики для автоматизированной системы мониторинга и управления маршрутами транспортных средств предприятия, основываясь на комплексе технологических средств, информационном обеспечении и пакете прикладных программ, должны обеспечить повышение эффективности процесса перевозок. Такая система позволит, не полагаясь на интуицию и опыт диспетчера при принятии решения, обеспечить общую эффективность управления. В связи с этим разработанная автоматизированная информационная система основывается на эвристических алгоритмах.

Для нахождения оптимального маршрута между двумя точками дорожной сети был выбран "жадный" алгоритм, который также называют алгоритмом Дейкстры. Алгоритм Дейкстры строит кратчайшие пути, ведущие из исходной вершины графа к остальным его вершинам (если таковые имеются) [2].

В качестве основного алгоритма для решения задачи маршрутизации был взят алгоритм Кларка—Райта. Его суть заключается в том, чтобы, отталкиваясь от исходной схемы развозки с маятниковыми маршрутами, по шагам перейти к оптимальной схеме развозки с кольцевыми маршрутами. Данные о расстояниях между отдельными пунктами берутся из расчетов по алгоритму Дейкстры.

К недостаткам данного алгоритма можно отнести его недоработку с точки зрения загрузки автотранспорта. В обычном алгоритме Кларка—Райта при расчете загрузки рассматривается лишь суммарный вес грузов и грузоподъемность машин.

Вместимость, а также другие возникающие критерии при загрузке машин, алгоритмом не учитываются. В связи с этим в модифицированном алгоритме Кларка—Райта (рис. 2) был доработан блок загрузки автотранспорта, в основе которого лежат фреймовые модели.

При поиске оптимальных маршрутов возникает необходимость оценки автотранспорта в разных дорожных условиях. Кроме стандартных показателей (скорость, грузоподъемность, вместимость, расход топлива), нужно учитывать и качество автомобильных дорог, которое влияет на указанные показатели.

Для выбора оптимального автомобиля в разных ситуациях осуществляется ранжирование автомобилей на основе расчета целевой функции.

Кроме того, модифицированный алгоритм Кларка—Райта делает приоритетным использование имеющихся в автомобильном парке машин. Таким образом, маршрут по мере заполнения его пунктами ориентируется на автомобили. Если же точки посещения остаются не обслуженными, а все автомобили находятся в эксплуатации, то осуществляется выбор машины у предоставляющих услуги экспедиторских компаний.

В результате реализации данных алгоритмов был получен программный продукт, в котором в зависимости от наличия машин программа осуществляет выбор транспортного средства, составляет оптимальный маршрут следования и рассчитывает загрузку автомобиля в необходимой последовательности (рис. 3).

При изменении условий, например наличия автомобилей в транспортном парке, маршруты могут корректироваться в режиме реального времени(рис. 4).

Таким образом, разработанная автоматизированная система позволяет:

формировать краткосрочные, долгосрочные маршруты движения для каждой транспортной единицы;

осуществлять мониторинг выполнения плана на основе информации из выбранной системы сопровождения груза;

оперативно осуществлять корректировку запланированных маршрутов при внештатных ситуациях;

вести учет планово-предупредительного ремонта транспортных средств;

формировать электронные путевые листы;

передавать транспортные накладные по корпоративной сети;

использовать CALS-технологии при сопровождении изделия на протяжении этапов жизненного цикла внутри предприятия;

осуществлять автоматический контроль за процессом отгрузки-загрузки и доставки грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Волков, И.К.** Исследование операций: Учебник для вузов [Текст] / И.К. Волков, Е.А. Загоруйко; Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко.— 2-е изд.— М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.— 435 с.

2. **Markus Jqnsson F.** Поиск оптимального пути для транспортных средств на оцифрованых картах реальной местности [Текст] / F. Markus Jönsson; пер. с англ. С.Ю. Анисимов.— 1998.

УДК 621.867.17

В.Н.Смирнов, А.А. Баженов, Т.В.Сапунова

РАСЧЕТ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЫПУЧЕМ ГРУЗЕ НА РАБОЧЕМ ПОЛОТНЕ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА С ПЕРЕГОРОДКАМИ

При расчете машин непрерывного транспорта задача определения поля напряжений в сыпучем грузе — одна из важнейших. Существующие методы расчета носят чисто эмпирический характер или базируются на гипотезе сыпучего тела, в основу которой положены уравнения равновесия и движения абсолютно жесткого тела. Это приводит к необходимости введения в методику расчета экспериментальных коэффициентов (коэффициенты подвижности и бокового давления, гидравлический радиус и т. д.) и ограничивает область использования предлагаемых методов.

При рассмотрении задач механики сыпучих грузов некоторые авторы [1, 2] предлагают использовать функции напряжений при решении уравнений предельного равновесия и движения методом последовательных приближений, т. е. задача сведена к нелинейному дифференциальному уравнению предельного равновесия, решение которого основано на последовательной линеаризации решений, получаемых методом разделения переменных или разложения в ряды.

Задача определения поля напряжений в сыпучем теле треугольной формы возникает при расчете крутонаклонных конвейеров с перегородками, а также ленточно-цепных и скребковых конвейеров.

Рассмотрим распределение напряжений в сыпучем теле треугольной формы в условиях плоской деформации, что соответствует сыпучему грузу на рабочем полотне крутонаклонного конвейера с перегородками. При расчете распределения напряжений в сыпучих телах сложной геометрической формы целесообразно воспользоваться численным методом линии уровня [1]. Уравнения предельного равновесия сыпучего груза для плоского случая имеют вид

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}=\gamma;\quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}=0;$$

$$\sin^2\rho\left(\sigma_x+\sigma_y+2H\right)^2=\left(\sigma_x-\sigma_y\right)^2+4\tau_{xy}, \quad (1)$$

где γ — объемная масса груза; ρ — угол внутреннего трения; $H=c\,\mathrm{ctg}\rho$ — временное сопротивление растяжению [3]; c — коэффициент сцепления.

Разобьем исследуемую область сеткой, как показано на рис. 1. По оси Ox узлы отстоят друг от друга на расстоянии $a=\Delta x$, а по оси Oy — на расстоянии $b=\Delta y$; β — угол наклона конвейера. Точки *1*, *4*, *8*, *12* расположены на свободной поверхности, поэтому напряжения в них равны нулю. Точные значения производных заменим приближенными через дискретные значения функций на конечных интервалах:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}=\frac{\sigma_x^i-\sigma_x^{i-1}}{\Delta x};\quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}=\frac{\tau_{xy}^i-\tau_{xy}^{i-1}}{\Delta x};$$

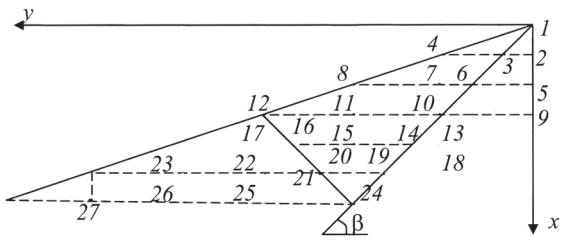


Рис. 1. Расчетная сетка исследуемой области

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \frac{\sigma_y^j - \sigma_y^{j-1}}{\Delta y}; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \frac{\tau_{xy}^j - \tau_{xy}^{j-1}}{\Delta y}. \qquad (2)$$

С учетом граничных условий на свободной поверхности сыпучего тела уравнения предельного равновесия в точке *2* будут иметь вид

$$\frac{\sigma_x^2}{a} + \frac{\tau_{xy}^2}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^2}{a} + \frac{\sigma_y^2}{b} = 0;$$

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^2 - \sigma_y^2\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^2\right)^2}. \quad (3)$$

Здесь верхний индекс определяет координаты узловой точки, а при возведении в степень выражение берется в скобки. Решение нелинейной системы (3) относительно σ_x^2, σ_y^2, τ_{xy}^2 находим методом итераций, где начальное приближение для τ_{xy}^2 может быть взято из предыдущей узловой точки, т. е. $\left(\tau_{xy}^2\right)_0 = \tau_{xy}^1 = 0$. Процесс последовательных приближений следует продолжать до требуемой точности. Здесь необходимо заметить, что при распределении напряженного состояния слои сыпучего груза, расположенные ниже линии уровня *2–4*, не оказывают влияния на распределение напряжений в слое, расположенном выше.

Переходим теперь к узловой точке *5*:

$$\frac{\sigma_x^5 - \sigma_x^2}{a} + \frac{\tau_{xy}^5 - \tau_{xy}^7}{b} = \gamma;$$

$$\frac{\tau_{xy}^5 - \tau_{xy}^2}{a} + \frac{\sigma_y^5 - \sigma_y^7}{b} = 0;$$

$$\sigma_x^5 + \sigma_y^5 + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^5 - \sigma_y^5\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^5\right)^2}, \quad (4)$$

где значения σ_x^2, τ_{xy}^2 берутся из решения системы уравнений (3) предыдущего уровня.

В узловой точке *7* уравнения предельного равновесия с учетом граничных условий будут иметь вид

$$\frac{\sigma_x^7}{a} + \frac{\tau_{xy}^7}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^7}{a} + \frac{\sigma_y^7}{b} = 0;$$

$$\sigma_x^7 + \sigma_y^7 + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^7 - \sigma_y^7\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^7\right)^2}. \quad (5)$$

Решение систем уравнений (4), (5) второго уровня целесообразнее начинать с системы (5), где за начальное приближение при решении нелинейного уравнения следует взять $\left(\tau_{xy}^7\right)_0 = 0$.

Системы уравнений предельного равновесия третьего уровня для точек *10*, *11* имеют вид

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_x^{10} - \sigma_x^7}{a} + \frac{\tau_{xy}^{10} - \tau_{xy}^{11}}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^{10} - \tau_{xy}^7}{a} + \frac{\sigma_y^{10} - \sigma_y^{11}}{b} = 0; \\ &\sigma_x^{10} + \sigma_y^{10} + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{10} - \sigma_y^{10}\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^{10}\right)^2}; \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_x^{11}}{a} + \frac{\tau_{xy}^{11}}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^{11}}{a} + \frac{\sigma_y^{11}}{b} = 0; \\ &\sigma_x^{11} + \sigma_y^{11} + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{11} - \sigma_y^{11}\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^{11}\right)^2}. \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Решение следует начинать с уравнений последней системы (7), где начальное приближение $\left(\tau_{xy}^{11}\right)_0 = 0$.

Системы уравнений четвертого уровня имеют вид

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_x^{13} - \sigma_x^{10}}{a} + \frac{\tau_{xy}^{13} - \tau_{xy}^{15}}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^{13} - \tau_{xy}^{10}}{a} + \frac{\sigma_y^{13} - \sigma_y^{15}}{b} = 0; \\ &\sigma_x^{13} + \sigma_y^{13} + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{13} - \sigma_y^{13}\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^{13}\right)^2}, \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_x^{15} - \sigma_x^{11}}{a} + \frac{\tau_{xy}^{15} - \tau_{xy}^{17}}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^{15} - \tau_{xy}^{11}}{a} + \frac{\sigma_y^{15} - \sigma_y^{17}}{b} = 0; \\ &\sigma_x^{15} + \sigma_y^{15} + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{15} - \sigma_y^{15}\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^{15}\right)^2}. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_x^{17}}{a} + \frac{\tau_{xy}^{17}}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^{17}}{a} + \frac{\sigma_y^{17}}{b} = 0; \\ &\sigma_x^{17} + \sigma_y^{17} + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{17} - \sigma_y^{17}\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^{17}\right)^2}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Решение следует начинать с последней системы уравнений при начальном приближении $\left(\tau_{xy}^{17}\right)_0 = 0$.

Системы уравнений пятого уровня:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_x^{18} - \sigma_x^{13}}{a} + \frac{\tau_{xy}^{18} - \tau_{xy}^{20}}{b} = \gamma; \quad \frac{\tau_{xy}^{18} - \tau_{xy}^{13}}{a} + \frac{\sigma_y^{18} - \sigma_y^{20}}{b} = 0; \\ &\sigma_x^{18} + \sigma_y^{18} + 2H = \frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{18} - \sigma_y^{18}\right)^2 + 4\left(\tau_{xy}^{18}\right)^2}; \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{20}-\sigma_x^{15}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{20}-\tau_{xy}^{22}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{20}-\tau_{xy}^{15}}{a}+\frac{\sigma_y^{20}-\sigma_y^{22}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{20}+\sigma_y^{20}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{20}-\sigma_y^{20}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{20}\right)^2};\end{aligned}\right\}\quad (12)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{22}-\sigma_x^{17}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{22}-\tau_{xy}^{23}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{22}-\tau_{xy}^{17}}{a}+\frac{\sigma_y^{22}-\sigma_y^{23}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{22}+\sigma_y^{22}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{22}-\sigma_y^{22}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{22}\right)^2};\end{aligned}\right\}\quad (13)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{23}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{23}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{23}}{a}+\frac{\sigma_y^{23}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{23}+\sigma_y^{23}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{23}-\sigma_y^{23}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{23}\right)^2}.\end{aligned}\right\}\quad (14)$$

Решение систем (11)–(14) следует начинать с последней системы уравнений при начальном приближении $\left(\tau_{xy}^{23}\right)_0=0$.

Системы уравнений шестого уровня следующие:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{24}-\sigma_x^{20}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{24}-\tau_{xy}^{25}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{24}-\tau_{xy}^{20}}{a}+\frac{\sigma_y^{24}-\sigma_y^{25}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{24}+\sigma_y^{24}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{24}-\sigma_y^{24}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{24}\right)^2};\end{aligned}\right\}\quad (15)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{25}-\sigma_x^{22}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{25}-\tau_{xy}^{26}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{25}-\tau_{xy}^{22}}{a}+\frac{\sigma_y^{25}-\sigma_y^{24}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{25}+\sigma_y^{25}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{25}-\sigma_y^{25}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{25}\right)^2};\end{aligned}\right\}\quad (16)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{26}-\sigma_x^{23}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{26}-\tau_{xy}^{27}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{26}-\tau_{xy}^{23}}{a}+\frac{\sigma_y^{26}-\sigma_y^{27}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{26}+\sigma_y^{26}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{26}-\sigma_y^{26}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{26}\right)^2};\end{aligned}\right\}\quad (17)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sigma_x^{27}}{a}+\frac{\tau_{xy}^{27}}{b}=\gamma;\quad \frac{\tau_{xy}^{27}}{a}+\frac{\sigma_y^{27}}{b}=0;\\ &\sigma_x^{27}+\sigma_y^{27}+2H=\frac{1}{\sin\rho}\sqrt{\left(\sigma_x^{27}-\sigma_y^{27}\right)^2+4\left(\tau_{xy}^{27}\right)^2}.\end{aligned}\right\}\quad (18)$$

Решение следует начинать с последней системы уравнений при начальном приближении $\left(\tau_{xy}^{27}\right)_0=0$.

Напряжения в точках *3*, *6*, *14*, *19* пропорциональны отрезкам давления соответствующих линий уровня.

Для проверки точности решений сравним численный метод линий уровня с вариационным методом решения этой задачи.

Уравнения предельного равновесия (1) сыпучего груза для плоского случая (см. рис. 2) примут вид

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}=P_x;\qquad \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_y}{\partial y}=P_y;$$

$$\left(\sigma_x-\sigma_y\right)^2+4\tau_{xy}^2=\sin^2\rho\left(\sigma_x+\sigma_y+2H\right)^2;\quad (19)$$

где $P_x=\gamma\cos\rho$, $P_y=-\gamma\sin\rho$.

Вводя функцию напряжений Ф по формулам

$$\sigma_x=\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}+xP_x,\qquad \sigma_y=\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}+yP_y,$$

$$\tau_{xy}=-\frac{\partial^2\Phi}{\partial x\partial y},\quad (20)$$

нетрудно убедиться, что при подстановке (20) в (19) уравнения равновесия тождественно удовлетворяются, а условие предельного равновесия сыпучего груза в форме Малышева—Черненко примет вид

$$\sin\rho\left(\Delta\Phi+xP_x+yP_y+2H\right)=L(\Phi),\quad (21)$$

где $\Delta=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}$ — оператор Лапласа

$$L(\Phi)=\left[\left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}-\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}+xP_x-yP_y\right)^2+\right.$$

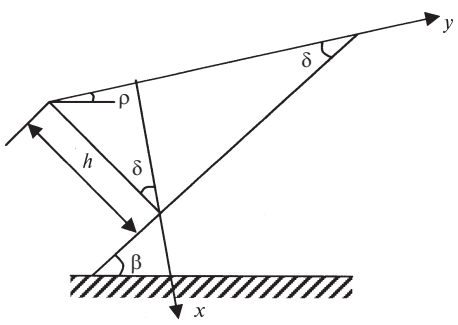


Рис. 2. Схема расчета поля напряжений на рабочем участке крутонаклонного конвейера с перегородками

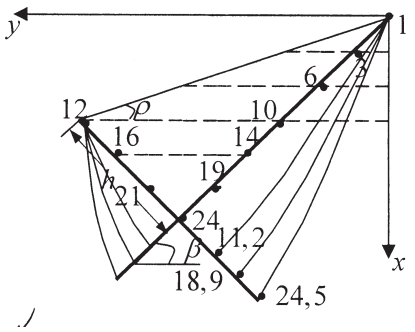


Рис. 3. Распределение давления сыпучего груза по ленте от объемной массы

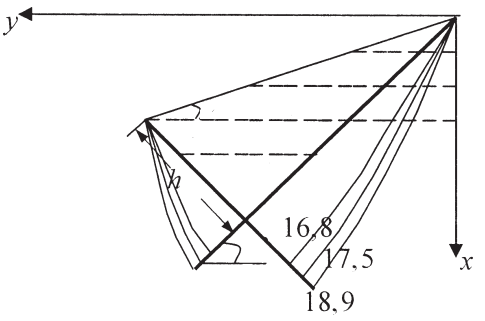


Рис. 4. Распределение давления сыпучего груза по ленте от угла внутреннего трения

$$+4\left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}\right)^2\Bigg]^{\frac{1}{2}}.$$

Пользуясь вариационным методом [1], решение дифференциального условия предельного равновесия (21) ищем в виде

$$\Phi = Dx^3. \qquad (22)$$

Используя условия ортогональности, подставим решение (22) в (21); тогда получим

$$\iint\limits_S \Big[\sin\rho\left(\Delta\Phi + xP_x + yP_y + 2H\right) - L(\Phi)\Big]\times$$

$$\times\, x^2\,dxdy = 0. \qquad (23)$$

Интегрируя выражение (23) по площади S треугольника (рис. 2)

$$\int\limits_0^{h\cos\delta}\ \int\limits_{x\operatorname{tg}\delta - h\sin\delta}^{(h\cos\delta - x)\operatorname{ctg}\delta} \Big[\sin\rho\left(6Dx + xP_x + yP_y + 2H\right) +$$

$$+ 6Dx - xP_x + yP_y\Big]x^3\,dxdy = 0,$$

находим постоянную интегрирования

$$D = \Bigg[P_x\frac{h}{3}\left(\sin\rho - 1\right)\cos\delta - P_y\frac{h}{12}\left(1+\sin\rho\right)\times$$

$$\times\frac{\cos 2\delta}{\sin\delta} - \frac{1}{10}H\sin\rho\Bigg]\Big[2h\cos\delta\left(1+\sin\rho\right)\Big]^{-1}. \qquad (24)$$

Отсюда для поля напряжений в сыпучем грузе

$$\sigma_x = xP_x; \quad \sigma_y = 6Dx + yP_y;$$

$$\tau_{xy} =$$

$$= \frac{1}{2}\Big[\sin^2\rho\left(\sigma_x + \sigma_y + H\right)^2 - \left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2\Big]^{\frac{1}{2}}. \qquad (25)$$

Параметры обсчитываемого сыпучего тела на рабочем участке крутонаклонного ленточного конвейера следующие: $h = 30$ см — высота перегородки; $\beta = 45^\circ$ — угол наклона конвейера; $c = 0$ — коэффициент сцепления, $\rho = 30^\circ$ — угол внутреннего трения, $\delta = \beta - \rho$, $\gamma = 1{,}48$ т/м^3 — объемная масса груза, $a = 5\sqrt{2}$ см, $b = 15\sqrt{2}$ см.

Программа расчета позволяет провести вычислительный эксперимент. Изменяя объемную массу от 0,98 до 1,98 т/м^3, находим распределение давлений от сыпучего груза по перегородке и ленте (рис. 3). Кривые соответствуют: *1* — объемной массе $\gamma = 0{,}98$ т/м^3; *2* — $\gamma = 1{,}48$ т/м^3; *3* — $\gamma = 1{,}98$ т/м^3.

На рис. 4 показаны зависимости распределения давлений сыпучего груза от изменения угла внутреннего трения. Кривые соответствуют: *1* — углу внутреннего трения $\rho = 25^\circ$; *2* — $\rho = 30^\circ$; *3* — $\rho = 35^\circ$. Отметим, что с уменьшением угла внутреннего трения величина давлений от сыпучего груза на перегородку и ленту возрастает.

Сравнение результатов расчета распределений напряжений от сыпучего груза по перегородке и ленте, полученных вариационным методом и численно, показывает, что численные значения напряжений с увеличением количества итераций приближаются к результатам вариационного метода.

В статье изложен численный метод расчета поля напряжений в сыпучем теле на полотне ленточного крутонаклонного конвейера с перегородками. Метод линий уровня позволяет рассчитывать поле напряжений в сыпучих телах сложной геометрической формы, обычно используемых в машинах непрерывного транспорта. Дана оценка точности расчета методом линий уровня путем сравнения с вариационным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Черненко, В.Д.** Расчет средств непрерывного транспорта [Текст] / В.Д. Черненко.— СПб.: Политехника, 2008.— 386 с.

2. **Малышев, М.В.** Приближенное решение задач предельного равновесия сыпучей среды, основанное на линеаризации исходного уравнения [Текст] / М.В. Малышев // Тр. VII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроения. — М.: Стройиздат, 1991. — С. 182–190.

3. **Соколовский, В.В.** Статика сыпучей среды [Текст] / В.В. Соколовский. — М.: Физматгиз, 1960. — 243 с.

УДК 630.658

А.А. Андронов

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Эффективность использования технических объектов, в частности транспортных и технологических машин лесного хозяйства, определяется в значительной степени уровнем их эксплуатации. Поэтому организация правильной эксплуатации техники — одна из основных задач предприятий лесопромышленного комплекса. Управление эксплуатацией должно базироваться на системе контрольных показателей, охватывающих все ее стороны. Однако анализ работы эксплуатационных предприятий показывает, что в лучшем случае уровень эксплуатации техники оценивается лишь двумя показателями — коэффициентами выхода и сменности. Этого явно недостаточно для эффективного управления, тем более на современном этапе развития общества, когда информационные технологии позволяют тонко отслеживать все нюансы производственной деятельности.

Исследователи эффективности применения транспортных машин [1–3] рассматривают в числе основных характеристик работоспособности как отдельных единиц, так и парков техники комплексные показатели надежности — коэффициенты готовности и технического использования. Согласно ГОСТ 27.002–89 коэффициент готовности $k_г$ — это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. А коэффициент технического использования $k_{ти}$ есть отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Указанные показатели могут быть определены по формулам:

для отдельной машины

$$k_г = t_{но} / (t_{но} + t_{вос}), \quad (1)$$

$$k_{ти} = t_{сум} / \left(t_{сум} + t_{рем} + t_{об}\right); \quad (2)$$

для парка машин

$$k_г = \sum t_{но} / \left(\sum t_{но} + \sum t_{вос}\right), \quad (3)$$

$$k_{ти} = \sum t_{сум} / \left(\sum t_{сум} + \sum t_{рем} + \sum t_{об}\right), \quad (4)$$

где $t_{но}$ — средняя наработка на отказ; $t_{вос}$ — среднее время восстановления; $t_{сум}$ — суммарная наработка всех подконтрольных объектов; $t_{рем}$ — суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов; $t_{об}$ — суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов.

В работе [3] предложено описывать динамику коэффициента готовности во времени экспоненциальной зависимостью с параметром старения машины по наработке $\beta_t = 0{,}012–0{,}048$ год$^{-1}$:

$$k_г(t) = \exp(-\beta_t t), \quad (5)$$

где t — возраст машины, лет.

Снижение коэффициента готовности происходит в основном за счет увеличения времени простоев техники в неплановых ремонтах. Составляющие формул (1)–(4) характеризуют процесс эксплуатации машин. Согласно ГОСТ 25866–83 под эксплуатацией понимается "стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество. Эксплуатация изделия включает в себя в общем случае использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт". Первую составляющую эксплуатации, "использование по назначению", следует рассматривать как *производственную эксплуатацию*, включающую в себя комплекс методов организации эффективной работы парка техники. Остальные составляющие относятся к *технической эксплуатации*, направленной на обеспечение работоспособности машин. Выделяют также *коммерческую эксплуатацию*, главная задача которой — снижение простоев техники по причине отсутствия заказов на выполнение работ. Последний вид эксплуатации не входит в сферу рассмотрения в данной статье.

Для конкретизации управляющих воздействий на эксплуатацию следует разделять показатели производственной и технической эксплуатации.

Показатели производственной эксплуатации. Поскольку роль производственной эксплуатации заключается в организации рационального и безопасного использования техники, учета работы машин, предлагается использовать следующие показатели, характеризующие уровень выполнения этих задач:

1. *Списочный парк* — число машин, находящихся на балансе предприятия,

$$N_{\text{с}} = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{N} N_{ji},$$

где N_{ji} — i-я машина j-го типа; n — количество типов машин; N — количество машин одного типа.

2. *Рабочий парк машин* — среднее количество машин, одновременно работающих в течение года,

$$N_{\text{р}} = \left(\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{N} T_{\text{р}\,ji} / D_{\text{р}\,ji} \right) (/ t_{\text{см}} k_{\text{см}}),$$

где $D_{\text{р}\,ji}$ — число рабочих дней i-й машины j-го типа; $T_{\text{р}\,ji}$ — количество рабочего времени каждой i-й машины j-го типа; $t_{\text{см}}$ — продолжительность смены; $k_{\text{см}}$ — коэффициент сменности.

3. *Коэффициент сменности*

$$k_{\text{см}} = \frac{t_{\text{ср ф}}}{t_{\text{см}}},$$

где $t_{\text{ср ф}}$ — среднее фактическое число часов работы машины (парка) в сутки.

4. *Среднее фактическое число часов работы машины в сутки*

$$t_{\text{ср ф}} = \frac{1}{N_{\text{с}}} \left(\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{N} T_{\text{р}\,ji} / D_{\text{р}\,ji} \right) \cdot,$$

5. *Коэффициент выпуска подвижного состава на линию*

$$k_{\text{в л}} = (\text{АД}_{\text{р}})/(\text{АД}_{\text{сп}}),$$

где $\text{АД}_{\text{р}}$ — количество автомобиле-дней работы; $\text{АД}_{\text{сп}}$ — количество автомобиле-дней согласно списочному составу автомобильного парка.

6. *Коэффициент использования пробега*

$$k_{\text{и п}} = \Sigma S_{\text{гр}} / \text{У} S_{\text{общ}},$$

где $S_{\text{гр}}$ — пробег автомобиля с грузом; $S_{\text{общ}}$ — общий пробег автомобиля.

7. *Коэффициент использования грузоподъемности*

$$k_{\text{и г}} = \text{У}\Sigma_{\text{ф}} / \Sigma \Gamma_{\text{ном}},$$

где $\Gamma_{\text{ф}}$ — вес фактически перевезенного груза; $\Gamma_{\text{ном}}$ — номинальная грузоподъемность автомобиля.

8. *Показатель безаварийности*

$$k_{\text{б а}} = \Sigma n_{\text{ав}} / \text{У} n_{\text{рейс}},$$

где $n_{\text{ав}}$ — количество аварий; $n_{\text{рейс}}$ — количество рейсов.

9. *Показатель экологичности*

$$k_{\text{э}} = \Sigma N_{_} / \Sigma N,$$

где $\Sigma N_{_}$ — число машин, у которых количество выбросов вредных веществ превышает норму; ΣN — число эксплуатируемых машин.

Показатели технической эксплуатации. Под технической эксплуатацией машин понимают комплексную систему организационно-технических мероприятий, обеспечивающих их работоспособность при безопасном использовании по функциональному назначению с учетом минимальных воздействий на окружающую среду. Основу технической эксплуатации составляет

система технических обслуживаний и ремонтов техники (ТОиР) — совокупность принципов и правил, обеспечивающих работоспособное состояние машин с минимальными затратами.

1. Показатели технического состояния машин.

1.1. Показатели надежности:

средняя наработка на отказ $t_{от\ ср} = \Sigma t_{от\ i}/n_{от}$, где $t_{от\ i}$ — отдельная зафиксированная наработка на отказ; $n_{от}$ — количество отказов за рассматриваемый период времени (год);

средняя интенсивность отказов $\lambda_{ср} = 1/t_{от\ ср}$;

средняя интенсивность восстановления $t_{в\ ср} = \Sigma t_{в\ i}/n_{от}$, где $t_{в\ i}$ — отдельное зафиксированное время восстановления машины после внезапного отказа.

1.2. Ресурсные показатели (для диагностируемых узлов и деталей):

степень расходования ресурса элемента машины $K_{рес} = (X_{нач} - X_{тек})/(X_{нач} - X_{пред})$, где $X_{нач}$ — начальное значение диагностируемого параметра (ДП); $X_{тек}$ — текущее значение ДП; $X_{пред}$ — предельное значение ДП;

остаточный ресурс i-го элемента машины $t_{ост\ i} = t_{сл\ i}/(1 - k_{рес})$, где $t_{сл\ i}$ — срок службы *i*-го элемента машины.

Для расчета указанных показателей требуется следующая информация: продолжительность и трудоемкость (по времени) выполнения плановых мероприятий технического обслуживания и ремонта (ТОиР); наработка на отказ систем, подсистем и более мелких элементов машины; продолжительность восстановления этих элементов после отказа; результаты диагностирования.

2. Показатели затрат на обеспечение работоспособности машин.

Удельные затраты ресурсов на единицу объема выполненной работы (руб./машино-час, руб./м^3, руб./т-км и пр.)

$$З_{уд} = З_{год}/V_{год},$$

где $З_{год}$ — годовые затраты на эксплуатацию машины; $V_{год}$ — показатель годового объема работ в натуральных единицах (машино-часы, м^3, т-км и т. п.)

Для расчета показателей п. 2 нужны следующие данные: объем выполненной работы (машино-часы, м^3, т-км и пр.) за отчетный период; затраты ресурсов (запчасти, материалы, амортизация оборудования и других объектов ОПФ, трудоемкость, энергия, накладные расходы и пр.) на проведение плановых мероприятий ТОиР; затраты времени и других ресурсов на восстановление работоспособности внезапно отказавших машин, узлов, и сопряженные потери вследствие простоев; данные по ресурсам — перечень оборудования, передвижных ремонтных мастерских и других объектов ОПФ, состав рабочих и ИТР; информация о работоспособности отремонтированных машин (наработка на отказ, степень снижения производительности, управляемости после восстановления).

3. Показатели функционирования ремонтной службы

3.1. Оценка плановых мероприятий ТОиР:

полнота выполнения i-го мероприятия ТО и Р $K_{ТОР\ i} = n_{норм\ i}/n_{ф\ i}$, где $n_{норм\ i}$, $n_{ф\ i}$ — количество нормативных и фактически выполненных операций *i*-го мероприятия ТОиР;

степень отклонения о графика $T_{откл\ i} = [\Sigma(Д T_{ТОР\ i}/T_{ТОР\ i})]/\ \Sigma n_{ТОР\ i}$, где $\Delta T_{ТОР\ i}$ — величина отклонения по времени от момента планового проведения *i*-го мероприятия ТОиР; $T_{ТОР\ i}$ — плановая (нормативная) периодичность проведения *i*-го мероприятия ТОиР; $\Sigma n_{ТОР\ i}$ — суммарное количество плановых мероприятий ТОиР за рассматриваемый период;

степень обеспеченности i-м ресурсом (запчасти, оборудование, материалы, квалифицированные кадры, помещения и пр.), $k_{рес\ i} = n_{норм\ i}/n_{ф\ i} n_{норм\ i}$, где $n_{норм\ I} n_{ф\ i}$ — нормативное и фактическое количества *i*-го ресурса.

3.2. Оценка оперативности восстановления работоспособности после внезапных отказов и аварий:

среднее время восстановления $t_{в\ ср} = \Sigma t_{в\ i}/n_{в}$, где $\Sigma t_{в\ i}$ — сумма продожительностей восстановления после внезапных отказов за рассматриваемый период; $n_{в}$ — количество восстановлений после внезапных отказов за рассматриваемый период;

затраты ресурсов на восстановление $З_{рес} = \Sigma З_{рес\ ij}$, где $З_{рес\ ij}$ — затраты *i*-го ресурса на *j*-м восстановлении.

Для расчета показателей п. 3 требуется информация о проведении ТОиР.

Построение систем производственной и технической эксплуатации должно производиться оптимальным образом для каждого предприятия в зависимости от количества техники, развитости ремонтной службы. Практическое использование приведенной системы показателей позволит сравнивать варианты построения эксплуатации и будет способствовать выбору оптимального варианта.

Использование разработанной системы показателей позволит существенно повысить эффективность эксплуатации транспортных и технологических машин лесного хозяйства за счет дискретного подхода к управлению производственной и технической эксплуатацией.

Результаты анализа динамики показателей отдельных машин по времени можно применять для корректировки планов использования машин, проведения мероприятий ТОиР, расчетов потребности в запчастях и материалах, определения оптимальных сроков проведения капитальных ремонтов и списания техники.

Расчет показателей основан на сборе и обработке большого количества эксплуатационной информации, что возможно только при условии внедрения на предприятиях лесопромышленного комплекса современных автоматизированных информационных систем управления эксплуатацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Игнатов, В.И.** Научные основы формирования стратегии технического обслуживания и ремонта лесных машин [Текст] / В.И. Игнатов.— М.: Изд-во МГУЛ, 2000. — 336 с.

2. **Кузнецов, Е.С.** Управление технической эксплуатацией автомобилей [Текст] / Е.С. Кузнецов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1990.— 272 с.

3. **Прудовский, Б.Д.** Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям [Текст] / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. — М.: Транспорт, 1990. — 240 с.

УДК 669.054.03

М.Б. Латышенок, А.В. Шемякин,
Н.М. Тараканова, И.В. Конов

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОЕЧНОГО УСТРОЙСТВА АБРАЗИВНО-КАВИТАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

На поверхности сельскохозяйственной машины в процессе эксплуатации скапливаются различные виды загрязнений, имеющие различные физические свойства, и поэтому для их удаления требуется универсальная моечная машина, способная создать различные режимы очистки, от самых мягких до самых жестких.

Нами была разработана конструкция универсального моечного устройства, позволяющая проводить очистку сельскохозяйственных машин на различных режимах.

На рис. 1 изображено разработанное устройство. Оно состоит из корпуса *1*, на переднем торце которого установлен конусный насадок с соплом *12*. В корпусе установлен золотник *2*, выполненный с продольными каналами *18* и снабженный полым конусом *11* на переднем торце и конусным стержнем *10* с закрепленной на нем втулкой-резонатором *16*. Корпус *1* неподвижно закреплен на рукоятке *5*, внутри которой проходит подводящий канал *4* с присоединенным штуцером *6* и двумя каналами *9* для выбора различных режимов очистки. На рукоятке устройства посредством оси *3* закреплен нажимной рычаг *7*, кинематически связанный через шток с золотником *2* и служащий для перехода устройства в кавитационный или струйный режим. На сопло конусного насадка *12* установлено кольцо *15* с радиальным отверстием и штуцером *13* с возможностью фиксации гайкой *14*.

Устройство работает следующим образом. Жидкость к устройству подается насосом высокого давления через подводящий шланг, прикрепленный к штуцеру *6*. При статическом положении рычага *7* жидкость по подводящему каналу *4*, далее через режимный канал Б поступает в пе-

реднюю полость конусной насадки *17*, откуда выбрасывается наружу, формируя струю. Устройство работает в струйном режиме очистки.

При нажатии на рычаг *7* золотник *2* перемещается вперед, перекрывая канал Б. Жидкость через канал А поступает в заднюю полость *8*, откуда через продольные каналы *18* золотника проходит в полость, образованную двумя конусами (полым *11* и конусом стержня *10*) и заканчивающуюся кольцевым каналом. При выходе из кольцевого канала жидкость, сформировавшаяся в виде кольца, попадает на втулку-резонатор *16*, в результате чего происходит резонансное возбуждение упругих элементов конструкции втулки *16* (лепестков). При резонансном возбуждении упругих лепестков втулка-резонатор служит источником ультразвука, под действием которого в жидкости образуются кавитационные пузырьки. В результате достигается режим акустико-кавитационного воздействия моечной жидкости на загрязненные поверхности машин.

Для участков машин с плотными и особо плотными загрязнениями предусмотрены режимы водо-абразивной и акустико-абразивной очистки.

Подача абразивно-воздушной смеси в сопло конусной насадки *12* осуществляется при совмещении радиальных отверстий кольца *15* и сопла через штуцер *13*. Фиксация кольца *15* осуществляется гайкой *14*. Золотник *2* в этом режиме абразивной очистки находится в стационарном положении. В этом случае абразивно-воздушная смесь подхватывается струей жидкости, разгоняется и, ударяя по загрязненной поверхности, увеличивает механическое воздействие на нее.

Для получения режима абразивно-кавитационной очистки рычагом *7* золотник *2* перемещается вперед, абразивно-воздушная смесь подается в поток жидкости, насыщенной кавитационными пузырьками, которые при схлопывании придают дополнительную энергию частичкам абразива.

Поскольку режимы струйной и кавитационной очистки достаточно изучены [1], дадим теоретическое обоснование режима абразивно-кавитационной очистки. Для этого условно сопло разработанной установки и зона очистки были разделены на несколько элементарных участков, представленных на рис. 2.

Участок А. На этом участке моечная жидкость под давлением, создаваемым насосом моечной установки, пройдя через канал и сформировавшись в виде кольца, попадает во втулку-резонатор, в результате чего происходит резонансное возбуждение упругих элементов конструкции втулки (лепестки). Втулка-резонатор становится источником ультразвуковых колебаний.

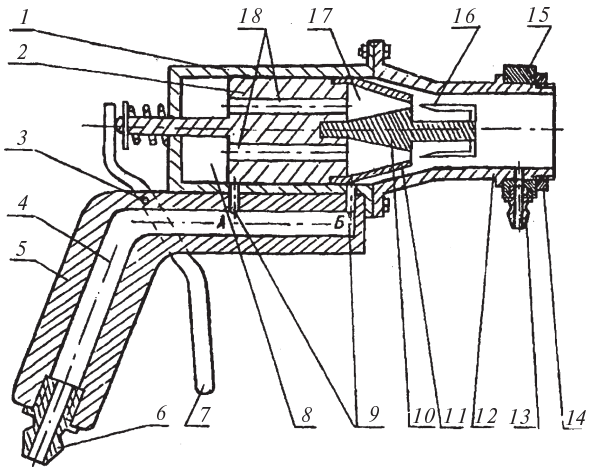


Рис. 1. Универсальное моечное устройство для очистки сельскохозяйственных машин

1 — корпус; *2* — золотник; *3* — ось; *4* — подводящий канал; *5* — рукоятка; *6* — штуцер; *7* — рычаг нажимной; *8* — задняя полость; *9* — распределительные каналы; *10* — стержень конусной; *11* — конус полый; *12* — сопло конусного насадка; *13* — штуцер; *14* — гайка фиксирующая; *15* — кольцо; *16* — втулка-резонатор; *17* — полость конусной насадки; *18* — продольные каналы золотника

На развитие и динамику пузырьков в значительной мере влияют параметры звукового поля (частота, продолжительность звукового воздействия, пространственное распространение интенсивности звука), а также, как показали ранее проведенные исследования, интенсивное развитие кавитационных пузырьков зависит от величины звукового давления [1].

Для определения зависимости величины звукового давления от параметров абразивно-кавитационного сопла было использовано уравнение Эйлера, описывающее процесс образования звуковых резонансных колебаний в струе моющей жидкости. Проведя соответствующие математические преобразования, получили величину звукового давления

$$P_{зв} = \frac{3V}{\omega_i l}\left[E + 2\rho V^2\right]\sin\omega_i t, \qquad (1)$$

где ρ — плотность жидкости; E — модуль объемной упругости жидкости, Па; l — расстояние между торцом сопла и втулкой-резонатором, м;

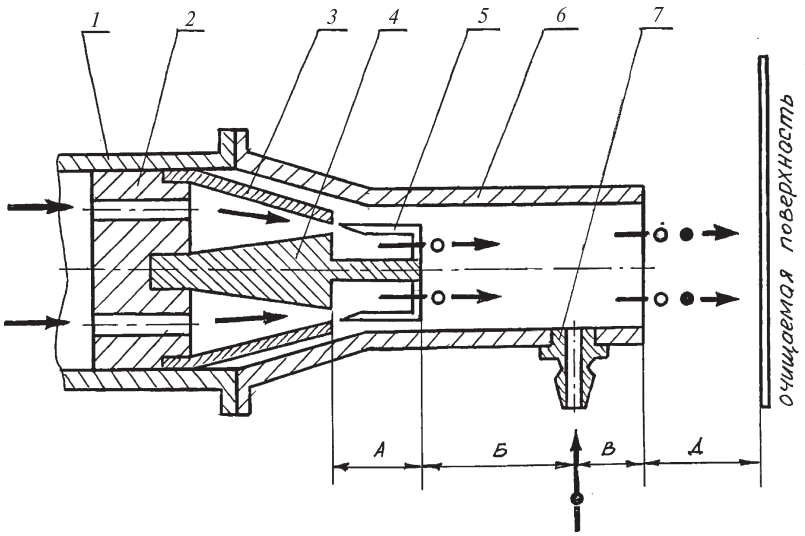


Рис. 2. Элементарные участки А, Б, В, Д образования абразивно-кавитационной струи: —▶ — моечная жидкость; —○▶ — моечная жидкость с кавитационными пузырьками; —●▶ — абразив; —○●▶ — абразивно-кавитационная струя

1 — корпус; *2* — золотник; *3* — конус полый; *4* — стержень конусной; *5* — втулка-резонатор; *6* — сопло конусного насадка; *7* — штуцер

V — скорость потока жидкости м/с; ω_i — частота звуковых колебаний 1/с в струе жидкости.

Участок Б. На границах этого участка давление моечной жидкости остается постоянным, так как образовавшиеся на участке А кавитационные пузырьки в силу своей инертности начинают схлопываться за пределами границ участка Б: $P_0 = P_Б = \text{const}$.

Участок В. На этом участке в поток моечной жидкости, насыщенной кавитационными пузырьками, в сопло конусной насадки *12* через штуцер *13* (рис. 1) за счет разницы давлений $P_0 < P_{атм}$ по системе забора (рис. 3) подается абразивный материал.

Все частицы абразивного материала имеют форму, близкую к шару, одинаковый размер, между ними отсутствуют адгезионные связи. Тогда условие засасывания абразива в поток моечной жидкости может быть записано в следующем виде:

$$\Delta P \geq \frac{m_{АБ} g}{S_{АБ}}, \qquad (2)$$

где ΔP — разность между атмосферным давлением $P_{атм}$ и давлением в сопле конусной насадки P_0, Па,

$$\Delta P = P_{атм} - P_0; \qquad (3)$$

$m_{АБ}$ — масса абразивной частицы, кг; $S_{АБ}$ — площадь сечения абразивной частицы, м^3.

Проведя соответствующие преобразования, получаем, что процесс всасывания абразивного материала и, как следствие его, насыщение потока моющей жидкости частицами абразива зависят от плотности выбранного абразивного материала, а также размеров сопла конусного насадка и всасывающей трубки:

$$\Delta P = \frac{4\rho_{АБ} RK}{3V_п^2}\left[1 - \left(\frac{\rho_{АБ} D_{АБ}^2}{\rho_ж D_ж^2}\right)^2\right], \qquad (4)$$

где $\rho_{АБ}$ — плотность частицы абразивного материала, кг/м^3; R — радиус частицы абразивного материала, м; $\rho_ж$ — плотность жидкости кг/м^3; $D_{АБ}$ — внутренний диаметр всасывающей трубки, м; $D_ж$ — внутренний диаметр сопла конусного насадка, м.

Участок Д. — участок, где моечная жидкость, насыщенная кавитационными пузырьками и частицами абразива, выбрасывается из сопла конусного насадка универсального моечного устройства в направлении очищаемой поверхности (рис. 4, *а*). Кавитационные пузырьки дви-

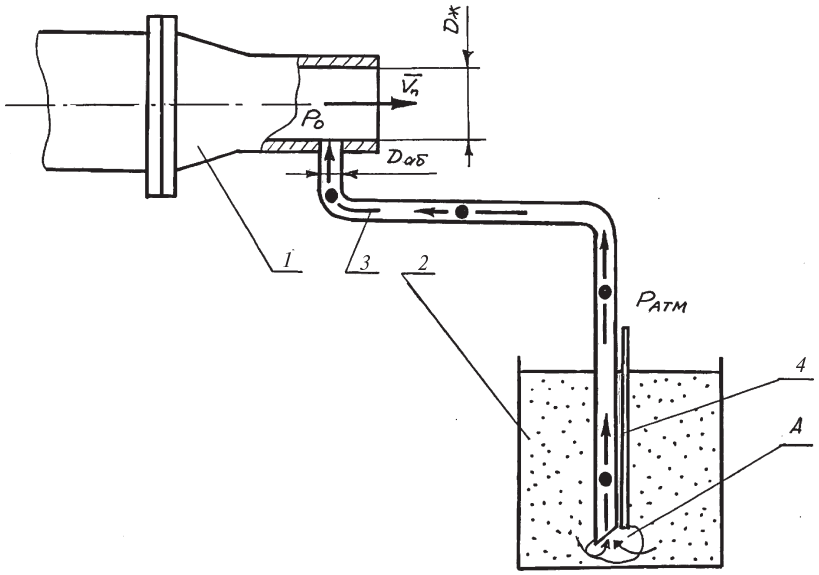


Рис. 3. Схема забора абразивного материала:
—•→ — движение частиц абразивного материала А — зона всасывания ($P_{атм}$);
1 — универсальное моечное устройство; *2* — резервуар с абразивным материалом;
3 — всасывающая трубка; *4* — воздушная трубка

жутся в потоке со скоростью $V_п$, и через определенный промежуток времени τ происходит возмущение поверхности пузырька из-за наличия градиента давления, направленного в сторону движения (рис. 4, *б*). При этом происходит образование кумулятивной микроструйки жидкости, вызванное деформацией пузырька в процессе схлопывания (рис. 4, *в*). Образующиеся микроструйки прошивают пузырек вакуума со скоростью $\bar{V}_к$, которая на несколько порядков превышает скорость движения потока моечной жидкости $\bar{V}_п$ [2], и дополнительно разгоняют частицу абразивного материала.

Эффективная очистка поверхности сельскохозяйственной машины может быть достигнута, если поверхность будет находиться за пределами зоны интенсивного схлопывания пузырьков. Минимальное расстояние до границы зоны интенсивного схлопывания пузырьков определяется выражением

$$S_{\min} = 0,4575 V_п R_к D \sqrt{\frac{\rho_ж \pi}{F_0}}, \qquad (5)$$

где $S_{\min}$ — минимальное расстояние от сопла до начала зоны интенсивного схлопывания кавитационных пузырьков, м; $R_к$ — радиус кавита-

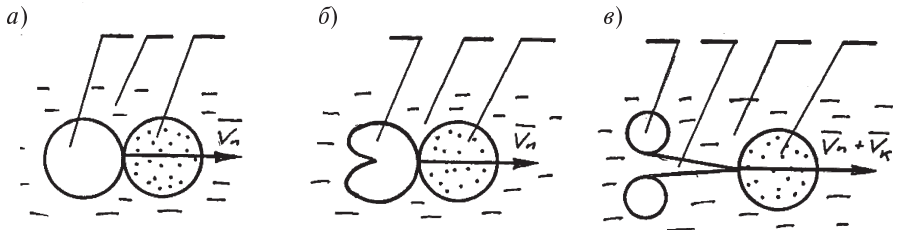


Рис. 4. Процесс схлопывания кавитационного пузырька:
а) выход абразивно-кавитационной струи из сопла; *б*) начало возмущения кавитационного пузырька; *в*) — образование кумулятивной микроструйки
1 — кавитационный пузырек; *2* — абразивная частица; *3* — моечная жидкость;
4 — кумулятивная микроструйка

ционного пузырька, м; D — диаметр выходного отверстия сопла универсального моечного устройства, м.

Анализируя полученное выражение, можно заключить, что на величину начала интенсивного схлопывания кавитационных пузырьков влияет диаметр выходного отверстия сопла конусной насадки универсального моечного устройства, за счет которого может быть изменено расстояние между соплом и очищаемым объектом.

Оптимизация параметров абразивно-кавитационной струи позволит повысить производительность разработанного устройства, снизить энерго- и трудоемкость моечного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Розенберг, Л.Д.** Мощные ультразвуковые поля [Текст] / Л.Д. Розенберг. — М.: Наука, 1968. — 347 с.

2. **Федоткин, И.М.** Использование кавитации в технологических процессах [Текст] / И.М. Федоткин. — Киев, 1984. — 124 с.

3. **Тельнов, Н.Ф.** Технология очистки сельскохозяйственных машин [Текст] / Н.Ф. Тельнов. — М.: Колос, 1983. — 45 с.

УДК 669.293:621.77.2

Я.М. Виторский, А.И. Рудской, О.П. Шаболдо

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЖАРОПРОЧНОГО НИОБИЕВОГО СПЛАВА МАРКИ ЛН-1 ПРИ ПРОКАТКЕ

Сплав ЛН-1 (Нб10В5МЦУ), один из самых жаропрочных отечественных сплавов на основе ниобия, достаточно успешно применяется в качестве пружинного материала [1]. Актуальны проблемы получения полуфабрикатов различных сечений из данного сплава, формирования структуры и обеспечениях необходимого уровня механических, технологических, служебных свойств материала.

Известно, что характеристики материала определяются термомеханическими режимами его обработки и создаваемой при этом структурой [2–5]. Основной вклад в формирование структуры вносит пластическая деформация [6], однако при разработке технологии и освоении производства деформируемых полуфабрикатов из жаропрочных высоколегированных ниобиевых сплавов возникает ряд проблем. Сплавы данной группы (F-48, D-43, As-30 10В2МЦ, ЛН-1), легированные такими элементами, как вольфрам, молибден, цирконий и т. д., приближаются по деформируемости к вольфрамовым сплавам, а сплавы F-48, As-30 и ЛН-1 деформируются даже хуже, чем сплавы вольфрама типа В-13. Таким образом, сложнолегированные сплавы на основе ниобия, в том числе и ЛН-1, относятся к труднодеформируемым и требуют высоких температур нагрева при пластической обработке. В связи с этим первичную деформацию слитков из сплава ЛН-1 осуществляют горячей экструзией. В то же время ниобиевые сплавы обладают низкой жаростойкостью, поэтому либо нуждаются в защите от газонасыщения при высокотемпературной обработке, либо требуют снижения температуры деформирования. Сплав ЛН-1 после экструзии обладает вполне достаточной деформируемостью, что позволяет проводить вторичную деформацию при более низких температурах, т. е. в интервале температур теплой деформации.

Вопросам теплой деформации сплава ЛН-1, отработке технологических параметров производства полуфабрикатов, исследованию формирования структуры и свойств сплава при прокатке посвящена настоящая статья.

Методика эксперимента

В качестве исходных заготовок использовали экструдированные прутки диаметром 70–75 мм. Деформирование сплава проводили на прокатных станах ДУО-350 и ДУО-600, трехвалковом стане МК-450. Нагрев заготовок под деформацию осуществляли в газовой или мазутной печи.

Механические свойства исследовали в различных состояниях в диапазоне температур хладноломкости на стандартных пятикратных образцах. Испытания на растяжение проводили на машине ИМ-4Р. Скорость испытания составляла 1 мм/мин. Температуру хладноломкости прутков оценивали по результатам испытаний на растяжение при температурах от –100 до 200 °С. Механические свойства сплава ЛН-1 оценивали по результатам 3–7 испытаний.

Исследования тонкой структуры сплава проводили на фольгах методами трансмиссионной электронной микроскопии в просвечивающем микроскопе JEM-100CX. Заготовки для фольг нарезали электроискровым способом, после чего утоняли шлифовкой и полировкой до толщины 100 мкм. Окончательную электрополировку проводили при температуре 20 °С в электролите состава 90 % H_2SO_4 + 10 % HF.

Плотность дислокаций определяли по формуле $c = 3M/Wt$, где c — плотность дислокаций, M — увеличение фотографии изображения, W — ширина светлых участков на изображении, t — толщина фольги.

Прокатка прутков

Наиболее рациональный способ производства прутков из сплавов тугоплавких металлов — прокатка в калибрах, причем в системе калибров "овал—квадрат". Ее преимуществом является то, что в процессе прокатки полоса многократно кантуется: на 45° перед задачей в овальный калибр и на 90° перед задачей в квадратный калибр. При этом происходит постоянное изменение плоскостей скольжения и обновление ребер в прокатываемой полосе, что способствует более равномерному распределению температуры по сечению заготовки [7]. Применение системы калибров "ромб—квадрат" или "ромб—ромб" для прокатки труднодеформируемых материалов нежелательно, поскольку деформация в них осуществляется по двум взаимно перпендикулярным плоскостям, что способствует образованию деформационного "креста" и приводит к разрушению заготовок при прокатке. Использование же более мягкой системы калибров "овал—круг" требует применения жестких проводок для предотвращения сворачивания полосы. В случае жаропрочных материалов, к которым относится сплав ЛН-1, при больших сечениях заготовок задать обычно немного искривленную полосу в такую проводку не представляется возможным. Кроме того, при прокатке прутков в данной системе возникают затруднения при захвате овальной полосы в круглом калибре.

Следует отметить, что при прокатке тугоплавких металлов и сплавов очень часты случаи разрушения подката, что связано с неравномерностью деформации по его сечению. Причем степень неравномерности зависит от геометрических параметров очага деформации. Для выявления взаимосвязи между технологическими параметрами прокатки (параметры очага деформации) и случаями разрушения подкатов в нашей работе на стане ДУО-350 проведена серия опытных прокаток из прутков диаметром 40, 45, 50 и 55 мм. Прокатку проводили в системе калибров "овал—квадрат" при температуре 1250±25 °С, т. е. ниже температуры рекристаллизации сплава. Нагрев заготовок под прокатку осуществляли в мазутной печи. Результаты исследований показали, что определяющим фактором является диаметр d заготовки, а именно его отношение к диаметру D валка — d/D. На стане ДУО-350 без разрушения проходила прокатка заготовок диаметром не более 45 мм ($d/D \le 0{,}13$). При прокатке заготовок из сплава ЛН-1 диаметром более 45 мм происходили типичные для тугоплавких сплавов "раскрытия" прутков по вертикальной оси, как правило в "квадрате" (рис. 1). Данные разрушения происходили из-за несоответствия размеров прокатываемого материала диаметру прокатных валков, причем именно в квадратных калибрах. Это вызвано тем, что высота задаваемой в " квадрат" полосы (овала) больше, чем в случае овальных калибров. Таким образом, неравномерность распределения деформации по сечению подката при прокатке в "квадрате", а следовательно, и возникающие внутренние напряжения выше, чем при прокатке в "овале".



Рис. 1. Разрушение в квадратном калибре подката из сплава ЛН-1 ($d/D = 0{,}14$)

С учетом полученных результатов проведена отработка режимов прокатки прутков диаметром 30 мм из заготовок диаметром 70—75 мм на стане ДУО-600 в условиях ОАО "Полема".

По методу соответственной полосы рассчитана специальная калибровка системы "овал—квадрат", в которой разовые вытяжки подкатов были максимально возможными по условию захвата металла валками. Прокатку прутков на стане ДУО-600 проводили при температуре 1250±25 °С. Нагрев заготовок и подогрев подкатов осуществляли в газовой печи. Как показали результаты выпуска опытно-промышленных партий катаных прутков диаметром 30 мм, при прокатке заготовок диаметром 75 мм на стане

ДУО-600 с валками диаметром 600 мм (d/D = = 0,125) в рассчитанных калиброванных валках обеспечивается 97–99 % заполнения калибров, гарантируется захват металла валками на всех проходах и исключаются случаи разрушения подкатов. Исследования шлифов поперечных сечений показали отсутствие внутренних трещин. Дальнейший передел на диаметры 24, 20 и 17 мм в промышленных условиях (ОАО "Полема") проводили на трехвалковом стане МК-450 в калибровке системы "треугольник—круг". Нагрев материала осуществляли при T = 1250±25 °С на диаметрах 30, 24 в 20 мм перед каждым проходом в треугольном калибре.

Формирование структуры и свойств в процессе теплой деформации

Для исследования формирования механических свойств и структуры сплава в процессе деформации при температуре 1250±25 °С проведена прокатка заготовок диаметром 75 мм на прутки различных диаметров со степенями деформации 25–97 %. Прокатка проводилась с частыми подогревами (через 2–3 прохода). Результаты испытаний механических свойств прутков в интервале температур перехода из хрупкого состояния в пластичное представлены на рис. 2. На рис. 3 приведена зависимость температуры хладноломкости T_x от степени деформации ε, построенная по критерию δ ≥ 15 % (т. е. значение относительного удлинения δ при испытаниях на растяжение не менее 15 %); там же показано изменение механических свойств сплава с ростом степени деформации. На начальных стадиях прокатки со степенями деформации до ε = 25 % наблюдается повышение T_x и прочности, а также некоторое снижение пластичности материала (см. рис. 3). Затем в широком интервале степеней деформации (ε = 25–65 %) механические свойства и T_x практически не меняются. Дальнейшее увеличение степени деформации (более 65 %) приводит к резкому понижению температуры хладноломкости вплоть до отрицательных значений и одновременно к существенному приросту прочностных характеристик (см. рис. 3). Более значительный прирост предела прочности по сравнению с пределом текучести связан с упрочнением материала в процессе механических испытаний на растяжение с большими относительными удлинениями (деформациями) при температуре выше T_x.

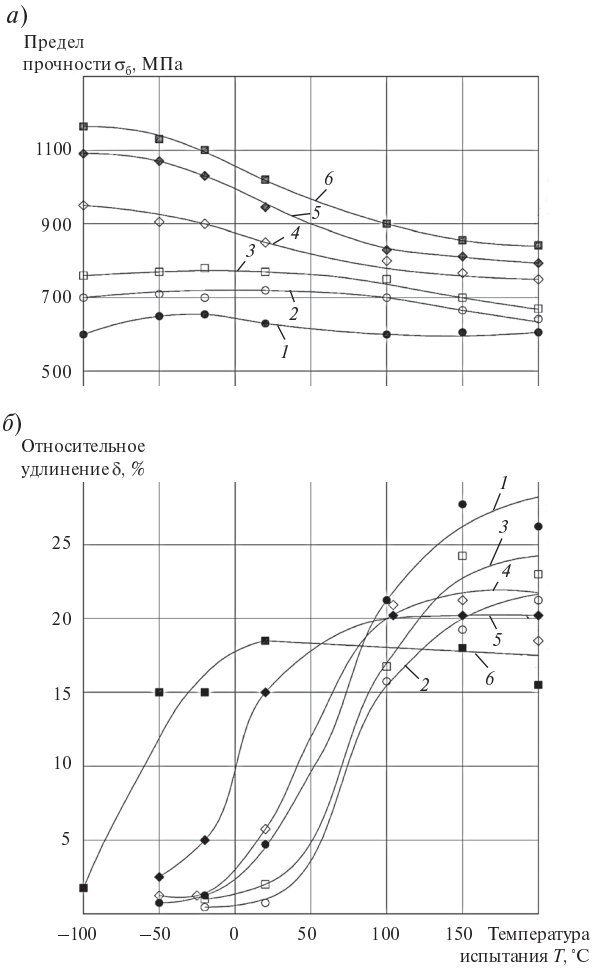


Рис. 2. Зависимость механических свойств катаных прутков от температуры испытаний и степени теплой деформации (*1* — 0; *2* — 25 %; *3* — 64 %; *4* — 76 %; *5* — 90 % и *6* — 97 %)

Описанные выше особенности поведения сплава ЛН-1 и вид зависимостей механических свойств и T_x от степени теплой деформации характерны для ОЦК металлов и исследованы в серии работ В.И. Трефилова, Я.М. Виторского, Ю.В. Мильмана и др. [2–4, 8, 9]. В этих работах особенности формирования механических свойств материалов авторы связывают с эволюцией дислокационной структуры. В соответствии с [4, 8, 9] упрочнение материала на начальной стадии деформации при теплой ($(0,3\,T_{пл} \le T_{деф} \le (0,5–0,6)\,T_{пл}$, где $T_{пл}$ — температура плавления, К, [8]) прокатке малолегированных сплавов молибдена обусловлено ростом плотности хаотически распределенных дислокаций и соответственно ростом внутренних напряжений, что приводит к повышению T_x. При теплой прокатке

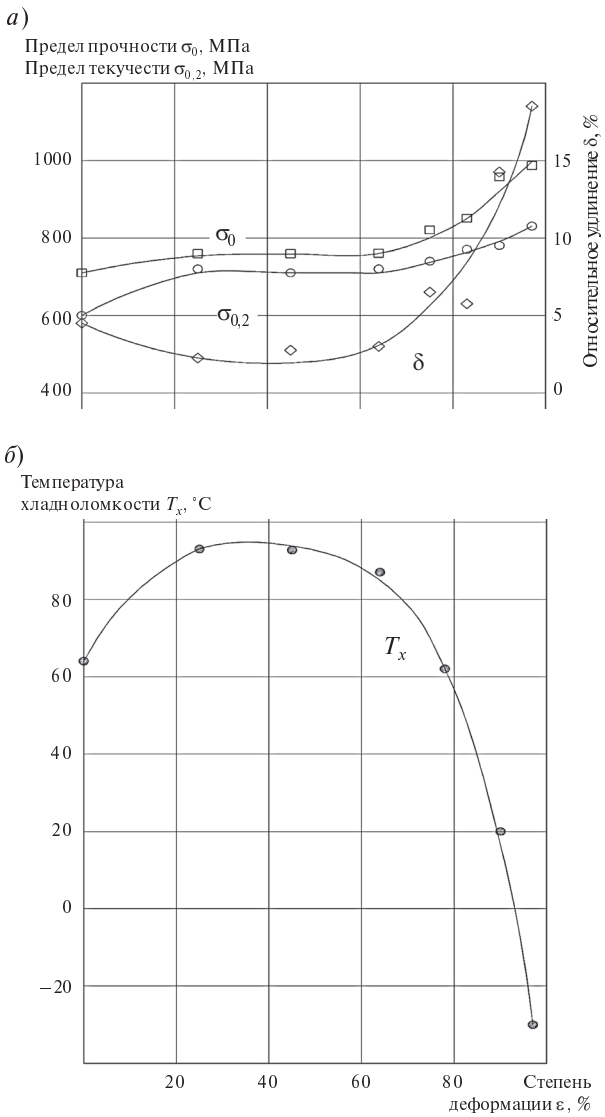


Рис. 3. Зависимость механических свойств (*а*) и температуры хладноломкости (*б*) катаных прутков от степени теплой деформации ε

со средними степенями деформации создается так называемая промежуточная структура, т. е. формируется слаборазоориентированная ячеистая структура. Дальнейшее повышение степени деформации приводит к формированию сильно разориентированной равноосной ячеистой структуры с углами разориентировки θ порядка 5–20°, при которых границы между соседними ячейками обладают свойствами межзеренных большеугловых границ. При этом существенно уменьшается эффективный размер зерна $d_{эф}$ (эффективная длина плоскости скольжения), что приводит к резкому снижению температуры хладноломкости с одновременным упрочнением материала (вследствие непроницаемости таких границ для свободных дислокаций) [4].

Следует отметить, что в области температур теплой деформации различают верхний и нижний интервалы [8]. Для нижнего интервала температур теплой деформации (0,3 $T_{пл}$) характерна неравномерная вытянутая ячеистая структура с высоким уровнем напряжений, связанных с наличием дислокаций на широких несовершенных границах между ячейками. Для верхнего интервала температур теплой деформации ((0,5–0,6) $T_{пл}$) характерна равноосная или слабонеравноосная структура с совершенными границами между ячейками. Подобные закономерности были выявлены также на хроме и других ОЦК металлах.

Обычно различают два этапа формирования ячеистой структуры при пластической обработке металлических материалов в верхнем интервале температур теплой деформации [8]. На первом этапе скольжение дислокаций при взаимодействии со стопорами приводит к появлению клубковых сплетений и впоследствии к зарождению широких несовершенных границ ячеек. На втором — происходят аннигиляция дислокаций и полигонизационные процессы (при условии достаточно высокой температуры деформации с частыми промежуточными подогревами), вследствие чего границы ячеек сужаются. Скорость второго этапа возрастает с повышением энергии дефектов упаковки. В металлах VI А группы (Mo, W, Cr) с высокой энергией дефектов упаковки второй этап формирования ячеистой структуры может идти одновременно с первым. В металлах VA группы (Nb, V, Ta), у которых энергия дефектов упаковки ниже, эти этапы могут быть существенно разделены во времени, вследствие чего формирование разориентированной ячеистой структуры завершается позже, чем, например, в случаемолибдена.

Как показали результаты наших исследований, структура катаных при температуре $T_{пр}$ = = (0,50–0,55) $T_{пл}$ полуфабрикатов из жаропрочного высоколегированного ниобиевого сплава ЛН-1 и ее эволюция при теплой деформации скорее подчиняются закономерностям, описанным в работах [2–4, 8, 9]. На начальной стадии деформации происходит рост плотности дислокаций и образование при ε ≈ 25 % дислокационных клубковых скоплений (рис. 4, *а*). В результате

таких структурных изменений растут внутренние напряжения, что приводит к незначительному повышению прочности и $T_х$ и снижению пластичности материала. Дальнейшая деформация до ε = 46 % сопровождается ростом плотности дислокаций до $\rho = 10^{10}$см$^{-2}$ (рис. 4, *б*), что, однако, не приводит к заметным изменениям прочностных и пластических свойств сплава и его $T_х$ (см. рис. 3). По-видимому, рост плотности дислокаций сопровождается полигонизационными процессами, приводящими к формированию дислокационных границ ячеек и снижению уровня напряжений на них. При этом, необходимо отметить, описанные структурные изменения не приводят к сколь-нибудь значительной разориентации между соседними областями кристаллита. Переход к более высоким степеням деформации (ε = 64 %) приводит к формированию более выраженной полигонизованной структуры с совершенными границами ячеек. Плотность дислокаций внутри ячеек значительно снижается (рис. 4, *в*). При дальнейшей прокатке (ε = = 97 %) внутри данных ячеек создается собственная субструктура, состоящая из группы равноосных мелких (диаметром 300–500 нм) ячеек (рис. 4, *г*). Причем разориентировки между полигонизованными ячейками достигают 15–25°[4]. Формирование в процессе теплой прокатки с большим количеством подогревов при температурах (0,50–0,55) $T_{пл}$ таких полигонизованных структур

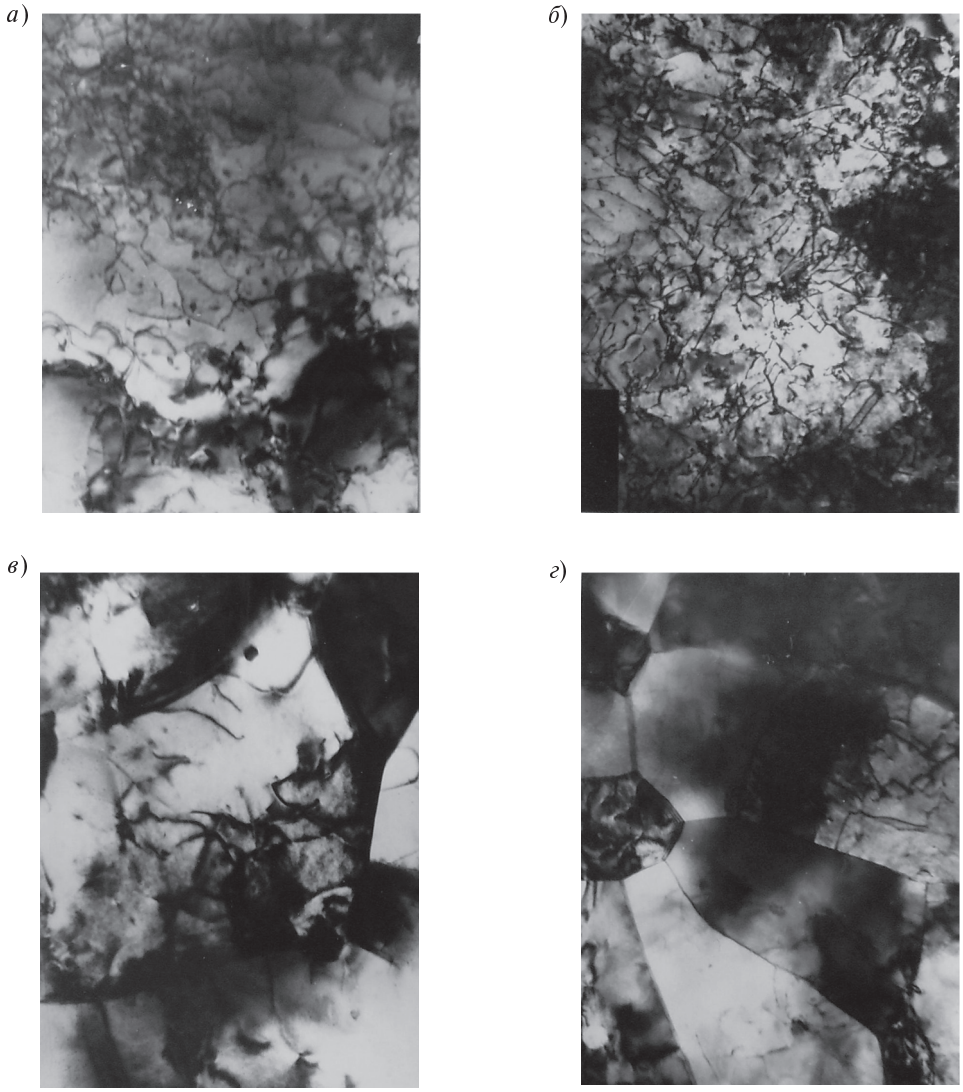


Рис. 4. Изменение структуры сплава ЛН-1 в процессе теплой прокатки при $T_{пр}$ = (0,50–0,55) $T_{пл}$: *а* — ε = 25 %; *б* — ε = 46 %; *в* — ε = 64 %; *г* — ε = 97 %

с высокоугловыми границами обусловливает значительное упрочнение сплава и стремительное снижение T_x в интервале деформаций ε = = 65–97 %.

В то же время в работе В.В. Рыбина [10] приведены экспериментальные данные о значительных разориентировках (до 40°) между отдельными ячейками в поликристаллическом молибдене с высокими деформациями. Автор считает, что большеугловые границы между ячейками не могут иметь полигонизационную природу и быть объяснены в рамках дислокационных механизмов деформации. Процесс формирования сильноразориентированной структуры автор называет фрагментацией, а границы фрагментированной структуры считает поверхностью прохождения частичных дисклинаций. Такой механизм пластической деформации реализуется при больших обжатиях (в условиях развитой пластической деформации [10,11]) посредством пластических поворотов участков кристаллита, вызванных движением по нему дисклинаций. Особенной склонностью к фрагментации обладают ОЦК металлы. Именно образование фрагментированной структуры в процессе теплой деформации молибденовых сплавов приводит к одновременному упрочнению и снижению T_x материала при больших деформациях. В то же время общепризнанной считается преемственность структурных состояний, т. е. каждое состояние зарождается в недрах предыдущего, и однородная фрагментированная структура возникает на фоне ячеистой структуры [6, 12, 13]. Следует отметить, что фрагментация характерна для широкого температурного режима деформирования, но не выше $0{,}4T_{пл}$ [13]. Таким образом, с большой уверенностью можно утверждать, что в нашем случае образующаяся тонкая структура сплава ЛН-1 обусловлена условиями деформации. Прокатка при достаточно высоких температурах ($(0{,}50–0{,}55)\ T_{пл}$) с большим количеством подогревов с высокими деформациями приводит к формированию ячеистой структуры, имеющей дислокационную природу. Надо отметить, что при переходе на круге 30 мм на 3-х валковый стан МК-450, что соответствует степени суммарной деформации 84 % и выше, на каждом круге (30 и 24 мм) осуществляется полноценный нагрев прутков — фактически отжиг.

Следует отметить, что в случае сплава ЛН-1 характер приведенных зависимостей механических свойств и T_x, формирования тонкой структуры и поведение сплава в процессе деформации типичны для молибдена и его сплавов, что вызвано высоким уровнем легирования сплава ЛН-1 элементами VIA группы. Однако наличие достаточно широкого интервала суммарных степеней деформации, в котором не изменяются существенно механические свойства и T_x материала, формирование ячеистой структуры при деформации со степенью более 64 %, после чего начинается вторая стадия упрочнения с одновременным повышением пластичности и резким снижением T_x, обусловлены ниобием, металлом VA группы с более низкой энергией дефекта упаковки, являющимся основой твердого раствора.

Выводы сделанные по результатам нашего исследования:

1. В процессе теплой прокатки с высокими степенями деформации при температуре $(0{,}50–0{,}55)\,T_{пл}$ с частыми подогревами в сплаве ЛН-1 формируется ячеистая полигонизованная структура с большой протяженностью высокоугловых границ. Эволюция дислокационной структуры сплава в процессе теплой прокатки определяет немонотонный характер зависимости температуры хладноломкости от степени деформации, повышение пластичности и прочности, существенное снижение температуры хладноломкости сплава в области больших степеней деформации.

2. Характер зависимостей механических свойств и T_x жаропрочного сплава ЛН-1 на основе ниобия (VA группа) от степени деформации в процессе теплой прокатки при температуре $(0{,}50–0{,}55)\,T_{пл}$ принципиально не отличаются от аналогичных закономерностей для сплавов на основе металлов VIA группы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виторский, Я.М.** Термомеханически упрочняемые высокопрочные и жаропрочные пружинные материалы [Текст] / Я.М. Виторский, О.П. Шаболдо, Е.А. Караштин // Тр. Междунар. научно-техн. конф. "Современные металлические материалы и технологии "СММТ, 2009".— СПб., 2009.— С. 483–484.

2. **Виторский, Я.М.** Влияние степени пластической деформации на структуру и свойства низколегированного молибдена [Текст] / Я.М. Виторский, Р.К. Иващенко, С.Н. Каверина и др. // ФММ.— 1973. Т. 35, № 5.— С. 1064–1074.

3. **Трефилов, В.И.** Структура, текстура и механические свойства деформированного молибдена [Текст] / В.И. Трефилов, Ю.В. Мильман, Р.К. Иващенко и др.— Киев.: Наукова думка, 1983.— 232 с.

4. **Трефилов, В.И.** Физические основы прочности тугоплавких металлов [Текст] / В.И. Трефилов, Ю.В. Мильман, С.А. Фирстов.— Киев.: Наукова думка, 1975.— 315 с.

5. **Коджаспиров, Г.Е.** Роль мезоструктуры при термомеханической обработке металлических материалов [Текст] / Г.Е. Коджаспиров, В.В. Рыбин, Х. Апостолопоулос.— МиТОМ.— 2007. № 1.— С. 30–34.

6. **Коджаспиров, Г.Е.** Физические основы и ресурсосберегающие технологии изготовления изделий пластическим деформированием [Текст] / Г.Е. Коджаспиров, А.И. Рудской, В.В. Рыбин.— СПб.: Наука, 2006.— 350 с.

7. **Рудской, А.И.** Теория и технология прокатного производства [Текст] / А.И. Рудской, В.А. Лунев.— СПб.: Наука, 2005.— 540с.

8. **Мильман, Ю.В.** Структурные аспекты теплой и холодной деформации кристаллических материалов [Текст] / Ю.В. Мильман.— МиТОМ.— 1985. № 6.— С. 2–6.

9. **Виторский, Я.М.** Структурные изменения при деформации поликристаллического малолегированого молибдена [Текст] / Я.М. Виторский, Ю.Е. Зубец, С.Н. Каверина и др.— ФММ.— 1972. Т. 33, № 4.— С. 831–840.

10. **Рыбин, В.В.** Большие пластические деформации и разрушение металлов [Текст] / В.В. Рыбин.— М.: Металлургия, 1986.— 224 с.

11. **Рыбин, В.В.** Закономерности формирования мезоструктур в ходе развитой пластической деформации [Текст] / В.В. Рыбин // Вопросы материаловедения.— 2002. № 1.— С. 11–33.

УДК 54.057; 546.56-121

Т.С. Кольцова, А.Г. Насибулин, О.В. Толочко

НОВЫЕ ГИБРИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: МЕДЬ — УГЛЕРОДНЫЕ НАНОВОЛОКНА

Порошковые материалы типа медь—графит широко известны и используются в основном в качестве антифрикционных либо для скользящих электрических контактов. [1] Однако они имеют довольно малый срок службы, невысокую износостойкость и твердость поверхности. Один из возможных способов улучшения их свойств — создание композиционных материалов на основе углеродных нанотрубок или нановолокон [2–8]. Однако проблема приготовления хорошей дисперсии наноуглеродных материалов в металле существенно осложняет эту задачу. Углеродные нановолокна (УНВ) и углеродные нанотрубки (УНТ) при контакте образуют прочные пучки, которые разделить удается лишь путем многоэтапных и трудоемких процессов кислотной функционализации, ультразвуковой обработки, перемешивания с металлом и последующего испарения жидкости. К сожалению, эта проблему невозможно решить путем тщательного перемешивания наноматериалов и меди.

В данной статье мы предлагаем новый подход для создания хорошей дисперсии УНТ и УНВ в металле — синтез углеродных наноструктур непосредственно на поверхности медных частиц путем химического осаждения из газовой фазы без какой-либо предварительной дополнительной обработки металла. Этот метод позволил нам получить хорошо диспергированные углеродные наноструктуры в медной матрице, не прибегая к многоступенчатым процессам для равномерного диспергирования в металлической матрице.

Материалы и методика исследования

В качестве матрицы был использован медный порошок марки ПМС–1, который в данном случае выступает в роли катализатора. Химический состав медного порошка в % (≤) следующий:

Cu	99,5
Fe	0,108
Pb	0,50
As	0,003

Sb	0,005
O_2	0,2
SO_4^{-2}	0,01
Прокаленный остаток	0,04
Влага	0,05

Синтез УНТ и УНВ осуществлялся методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) при атмосферном давлении. В качестве источника углерода был выбран ацетилен в связи с его невысокой температурой разложения. Синтез УНТ/УНВ проводили следующим образом: керамическую лодочку с медным порошком помещали в проточный реактор и нагревали до температуры синтеза в атмосфере аргона. После этого аргон замещался водородом для восстановления поверхности частиц. Через 5 мин в реактор добавлялся ацетилен. После определенного времени синтеза (5, 10, 15 или 20 мин) водородно-ацетиленовый поток замещался аргоном и образец перемещался в холодную зону реактора для охлаждения в течение 10–20 мин.

Компактирование образцов проводилось методом одноосного прессования с различным давлением в интервале от 70 до 1000 МПа и последующего спекания при температуре 950 °С в течение часа. Для исследования были приготовлены образцы с содержанием углерода 1, 3, 5, 7 и 10 %. Для сравнения были также приготовлены образцы системы медь—графит (по ГОСТ 26719–85), полученные путем прямого смешивания коммерческих порошков меди и графита.

Электронно-микроскопические исследования проводились с помощью растрового (Leo DSM 982 Gemini и JEOL JSM-7500F) и просвечивающего (Philips CM200 FEG) электронных микроскопов. Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре D8 Advance Bruker, в CuKб (40 кВ, 40 мА) монохроматизированном излучении. Спектры комбинационного рассеивания были записаны при комнатной температуре при помощи монохроматического лазера YAG (532,25 нм, мощность 30 мВт) и CCD детектора. Термогравиметрический анализ был проведен в анализаторе Netzsch STA 449 C. Для ТГА использовались образцы чистого исходного порошка и образцы гибридного материала массой 12±1 мг. Для этого предварительно измельченный образец был нагрет в тигле из Al_2O_3 от комнатной температуры до 900 °С при скорости нагрева 10° С /мин и пропускании воздуха 40 $см^3$/мин.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Синтез углеродных наноматериалов на поверхности медных частиц проводился в диапазоне температур от 570 до 820 °С в течение 10 минут при соотношении водорода и ацетилена, равном 8,3/1. На рис. 1, *а* дано сравнение экспериментально наблюдаемого прироста массы с расчетным количеством выделившегося углерода в зависимости от температуры. Термодинамические расчеты проводились для ацетилено-водородной смеси при различном соотношении реагентов с использованием коммерческой программы FACT [9]. Результаты подтверждают, что при увеличении температуры масса выделившегося углерода некоторое время растет и близка

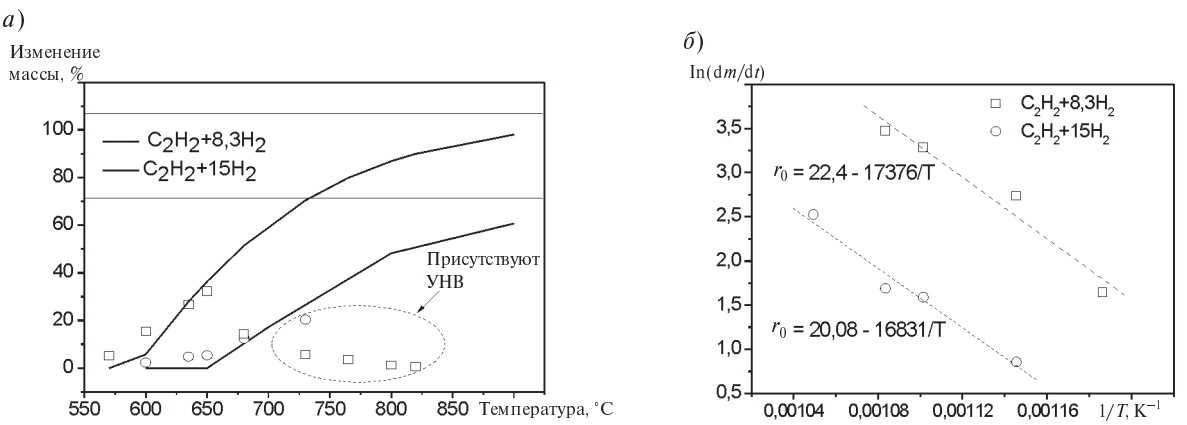


Рис. 1. Зависимости изменения массы образца от температуры синтеза при времени синтеза 10 мин (*а*) и логарифма скорости увеличения массы УНВ в течение 10 мин от величины, обратной температуре синтеза (*б*)

к термодинамическим расчетам, далее количество углерода уменьшается, т. е. при температурах меньше 650° С происходит практически полное каталитическое разложение ацетилена на поверхности медного порошка.

Изучение гомогенного распада ацетилена в газовой смеси показало, что при температурах выше 700° С начинается некаталитическое выделение углерода, сопровождающееся появлением аэрозольных частиц в газовой фазе (они наблюдались с помощью аэрозольного счетчика). Это свидетельствует о том, что ацетилен начинает распадаться некаталитически, образовавшийся углерод частично выносится газовым потоком, а на поверхности катализатора остается меньшая его часть. С этим и может быть связан максимум на кривой увеличения массы катализатора.

Дальнейшее разбавление смеси водородом сдвигает равновесие реакции — увеличивает температуры начала гомогенного распада ацетилена. Поэтому нами была проведена аналогичная серия экспериментов при соотношении ацетилен—водород 1/15. На рис. 1, *а* приведены расчетные равновесные зависимости изменения массы углерода от температуры синтеза и экспериментальные точки изменения массы образцов, синтезированных в течение 10 минут.

Энергия активации каталитического разложения ацетилена на низкотемпературном участке в присутствии медного катализатора (рис. 1, *б*) имеет близкие значения и равна E_a = = 144±2 кДж/моль. Это несколько ниже значений, приведенных для гомогенного разложения ацетилена (160–200 кДж/моль), что можно связать с влиянием катализатора. Но при высоких температурах появляются конкурирующие процессы — гомогенное разложение и рост углеродных наноструктур.

СЭМ изображения исходного медного порошка и порошка, обработанного при температурах 680, 765 и 800 °С с расходом ацетилена 30 см^3/мин и водорода 260 см^3/мин, представлены на рис. 2. При температурах ниже 650 °С углеродные наноструктуры в порошке не обнаружены, углерод выпадает в виде сажи или графита. При увеличении температуры до 680 °С (рис. 2, *б*)

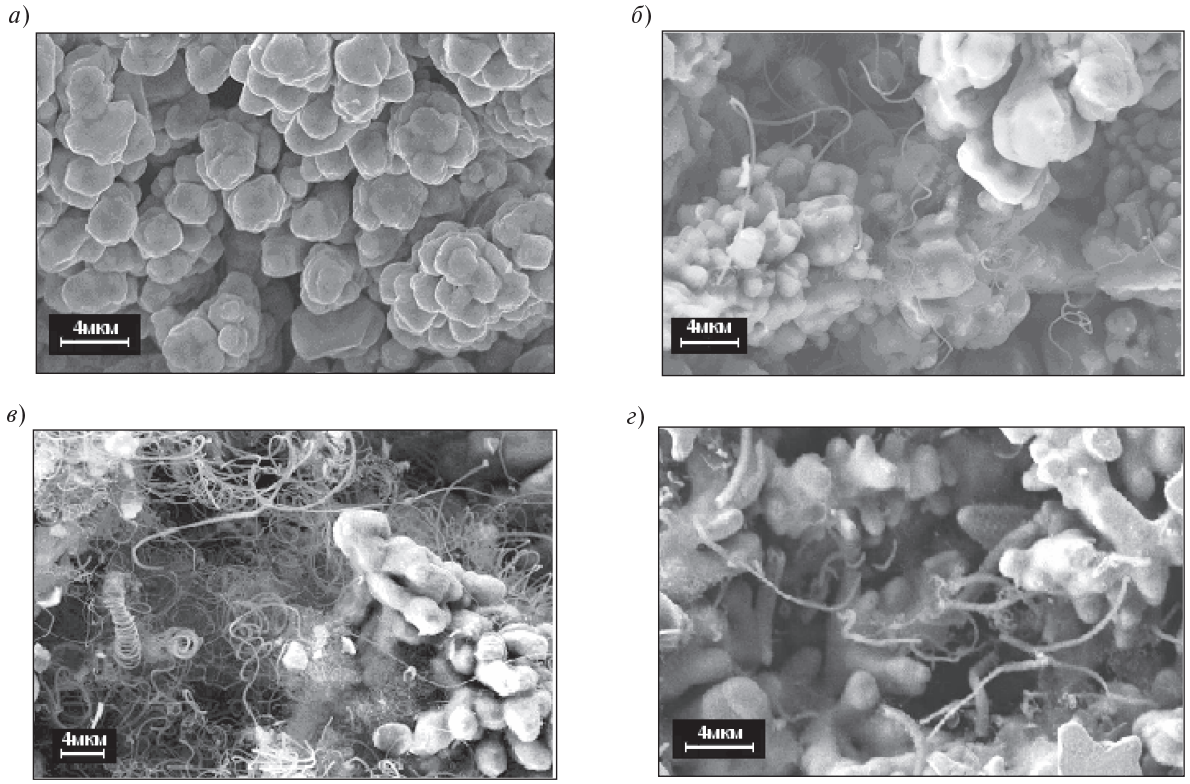


Рис. 2. Микрофотографии исходных медных частиц (*а*) и медных частицы после синтеза углеродных наноматериалов при температуре 680 (*б*), 765 (*в*) и 800° С (*г*)

наблюдаются отдельные углеродные нановолокна среднего диаметра до 200 нм при общем содержании углерода до 16 %. Относительное содержание углеродных наноструктур увеличивается при увеличении температуры. На рис. 2, *в* представлены микрофотографии медного порошка, содержащего 4,5 % углеродных наноструктур. При дальнейшем увеличении температуры количество углерода, выделившегося на медном порошке, уменьшается до 1 %.

Медные частицы равномерно покрыты наноструктурами со средней длиной около 10 микрон. ПЭМ исследования показали, что углеродные наноструктуры представляют собой волокна диаметром до 100 нм (рис. 3, *а*).

На спектрах комбинационного рассеяния (рис. 3, *б*) присутствует пик *C-C*, растяжение моды (*G*-линия), находящееся в области 1598 $см^{-1}$, что указывает на наличие графитового углерода в УНВ. Дефект — индуцирование комбинационной *D*-полосы, соответствующей 1350 $см^{-1}$ — связан с неупорядоченной структурой в углеродных материалах.

Скорость осаждения углеродных наноматериалов на поверхности медных частиц уменьшается при увеличении времени осаждения (рис. 4, *а*) согласно уравнению, описывающему химическую реакцию первого порядка [10]:

$$\frac{dm_C}{d\tau} = r_0 - \alpha r_0 m_C = r_0(1 - \alpha m_C),$$

где α — доля дезактивации катализатора на единицу массы УНТ, $мг^{-1}$, а $r_0 = dm_C/d\tau$ при $\tau = 0$.

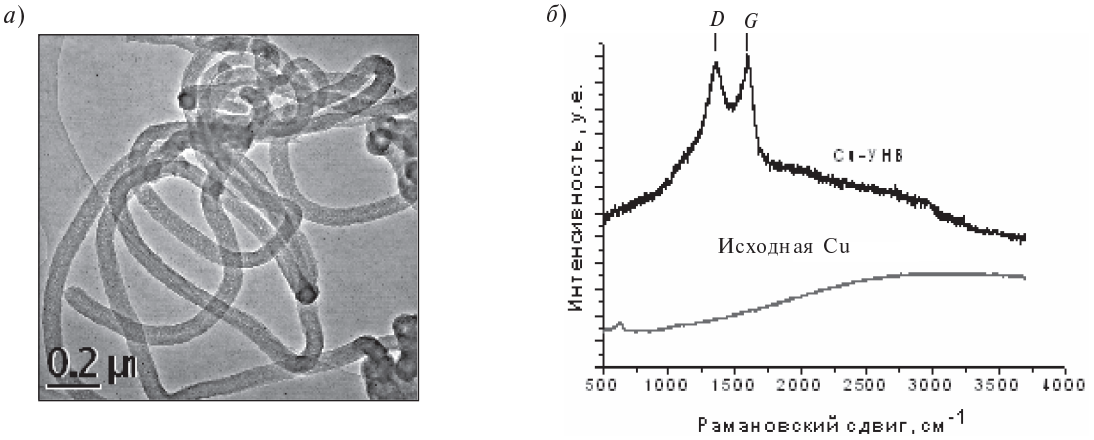


Рис. 3. Микрография углеродных наноструктур, полученная методом просвечивающей электронной микроскопии (*а*) и спектры комбинационного рассеяния, полученные с приготовленного образца и исходного медных частиц (*б*)

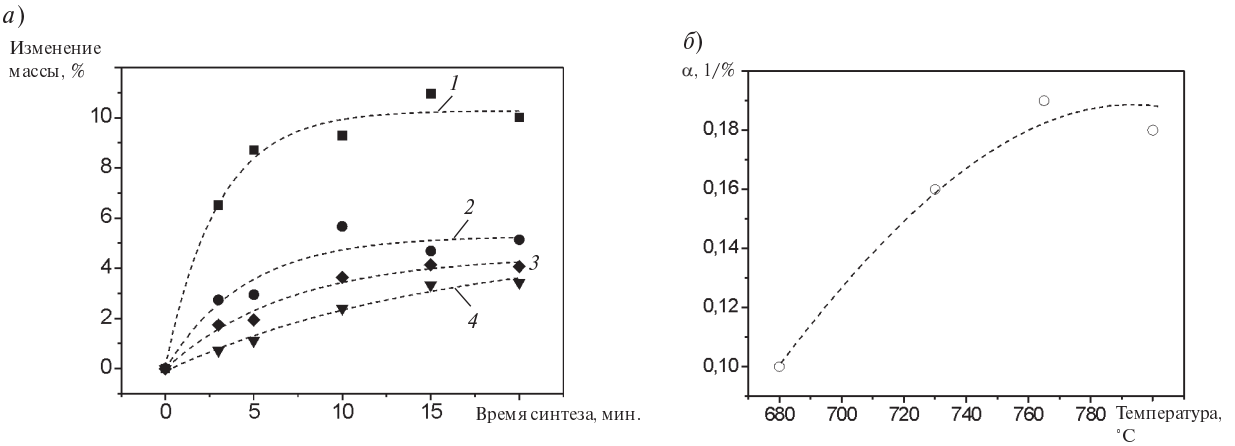


Рис. 4. Зависимости массы углерода от времени осаждения (*а*) при температурах 680 (*1*), 730 (*2*), 765 (*3*) и 800 (*4*) °C и доли дезактивации катализатора от температуры (*б*)

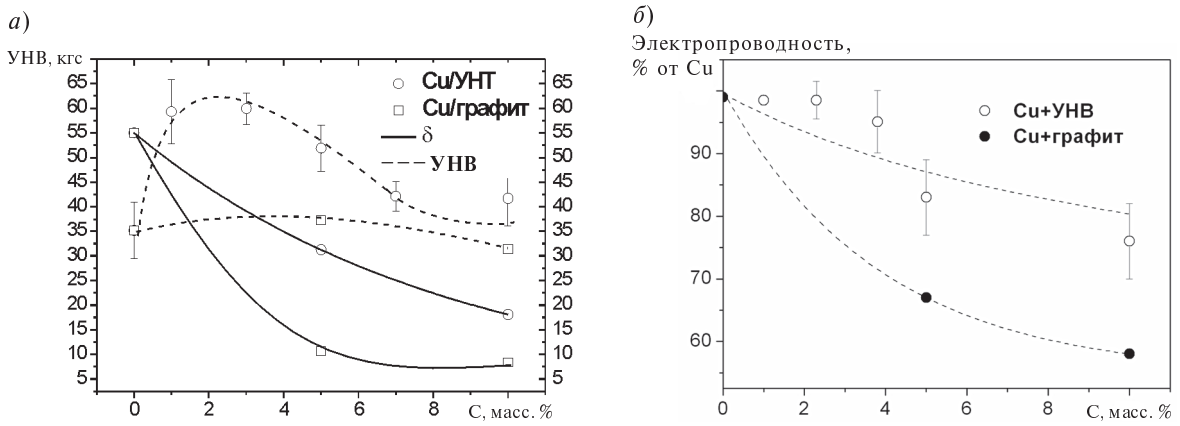


Рис. 5. Зависимости твердости и относительного удлинения при испытании на изгиб (*а*) и электропроводности от содержания углерода для спеченных образцов медь—углерод (*б*)

Таким образом были рассчитаны значения α, результаты приведены на рис. 4, *б*. Видно, что при возрастании температуры, доля дезактивации катализатора значительно возрастает, а в температурном интервале, когда происходит рост нановолокон, остается практически постоянной. Доля дезактивированного катализатора составляет примерно 10 % при температурах выше 600 °С и с повышением температуры до 730 °С увеличивается до 20 %, возможно, за счет дезактивации центров растущими углеродными нановолокнами.

Для изучения влияния углеродных нановолокон на свойства медного композиционного материала производились параллельные исследования образцов с различной концентрацией двух видов добавок: нановолокон и графита.

Механические и электрические характеристики образцов медь — наноструктуры значительно выше, чем у материала медь — графит (рис. 5).

Измерение твердости методом Бринелля показало существенное ее увеличение — до 60 кг/мм^2 при содержании 1–3 % УНТ/УНВ, причем при значительно лучшей пластичности. Электропроводность гибридного материала Cu–УНВ при содержании углерода до 3 % меняется незначительно и составляет не менее 98 % от электропроводности чистой меди. При увеличении содержания углерода до 10 % электропроводность снижается до 75 %, что существенно выше, чем электропроводность материалов медь—графит, полученных по традиционной технологии.

Мы предложили новый подход к созданию хорошей дисперсии УНТ и УНВ в металлической матрице. Углеродные наноматериалы были синтезированы непосредственно на поверхности матричных медных частиц с использованием ацетилена в качестве источника углерода.

Изучение кинетики роста УНВ с использованием водород-ацетиленовой смеси на поверхности медных частиц в интервале температур 570–820 °С показало, что рост образования УНВ лимитируется процессом с кажущейся энергией активации 144 кДж/моль. Установлено, что рост углеродных нановолокон описывается уравнением химической реакции первого порядка.

При использовании синтезированного порошка, приготовленного по предложенной технологии, добавки до 3 масс. % углерода ведут к существенному увеличению прочностных свойств при сохранении высокой электропроводности. По сравнению с традиционными медно-углеродными материалами материал медь — УНВ имеет комплекс более высоких физико-механических свойств, показывая одновременное увеличение твердости, пластичности, электропроводности.

Авторы работы благодарят за помощь на разных этапах работы Л.И. Насибулину, Т. Йоентакайнен, Й. Малм, М. Карпинен. Работа выполнена при частичной поддержке Академии наук Финляндии (проект номер 128445), при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям и аналитической ведомственной целевой программы “Развитие научного потенциала высшей школы” Министерства образования и науки РФ (грант № 2.1.2/6955).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванов, В.В.** Физико-химические основы технологии и материаловедение порошковых электроконтактных композитов [Текст] / В.В. Иванов.— Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2002.— 234 с.

2. **Arai, S.** Carbon nanofiber-copper composite powder prepared by electrodeposition [Текст] / S. Arai, M. Endo // Electrochemistry Communications.— 2003. Vol. 5.— P. 797–799.

3. **Xia, L.** Wear and mechanical properties of carbon fiber reinforced copper alloy composites [Текст] / L. Xia, B. Jia, J. Zeng, J. Xub // Materials Characterization.— 2009. Vol. 60.— P. 363–369.

4. **Barcena, J.** Gomez de Salazar JM. Microstructural study of vapour grown carbon nanofiber/copper composites [Текст] / J. Barcena, J. Maudes, J. Coleto, J.B. Baldonedo, // Composites Science and Technology.— 2008. Vol. 68.— P. 1384–1391.

5. **Silvain, J.F.** Novel processing and characterization of Cu/CNF nanocomposite for high thermal conductivity applications [Текст] / J.F. Silvain, C. Vincent, J.M. Heintz et all. // Composites Science and Technology.— 2009. Vol. 69.— P. 2474–2484.

6. **Kim, K.T.** Hardness and wear resistance of carbon nanotube reinforced Cu matrix nanocomposites [Текст] / K.T. Kim, S.I. Cha, S.H.Hong // Material Science and Engeeniring.— 2007. Vol. A449.— P. 46–50.

7. **Dong, S.R**. An investigation of the sliding beha-vior of Cu-matrix composite reinforced by carbon nanotubes [Текст] / S.R. Dong, J.P. Tu, X.B. Zhang // Material Science and Engeeniring.— 2001. Vol. A313.— p. 83–87.

8. **Kang, J.** In situ synthesis of carbon onion/nanotube reinforcements in copper powders [Текст] / J. Kang, J. Li, C. Shi etall. // J. Alloys Comp.— 2009. Vol. 476.— P. 869–873.

9. **Bale, C.W.** FactSage thermochemical software and databases [Текст] / C.W. Bale, P. Chartrand, S.A. Degterov et all. // Calphad/— 2002. Vol. 26. № 2.— P.189–228.

10. **Раков, Э.Г.** Нанотрубки и фуллерены: учеб. пособие. [Текст] / Э.Г. Раков. — М.: Логос, 2006. — 376 с.

УДК 621.791.7:620.17:620.18

Э.Р. Галимов, А.С. Маминов, А.В. Беляев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Оценку изменения структуры металлических материалов осуществляют традиционными методами металлографических исследований и механических испытаний. Однако определение механических свойств, в том числе и сварных соединений, требует трудоемкой подготовки образцов и многочисленных испытаний (на твердость, временное сопротивление и др.).

Подобные испытания можно не проводить, если использовать методологию мультифрактальной параметризации структур. В связи с этим возникло перспективное направление исследований — установление взаимосвязи механических свойств металлов с результатами мультифрактальной параметризации цифровых изображений микроструктуры.

Методология мультифрактальной параметризации структур материалов, разработанная в ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН в начале 1990-х годов и подробно описанная в трудах А.Г. Колмакова, Г.В. Встовского, И.Ж. Бунина, находит все более широкое применение в материаловедении [1, 2].

Мультифрактальная параметризация считается более совершенным видом представления теории фракталов. Теория мультифрактального формализма благодаря дополнительному математическому анализу позволяет оценивать параметры однородности и упорядоченности, характеризующие меру нарушения самоподобия и отражающие геометрическую неоднородность составляющих изображения.

Однако необходимо провести соответствующие экспериментально-теоретические исследования, направленные на адаптацию методики мультифрактальной параметризации для оценки механических свойств различных зон сварных соединений (основной металл, зона термического влияния, линия сплавления, сварной шов), и выработать практические рекомендации по подготовке металлографических изображений к мультифрактальному анализу.

Цель нашей работы — установление взаимосвязи механических свойств с мультифрактальными параметрами сварных соединений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

адаптация методологии мультифрактальной параметризации для анализа изображений структур сварного шва;

установление взаимосвязи мультифрактальных параметров с изображениями металлографической поверхности структуры;

установление взаимосвязи механических свойств на примере твердости *HV* с мультифрактальными параметрами однородности и упорядоченности.

В качестве объекта исследования были выбраны сварные швы наружного корпуса камеры сгорания газотурбинного двигателя НК-16СТ, изготовленные из аустенитной стали 10Х11Н20Т2Р, которая широко применяется в качестве нержавеющего, коррозионностойкого и жаропрочного материала. Химический состав данной стали (в %) следующий:

C	≤ 0,10
Si	≤ 1,0
Mn	≤ 1,0
Cr	10–12,5
Ni	18–21

Ti	2,3–2,8
Al	≤ 0,8
B	≤ 0,008
S	0,020
P	0,030

Были изготовлены образцы для проведения спектрального анализа с целью установления поэлементного химического состава, металлографических исследований и измерения твердости по Виккерсу. Измерение твердости образцов, вырезанных из сварных швов наружных корпусов камер сгорания, осуществлялось на твердомере ХПО-250 по ГОСТ 2999–75. Для выявления границ аустенитных зерен стали 10Х11Н20Т2Р применялся реактив Круппа (соляная кислота 500 мл, азотная кислота 50 мл, вода 450 мл), время травления составляло 20 с.

Проведена серия замеров твердости сварных соединений корпуса камеры сгорания. Аппроксимацией и сглаживанием получены кривые твердости по Виккерсу в зависимости от расстояния до центра сварного шва. По результатам радиографического анализа были исследованы также образцы с дефектами — горячими трещинами. Установленные зависимости представляют собой полиноминальные кривые вида

$$HV_{30} = 0,008x^4 + 0,145x^3 - 1,759x^2 + \\ + 1,860x + 1655; \quad R^2 = 0,97,$$

где HV_{30} — твердость по Виккерсу; x — расстояние до центра сварного шва.

Расчет мультифрактальных характеристик осуществлялся с помощью программы MFRDrom, первая версия которой разработана Г.В. Встовским [2]. Данная программа использует алгоритмы автоматического выбора масштабов и статистического анализа мультифрактальных канонических и псевдоспектров. Зависимость упорядоченности от размера изображения приведена на рис. 1.

Однако данная программа требует определенной подготовки изображений к анализу, которая заключается в обработке фотографий микроструктур с помощью программы Adobe PhotoShop 7.0 с целью их преобразования в битовый формат "bmp" (черно-белый) с разрешением 300 пикселей на дюйм из цветного формата "jpeg" определенного размера. Принимаемый размер изображений в наших исследованиях — 512×512 пикселей.

В местах замеров твердости по Виккерсу (рис. 2) получены микроструктуры, цифровое изображение которых было проанализировано программой MFRDrom.

Для проведения металлографических исследований использовали микроскоп со встроенной цифровой фотокамерой. Полученные изображения имеют вертикальное и горизонтальное разрешение 150 пикселей/дюйм.

Видно, что на значения упорядоченности размер изображения оказывает незначительное влияние — лишь при высоких баллах зерна анализируемой стали или сплава.

Установлено, что на результаты мультифрактальной параметризации влияет также затемненность фотографий. В случаях, когда анализируется перетравленная структура или она

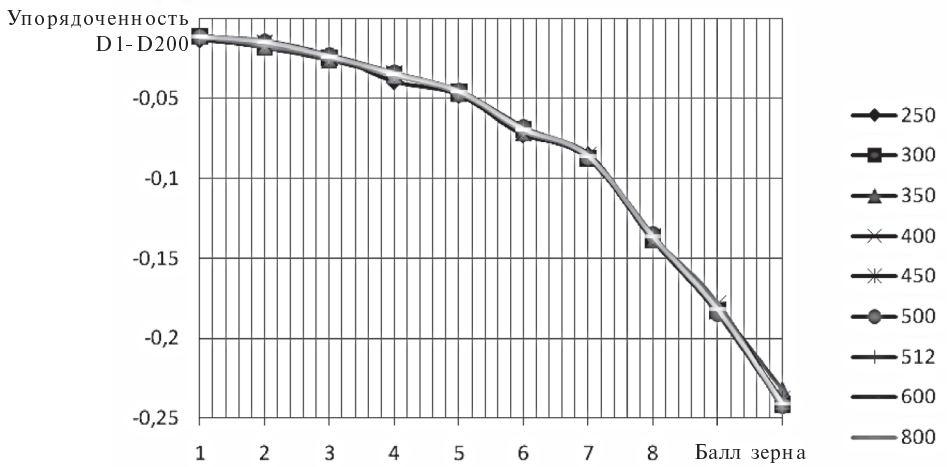


Рис. 1. Зависимость упорядоченности от размера изображения

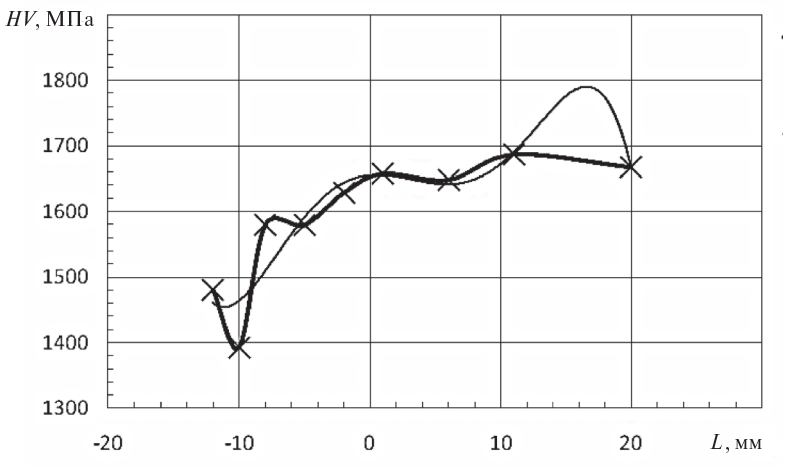


Рис. 2. Графики упорядоченности сварного шва:
— твердость *HV* по сечению сварного шва;
— полиномиальная твердость *HV* по сечению сварного шва

представлена темными составляющими (перлит, графит), мультифрактальные параметры искажаются. Например, ферритная, феррито-перлитная и аустенитная структуры с одинаковым баллом зерна будут иметь различные значения однородности и упорядоченности, что необходимо учитывать при оценке величины зерна по значениям однородности и упорядоченности.

Определены значения однородности и упорядоченности для структур, располагающихся рядом с отпечатком твердомера. Аналогично аппроксимацией и сглаживанием получены кривые однородности и упорядоченности структуры в зависимости от удаленности от центра сварного шва (рис. 3).

Получено совместное решение уравнений распределения твердости и однородности/упорядоченности с целью установления зависимости механических свойств (на примере твердости по Виккерсу) и мультифрактальных параметров. Данное решение позволяет определить с заданной степенью вероятности значение твердости по изображению структуры аустенитной стали 10Х11Н20Т2Р при однократном замере твердости.

Проведение подобного мультифрактального анализа и измерение механических свойств различных марок, структурных классов, других металлов и сплавов, в том числе сварных соединений, после наплавки, напыления покрытий и других видов обработки позволит создать программу на основе алгоритма MFRDrom и базу данных материалов с мультифрактальными параметрами, что в свою очередь даст возможность

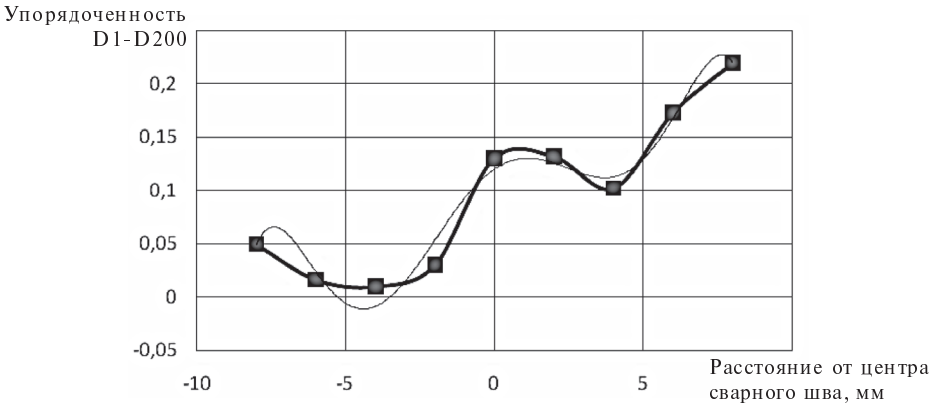


Рис. 3. График упорядоченности для сварного шва

определять механические свойства по изображению структуры.

Для этого требуется решение системы уравнений вида

$$\begin{cases} HV_{30} = 0,008x^4 + 0,145x^3 - 1,759x^2 + \\ \qquad + 1,860x + 1655; \\ D_1 - D_{200} = 2\cdot10^{-6}x^6 - 9\cdot10^{-6}x^5 + \\ \qquad + 0,006x^2 - 0,002x + 0,093; \\ F_{200} = 2\cdot10^{-6}x^6 + 2\cdot10^{-5}x^5 - 0,001x^3 - \\ \qquad - 0,014x^2 + 0,006x + 0,303, \end{cases}$$

где $D_1 - D_{200}$ — упорядоченность; F_{200} — однородность; x — расстояние до центра сварного шва.

Выражая из уравнений механическое свойство — твердость по Виккерсу HV_{30} —как функции от упорядоченности $D_1 - D_{200}$ или однородности F_{200} при одинаковых значениях расстояния от центра сварного шва x, получаем соответствующие зависимости твердости от мультифрактальных параметров.

На упорядоченность и однородность, полученные в результате анализа с помощью программы MFRDrom, оказывают влияние ряд факторов, основные из которых — разрешение изображений, затемненность изображения структурными составляющими и протравленность границ зерен. Размер изображения оказывает влияние в меньшей мере и лишь при высоких (8–10) баллах зерна анализируемой стали или сплава.

Установлена взаимосвязь между механическим свойством стали (твердость по Виккерсу) и результатами мультифрактального анализа. Это позволяет определять механические свойства, в том числе и сварных соединений, по изображению их металлографической структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Встовский, Г.В.** Элементы информационной физики [Текст] / Г.В. Встовский.— М.: МГИУ, 2002. — 260 с.

2. **Встовский, Г.В.** Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов [Текст] / Г.В. Встовский, А.Г. Колмаков, И.Ж.. Бунин // Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001.— 116 с.

3. **ГОСТ 5632–72.** Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.

4. **Авдеева, Л.Г.** Определение мультифрактальных характеристик стали 20Х23Н18 до и после эксплуатациитт / Л.Г. Авдеева, А.Г. Чиркова // 53-я конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. — Уфа, 2002. — С.8.

УДК 620.22:419.8

Д.Е. Жарин, Л.Н. Шафигуллин, К.В. Симонова

ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ МАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Увеличение скоростей и мощностей машин и оборудования в машиностроении привело к значительному возрастанию вредных шумов, существенно ухудшающих условия труда на производстве.

Решение данной проблемы видится в разработке и применении в конструкциях, подверженных воздействию динамических нагрузок, например, элементах станочной системы, композиционных материалов (КМ) с высокими звукопоглощающими свойствами.

Периодические шумы, возникающие при механической обработке металлов резанием, оказывают нежелательное воздействие на условия труда (уровень шума более 70 дБА) [1]. В этой связи задача разработки эффективных звукопоглощающих полимерных материалов для производства установочных пластин под

токарные резцы — весьма актуальна и перспективна.

Проблема снижения уровня звука в строительной индустрии эффективно решается путем использования деталей или прокладочных материалов с открытой пористостью (гидробетон, паста “Антивибрит”) [2]. Но из-за отсутствия у таких материалов в комплексе одновременно высоких звукопоглощающих, вибродемпфирующих и деформационно-прочностных свойств они не нашли широкого распространения в машиностроении в качестве конструкционных материалов и изделий. Однако, варьируя широким спектром подбора термореактивных смол, модифицирующих компонентов, наполнителей, оптимизацией конструирования композитной системы можно получить такого рода уникальные композиты.

Для разработки эффективных КМ с высокими звукопоглощающими свойствами проводили экспериментальные исследования на эпоксидных, полиэфирных и эпоксиполиуретановых КМ.

В качестве матричных материалов использовали: эпоксидную смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587–84), дибутилфталат (ДБФ) (ГОСТ 8728–88), полиэтиленполиамин (ПЭПА) ТУ 2413-357-00203447–99, полиэфирную смолу 540-М 888, пероксид № 1 (раствор перекиси метилэтилкетона в диметилфталате), простой полиэфир (Сарэл А-04) и полиизоцианат (Сарэл Б-04). В рецептуре варьировали массовое содержание отвердителей, пластификатора и модификатора.

Оценку звукопоглощающих свойств КМ ($K_з$ — коэффициент поглощения звука) провели тестированным оборудованием фирмы “Брюль и Къер” (труба Кундта 4002) согласно действующим ГОСТам и нормативным документам.

Результаты исследований звукопоглощающих свойств в зависимости от концентрации отвердителя и частотного нагружения (315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 и 1600 Гц) представлены на рис. 1. Усиление звукопоглощающих свойств с ростом отвердителя связано со снижением скорости распространения волн в полимере. В соответствии с [3] в эпоксидном полимере наблюдаются продольные, поверхностные и изгибные волны. Из них с наибольшей скоростью в материале распространяются продольные волны, скорость распространения которых выражается формулой

$$C_1 = \sqrt{\frac{E_д}{\rho}\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-\mu)}}, \qquad (1)$$

где C_1 — скорость продольных волн, км/с; $E_д$ — динамический модуль упругости, Н/м^2; ρ —

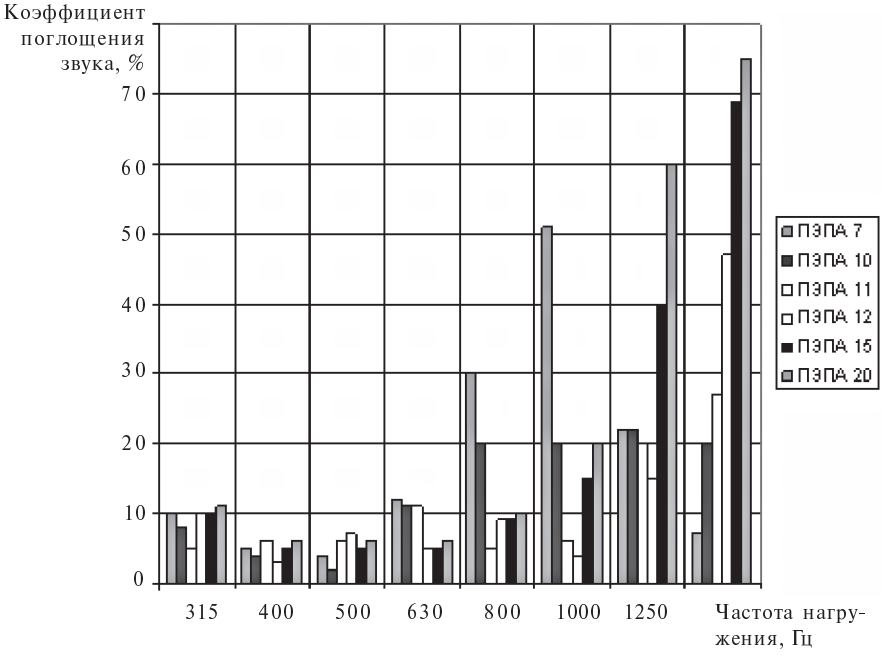


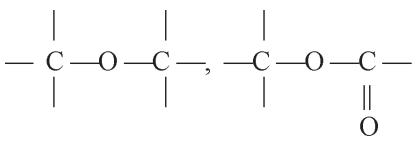
Рис. 1. Влияние концентрации ПЭПА на $K_з$ при различных условиях частотного нагружения

плотность, кг/м^3; μ — коэффициент поперечного расширения, или коэффициент Пуассона.

В области концентрации отвердителя 15–20 мас. част рост $K_з$ объясняется снижением плотности и динамического модуля упругости (см. рис. 1), однако последний снижается несоизмеримо больше, чем плотность. В этой связи с ростом концентрации ПЭПА происходит усиление звукопоглощающих свойств за счет снижения скорости распространения продольных волн.

На рис. 2 представлены результаты исследований зависимости звукопоглощающих свойств от концентрации отвердителя и частотного нагружения для полиэфирных композитов.

Проявление звукопоглощающих свойств в КМ связано с сегментальной подвижностью и гибкостью межузловых фрагментов, наличием внутреннего вращения [1, 4, 5]. Последнее обусловлено внутримолекулярными формами вращательных движений атомных групп около различных осей. Все вращательные движения (степени свободы) атомных групп около оси полимерной цепи обозначаются как β-процессы [6], которые вызваны вращением групп CH_2 и всей эфирной группы



В отличие от эпоксидных, полиэфирные полимеры будут иметь более высокое значение коэффициента звукопоглощения, так как в них рассеяние энергии обусловлено вращением не только групп CH_2, но и эфирных групп. В этой связи использование полиэфирных смол для получения композитов с высокими звукопоглощающими свойствами более предпочтительно.

Экспериментальным путем подтверждена эффективность модифицирования эпоксиполиуретановых матричных композитов добавками простого полиэфира (Сарэл А-04) и полиизоцианата (Сарэл Б-04) (рис. 3).

Характер изменения концентрационных зависимостей $K_з$ практически идентичен с эпоксидными КМ при нагружении в частотах 800, 1000 и 1250 Гц, 1600 Гц. Усиление звукопоглощающих свойств КМ с ростом концентрации комплексной добавки связано со снижением скорости распространения волн в полимере. Данный эффект сопровождается мощным ростом пористости в структуре композита и снижением его плотности. В результате полимеризации уретанообразующего эпоксиполиэфира с полиизоцианатом образуется вспененный эпоксиполиуретан. Вспененность обусловлена чувствительностью изоцианатного компонента к действию влаги, которая изначально присутствует в уретанообразующем полиэфире, а также сорбируется из окружающего пространства.

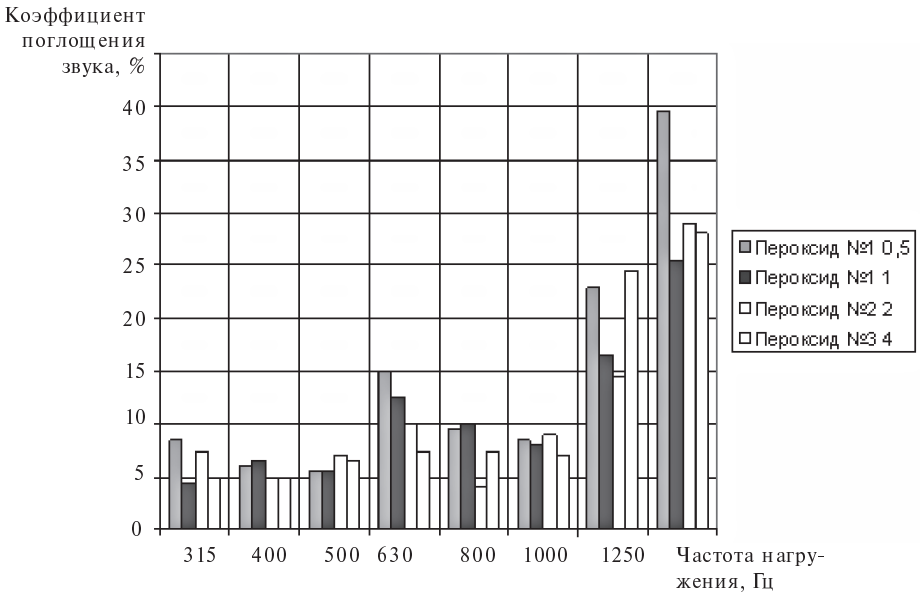


Рис. 2. Влияние концентрации пероксида №1 на $K_з$ при различных условиях частотного нагружения

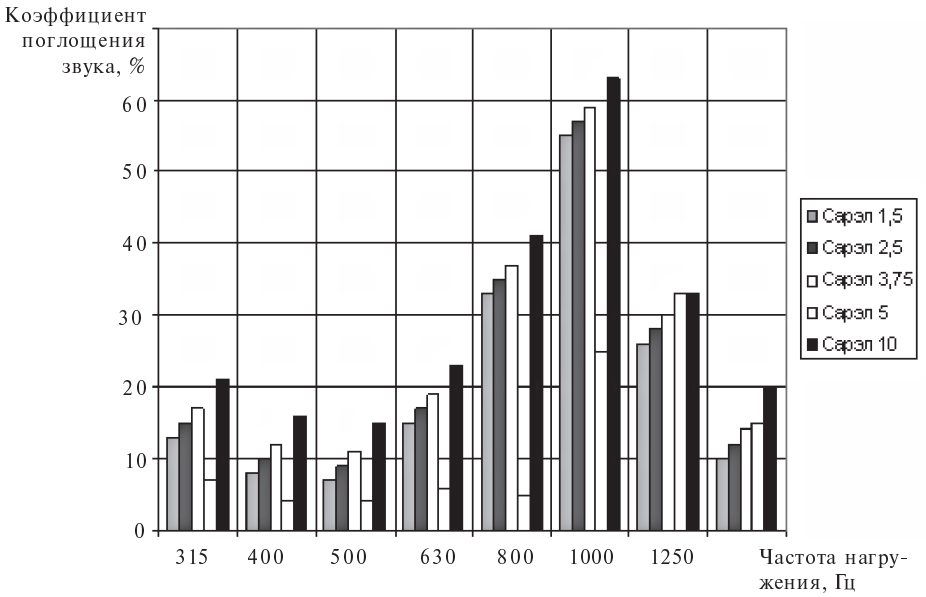


Рис. 3. Влияние концентрации “Сарэл 04” на $K_з$ при различных условиях частотного нагружения

Осуществляли эластификацию эпоксидного КМ путем введения низкомолекулярного органического соединения — ДБФ. Результаты экспериментальных исследований влияния концентрации ДБФ на звукопоглощающие свойства эпоксидных полимеров представлены на рис. 4.

Анализ экспериментальных исследований выявил рост $K_з$ при условии нагружения композитов частотах 800, 1000, 1250 и 1600 Гц. Данный эффект обусловлен мощной эластификацией композитной системы, что приводит к снижению скорости распространения звуковых продольных волн.

Проведенные исследования позволили установить экспериментальные и аналитические концентрационные зависимости звукопоглощающих характеристик КМ от количественного содержания матричных компонентов в эпо-

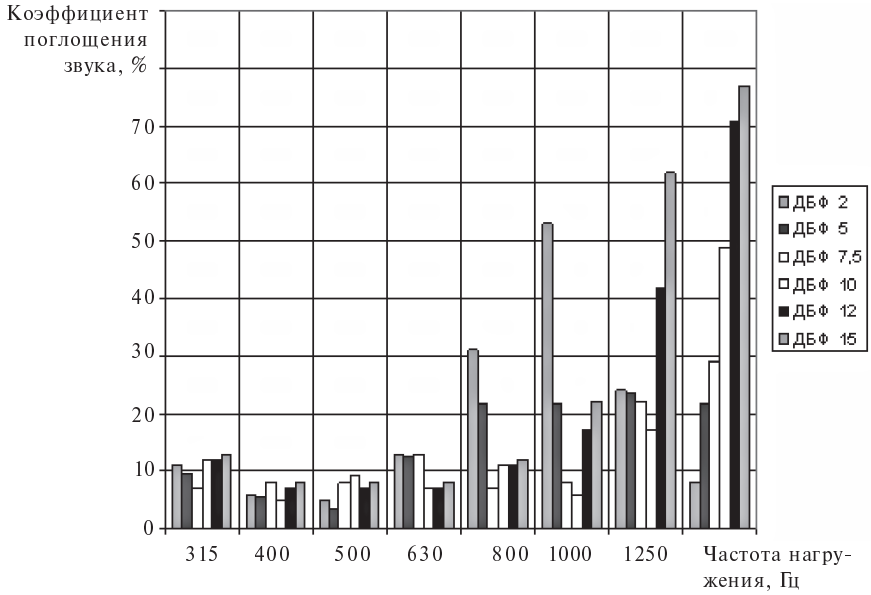


Рис. 4. Влияние концентрации ДБФ на $K_з$ при различных условиях частотного нагружения

Таблица 1

Концентрационные зависимости свойств эпоксидных и полиэфирных полимеров

Частоты звукового нагружения, Гц	Зависимости коэффициента звукопоглощения $K_з$ от концентрации x, масс. част., различных эпоксидных и полиэфирных полимеров			
	ПЭПА	Пероксид № 1	Сарэл 04	ДБФ
315	$-0,0002x^3+0,0078x^2-0,1007x+0,487$	$-0,0003x^3+0,0075x^2-0,0036x-0,1854$	$-0,0004x^3+0,005x^2+0,0016x+0,1186$	$-0,0001x^3+0,0042x^2-0,0339x+0,1645$
400	$-9\cdot10^{-6}x^3+0,0006x^2-0,0104x+0,0962$	$0,0015x^2-0,0107x+0,0683$	$-0,0001x^3+0,0002x^2+0,0194x+0,0511$	$5\cdot10^{-5}x^3-0,0012x^2+0,0082x+0,0461$
500	$-2\cdot10^{-5}x^3+0,0005x^2-0,0019x+0,0294$	$-0,0045x^3+0,0258x^2-0,0308x+0,0645$	$-0,0004x^3+0,005x^2+0,0016x+0,0586$	$8\cdot10^{-5}x^4-0,0029x^3+0,0339x^2-$ $-0,1462x+0,2287$
630	$0,0002x^3-0,0068x^2+0,069x-0,0904$	$-0,0036x^3+0,0292x^2-0,0875x+0,1869$	$-0,0004x^3+0,005x^2+0,0016x+0,1386$	$0,0002x^3-0,0052x^2+0,0307x+0,0853$
800	$-0,0001x^3+0,0083x^2-0,1493x+0,9476$	$0,0141x^2-0,073x+0,1392$	$-0,0004x^3+0,005x^2+0,0016x+0,3186$	$2\cdot10^{-5}x^3+0,0014x^2-0,0396x+0,3335$
1000	$-0,0007x^4+0,0353x^3-0,6655x^2+$ $+5,2998x-14,887$	$-0,0057x^3+0,0333x^2-0,05x+0,1024$	$-0,0005x^3+0,0053x^2+0,0007x+0,4495$	$-0,0002x^3+0,0062x^2-0,0389x+0,3609$
1250	$-0,0005x^4+0,0274x^3-0,4969x^2+$ $+3,815x-10,239$	$-0,0143x^3+0,1233x^2-0,29x+0,346$	$-0,0001x^3+0,0005x^2+0,0185x+0,472$	$-5\cdot10^{-5}x^4+0,0015x^3-0,0113x^2+$ $+0,0241x+0,2276$
1600	$-0,0003x^3+0,0075x^2-0,0036x-0,1854$	$0,0227x^2-0,1238x+0,4167$	$0,0025x^3-0,0507x^2+0,3269x+0,0196$	$-0,0011x^3+0,0264x^2-0,1405x+0,4671$

Таблица 2

Звукопоглощающие свойства разработанных акустических материалов (сплавов) и эталонных аналогов

Разработанные составы акустических материалов, масс.част.					Коэффициент поглощения звука, $K_з$, %
ЭД-20	ПЭПА	ДБФ	Сарэл-А-04	Сарэл-Б-04	
100	20	–	–	–	45
100	11	12	–	–	70
100	11	15	–	–	71
100	11	–	1,25	1,25	57
100	11	–	1,875	1,875	65
100	11	–	5,0	5,0	69
Эталонные аналоги (для сравнения):					
АА-25 от НПП «Техникал Консалтинг» (Россия)					60
LA 25 *S-E* от «Персторп-Антифон» (Швеция)					60

ксидном и полиэфирном композите (в мас.част. на 100 мас.част. полимерной смолы) (табл. 1) на разных частотах звуковой нагрузки.

В результате проведенных экспериментальных исследований определены эффективные составы жестких звукопоглощающих материалов при различных условиях частотного нагружения системы, относящихся к разным классам акустических материалов (табл. 2).

Это позволило разработать более эффективные матричные звукопоглощающие материалы по сравнению с эталонными аналогами при частотном нагружении 1600 Гц (увеличение $K_з$ в среднем на 28 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соломатов, В.И.** Вибропоглощающие композиционные материалы [Текст] / В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, Н.Е. Фомин. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. — 96 с.

2. **Новиков, В.У.** Полимерные материалы для строительства: справочник [Текст] / В.У. Новиков. — М.: Высш. шк., 1995. — 448 с.

3. **Вернигорова, В.Н.** Современные методы исследования свойств строительных материалов: учебное пособие [Текст] / В.Н. Вернигорова, Н.И. Макридин, Ю.А. Соколова. — М.: Издательство АСВ, 2003. — 240 с.

4. Промышленные композиционные материалы [Текст] / Под ред. М. Ричардсона.— М.: Химия, 1980.— 472 с.

5. **Шур, А.М.** Высокомолекулярные соединения [Текст] / А.М. Шур. — М.: Высш. шк., 1980. — 362 с.

6. **Бартенев, Г.М.** Структура и релаксационные свойства эластомеров [Текст] / Г.М. Бартенев. — М.: Химия, 1979. — 387 с.

УДК 621.791.72:621.9.048.7

В.В. Башенко, Н.И. Шаронов

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ПРЕССОВАННО-ШТАМПОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Разнородные сварные соединения алюминиевых сплавов достаточно часто применяются в различных областях промышленности: авиационной, ракетно-космической, химической, судостроительной и др. Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) в силу своих специфических возмож-

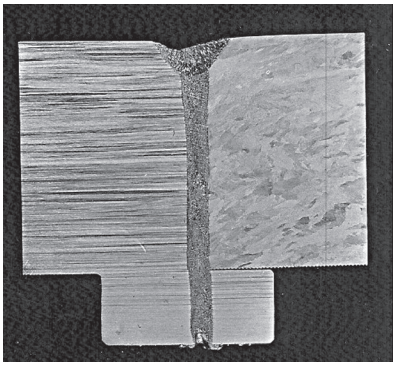


Рис. 1. Макрошлиф сварного соединения 1560 + Al–Zn–Mg (толщина 30мм)

ностей (большая плотность мощности электронного луча, малая величина погонной энергии, узкая зона расплавления и термического влияния и, как следствие, незначительные деформации изделия) позволяет получать качественные, надежные, работоспособные сварные соединения алюминия и его сплавов.

Нами были исследованы свойства сварных соединений прессовано-штампованных сплавов толщиной 30 мм: отдельно алюминиево-магниевого сплава 1560М и в сочетании его с высокопрочным Al–Zn–Mg сплавом с соотношением Zn:Mg = 2:1.

В работах [2–5] и ранее выполненных экспериментальных исследованиях было установлено, что горизонтальное положение сварочной ванны для толщин свыше 20 мм (схема сварки "горизонтальным лучом на вертикальной стенке") позволяет, наряду с улучшением условий формирования шва, интенсифицировать процессы удаления газов и паров металла из парогазового канала, особенно при сквозном проплавлении. Для гарантированного исключения корневых дефектов, присущих ЭЛС, сварку в данном случае выполняли со сквозным проплавлением и замковой подкладкой с применением развертки луча "сжатая скоба" (рис.1).

В качестве энергокомплекса использовалась аппаратура У-250 в комплекте с электронной пушкой У-530М. Режимы сварки приведены в табл. 1.

При параллельных границах зоны проплавления обеспечиваются: минимальный разброс показателей механических свойств соединений по толщине свариваемого металла; практическое отсутствие угловых деформаций и сравнительно невысокий уровень остаточных сварочных напряжений.

Соединения сплавов 1560М + Al–Zn–Mg термообрабатывали по режиму: нагрев до 160 ± 5 °С, выдержка 2 часа, охлаждение на воздухе.

Сварные образцы разрезали на темплеты, из которых изготавливали образцы для механических и коррозионных испытаний.

Прочность сварных соединений определяли по результатам испытаний на растяжение плоских образцов с поперечным швом в соответствии с ГОСТ 6996-66 (ИСО4136–89, ИСО 5173–81, ИСО 5177–81). Результаты испытаний приведены в табл. 2

Таблица 1

Режимы сварки алюминиевых сплавов

Вид соединения	Толщина, мм	$I_л$, мА	$U_{уск}$, кВ	$V_{св}$, м/ч	$I_ф$, мА
1560М + 1560М	30	340–350	30	30	78
1560М + Al–Zn–Mg	30	350–360	30	35	75

Таблица 2

Результаты испытаний сварных соединений на растяжение

Вид соединения	$\sigma_{в\,св}$, кгс/мм^2	$K_{пр} = \frac{\sigma_{в\,св}}{\sigma_{в\,осн\,ТУ}}$	Граница разрушения
1560М + 1560М	$\frac{34,9-36,9}{35,9}$	1,0	Линия сплавления
1560М + Al-Zn-Mg	$\frac{35,5-37,5}{36,6}$	1,0	Линия сплавления

Разрушение образцов соединений 1560М с Al–Zn–Mg сплавом происходило по линии сплавления со стороны сплава 1560М.

Полученные результаты позволяют заключить, что применение ЭЛС для исследуемых сплавов обеспечивает получение качественных сварных соединений прочностью не менее 0,9 от фактической прочности основного металла и не ниже 1,0 от предела прочности основного металла, гарантированного ТУ.

Анализ характера изменения твердости H_V показывает, что в при соединении в сплаве 1560М твердость изменяется незначительно и остается на уровне 75–85 кгс/мм^2 (рис. 2, *а*). В комбинированном соединении наблюдается повышение твердости в шве со стороны сплава Al–Zn–Mg , что объясняется различием свойств свариваемых сплавов (рис. 2, *б*).

Определение ударной вязкости металла сварных соединений производили по результатам испытаний вырезанных из их верхней части образцов с острым надрезом по центру шва, линии сплавления и зоне термического влияния. Результаты испытаний на ударную вязкость различных зон сварных соединений при +20 и –50 °С приведены в табл. 3.

Коррозионную стойкость сварных соединений оценивали по результатам испытаний на коррозию под напряжением плоских образцов (дуг) согласно ГОСТ 5.019–74 при постоянной деформации в скобе и натурных соединений на общую коррозию в морской воде. Образцы на коррозию под напряжением толщиной 3 мм с поперечным швом вырезали из поверхностного слоя и средней части сварных соединений. Испытания проводили в водном растворе 3 %-го NaCl с периодическим погружением. Образцы соединений 1560М + + 1560М и 1560М + Al–Zn–Mg испытывали при напряжениях 10,5 кгс/мм^2, что соответствовало 0,7 гарантированного уровня прочности основного металла по ТУ (для сплава 1560М).

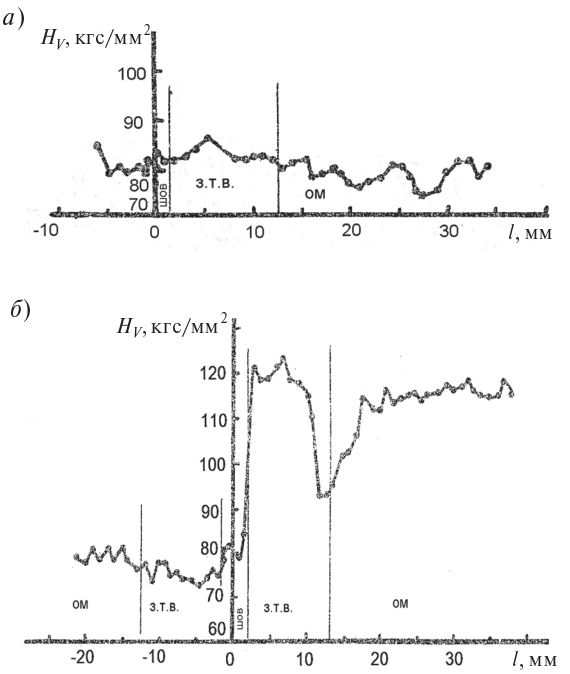


Рис. 2. Распределение твердости в сварных соединениях:
а — соединение 1560М + 1560М;
б — соединение 1560М + Al–Zn–Mg

На образцах соединений при испытаниях в течение 45 суток разрушений не наблюдалось. Осмотр образцов на общую коррозию через четыре месяца пребывания в коррозионной сре-

Таблица 3

Результаты испытаний сварных соединений на ударную вязкость

Вид соединения	$T_{исп}$, °С	$a_к$, кгс·м./см^2			Примечание
		Шов	ЛС	ЗТВ	
1560М + 1560М	+20	$\frac{2,0-2,5}{2,2}$	$\frac{1,4-1,7}{1,6}$	$\frac{3,6-4,1}{3,9}$	–
	–50	$\frac{1,6-2,1}{1,9}$	$\frac{1,5-1,7}{1,55}$	$\frac{4,0-4,2}{4,1}$	–
1560М + Al-Zn-Mg	+20	$\frac{1,2-1,8}{1,7}$	$\frac{0,8-1,7}{1,4}$	$\frac{3,8-4,4}{4,1}$	Со стороны 560М
	–50	$\frac{0,8-1,7}{1,3}$	$\frac{0,4-1,5}{1,1}$	$\frac{3,9-4,3}{4,1}$	Со стороны Al–Zn–Mg

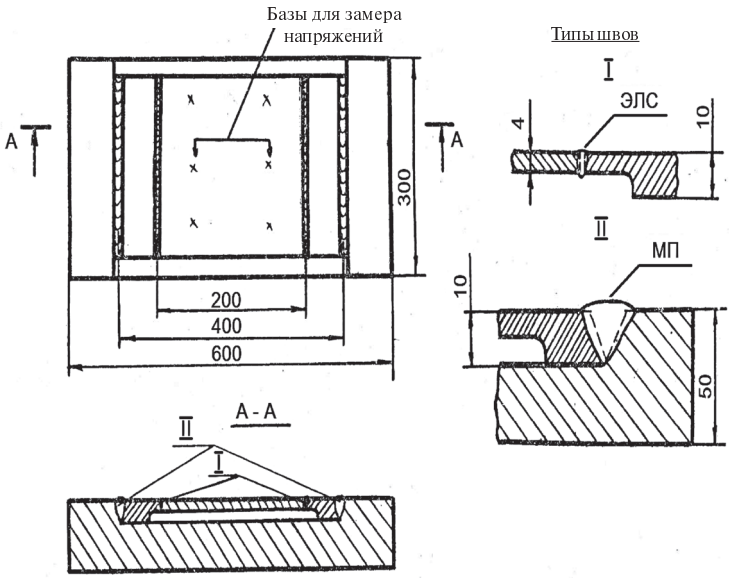


Рис. 3. Технологическая проба для испытания на задержанное разрушение алюминиевых сплавов (I, II — последовательность наложения швов)

де показал, что состояние сварных швов и околошовной зоны всех соединений хорошее.

В связи с возможностью возникновения со временем трещин в сварных соединениях под длительным воздействием поля напряжений и накопления несовершенств кристаллического строения были проведены испытания технологических проб соединений исследуемых сплавов на склонность к задержанному разрушению.

Испытания технологических проб на задержанное разрушение проводили по методике [1]. Общий вид технологической пробы, порядок наложения швов и схема замеров деформаций приведены на рис. 3.

Исследовалась также ЭЛС пластин толщиной 4 мм с концевыми элементами на технологической подкладке из того же сплава, что и свариваемый сплав. В случае комбинированного варианта соединения в качестве материала подкладки использовали сплав 1560М. Технологические подкладки после сварки удалялись механическим путем. Режимы сварки приведены в табл. 4.

Приварку сваренных пластин к рамам осуществляли механизированным способом (МП).

Уровни измеренных реактивных напряжений, полученных от вваривания испытуемого сварного соединения в жесткий контур, приведены в табл. 5.

Проведенные исследования позволили заключить:

ЭЛС прессованного сплава 1560М со штампованным сплавом Al–Zn–Mg обеспечивает получение качественных сварных соединений

Таблица 4

Режимы сварки образцов для испытаний на задержанное разрушение

Вид соединения	$I_д$, мА	$U_{уск}$, кВ	$V_{св}$, м/ч	$I_ф$, мА
1560М + + 1560М	80–85	30	30	78
1560М + + Al–Zn–Mg	90–95	30	35	78

Таблица 5

Уровни реактивных напряжений

Вид соединения	Термическая обработка, °С	Уровень реактивного напряжения, кгс/мм^2
1560М + 1560М	нет	8,8
1560М + 1560М	нет	11,9
1560М + Al–Zn–Mg	160±5	10,3
1560М + Al–Zn–Mg	160±5	23,7

с высокими механическими свойствами, стойких против образования холодных трещин.

Коррозионная стойкость сварных соединений при испытаниях на коррозию под напряжением и общую коррозию в течение установленного времени хорошая. В испытаниях на задержанное разрушение во времени при заданном уровне напряжений при установленном нормативе времени — 4 месяца — в швах, выполненных ЭЛС, разрушений не обнаружено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаров, А.Г.** О склонности сварных соединений алюминиевоцинковомагниевых сплавов к задержанным разрушениям [Текст] / А.Г. Макаров, Г.Л. Петров // Сварка.— 1965. № 8.— Л.: Судостроение, 1965.

2. **Бондарев, А.А.** Свариваемость сплава АМг6 электронным лучом в различных пространственных положениях [Текст] / А.А. Бондарев, Д.М. Рабкин, О.С. Кузьменок // Автоматическая сварка.— 1976. № 12.— С. 34–37.

3 **Патон, Б.Е.** Особенности электронно-лучевой сварки в различных пространственных положениях [Текст] / Б.Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка.— 1972. № 6.

4. **Ольшанский, Н.А.** Глубина проплавления при электронно-лучевой сварке с низким ускоряющим напряжением [Текст] / Н.А. Ольшанский [и др.].— В сб.: Сварка электронным лучом.— М.: Изд-во МДНТП, 1974.

5. **Кайдалов, А.А.** Электронно-лучевая сварка и смежные технологии [Текст] / А.А. Кайдалов.— 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Экотехнология, 2004.— 260 с.

УДК 621.791.72:621.9.048.7

Н.И. Шаронов

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ТУРБОСТРОЕНИИ

Газовые турбины широко применяются в качестве приводов нагнетателей на компрессорных станциях магистральных газопроводов.

Одну из важнейших частей турбины представляет лопаточный аппарат, который состоит из двух больших групп деталей: 1) связанных с ротором и вращающихся вместе с ним в процессе работы; 2) связанных со статором и находящихся в неподвижном состоянии. Основу первой группы составляют рабочие лопатки, второй — направляющие.

Направляющие лопатки входной ступени подвергаются одновременному воздействию агрессивной среды, значительных напряжений изгиба от газового потока и вибрации [1].

При атмосферных условиях, ведущих к образованию льда на входных поверхностях газовой турбины, расход воздуха в турбину уменьшается, вследствие чего резко снижается эксплутационный КПД. Кроме того, обледенение входных поверхностей, в частности направляющих лопаток, регулирующих направление потока, может привести к отрыву льда, попаданию его в проточную часть и к поломке рабочих лопаток.

Для предотвращения образования льда входные поверхности турбины обычно подогреваются воздухом, отбираемым от компрессора, но, поскольку полезная мощность при этом значительно уменьшается, то включение подогрева производится только в необходимых случаях. С этой целью газовые турбины снабжаются сложными автоматическими антиобледенительными системами, которые определяют атмосферные условия и включают системы отбора воздуха для подогрева на необходимый период времени.

Реализация в турбинах ГТК-10 и ГТН-25 схемы подогрева за счет пропускания пара через внутренний канал входной кромки направляющих лопаток позволяет избежать перечисленных выше недостатков, увеличить надежность работы агрегата и значительно снизить расход топлива.

Первоначально для получения канала подогрева использовалась технология пайки: в паз входной кромки укладывалась проволока из стали 12Х13 и запаивалась припоем ПСр45 с помощью газовой горелки. К недостаткам этого технологического процесса можно отнести:

наличие на соединяемых кромках значительных припусков металла для снижения величины термических деформаций в процессе пайки и обеспечения необходимых размеров при последующей термической и механической обработке;

расход большого количества дефицитного припоя;

значительный объем окончательной механической обработки, который вызывает большие встречные потоки деталей в процессе производства, снижающие его ритмичность;

рихтовка лопаток после термической обработки;

эрозия пайки в процессе работы турбины.

Перечисленные недостатки были устранены заменой пайки процессом электронно-лучевой сварки (ЭЛС), который характеризуется малой величиной погонной энергии, узкими зонами расплавления и термического влияния и, как следствие, незначительными деформациями изделий [2]. При этом необходимо учитывать, что специфические особенности электронно-лучевой сварки требуют особого подхода и к конструированию сварных соединений, и к построению всего технологического процесса.

В качестве материала для лопаток входного направляющего аппарата (ВНА) турбин ГТК-10 и ГТН-25 применяется хромистая нержавеющая сталь электрошлакового переплава мартенситного класса марки 13Х11Н2В2МФ-Ш (ЭИ961-Ш) [3–5].

Сварка стали этого структурного класса сопряжена с определенными трудностями, так как в процессе термического цикла сварки она претерпевает закалку, в результате металл шва и околошовной зоны (ОШЗ) становится более твердым, прочным и хрупким [6, 7]. Степень изменения этих свойств зависит прежде всего от содержания углерода и легирующих элементов, упрочняющих твердый раствор и снижающих температуру γМ превращения, а также от погонной энергии сварки. С повышением погонной энергии увеличивается размер зерна и количество свободного δ-феррита, что приводит к снижению стойкости против образования холодных трещин в шве и зоне термического влияния [8]. Швы, выполненные дуговой сваркой с применением однородных по составу с основным металлом сварочных материалов, имеют низкие пластичность и (особенно) ударную вязкость. При этом необходим предварительный или сопутствующий подогрев выше температуры мартенситного превращения (300–400 °С) и высокий отпуск после сварки — на 20–40 °С ниже температуры отпуска основного металла [9, 10].

Электронно-лучевая сварка за счет высокой концентрации энергии ($\approx 10^7$ Вт/см^2) в локальной области материала (диаметр фокального пятна 0,8–1,0 мм) позволяет получать малые объемы расплавленного металла, в результате чего резко снижается величина напряжений и деформаций в процессе термического цикла сварки, уменьшается склонность к образованию горячих и холодных трещин в швах и зоне термического влияния.

Для выбора оптимальных конструктивных вариантов соединений лопаток необходимо было определить: 1) конфигурацию вставки, закрывающей паз входной кромки; 2) геометрические размеры элементов вставки и расположение ее элементов относительно кромок паза; 3) минимально необходимую величину припуска рабочей части лопатки на механическую обработку; 4) оптимальную величину припуска на свариваемых кромках паза.

Для решения первых двух задач были проведены опыты по электронно-лучевой сварке макетных образцов из стали 2Х13, имитирующих входную кромку лопатки, при различных конфигурациях поперечного сечения вставок из стали 08Х18Н10Т.

В результате проведенных опытных работ оптимальной была сочтена вставка прямоугольного сечения, выступающая над кромками паза на величину $h_1 = 1{,}5 \pm 0{,}1$ мм. (рис. 1, *а*). Такая конструкция соединения обеспечила: хорошее формирование шва с глубиной проплавления не менее 2,5–3,0 мм при величине притупления кромок в пределах 0,5–1,5 мм (рис. 2) и достаточный припуск на механическую обработку входной кромки после сварки.

С целью снижения величины припуска по кромкам паза была изменена конфигурация поперечного сечения вставки. При сварке лопаток с минимальными припусками ($\alpha \approx 0{,}1$–$0{,}2$ мм.) использовалась Т-образная вставка (рис. 1, *б*), верхняя часть которой закрывала острые кромки и предохраняла их от прямого воздействия электронного луча.

Макрошлифы поперечных сечений сварных соединений, выполненных с использованием прямоугольной и Т-образной вставок, показаны на рис. 2 и 3.

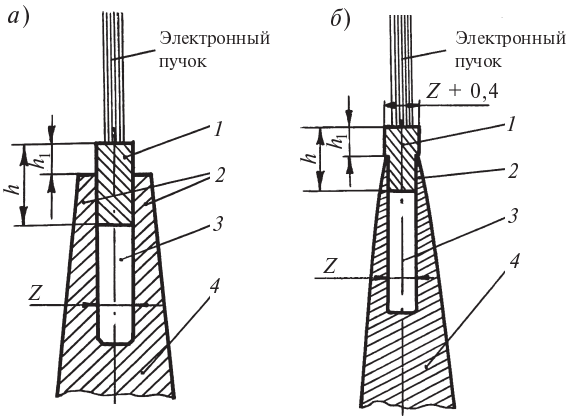


Рис. 1. Варианты конструктивного оформления сварного соединения:
а — со вставкой прямоугольного сечения;
б — со вставкой Т-образного сечения

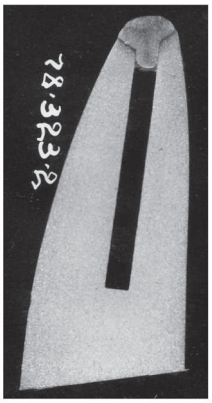


Рис. 2. Макрошлиф сварного соединения со вставкой прямоугольного сечения

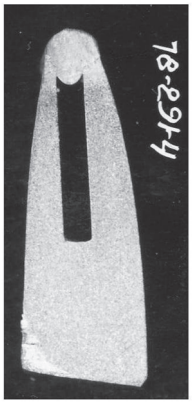


Рис. 3. Макрошлиф сварного соединения со вставкой Т-образного соединения

В процессе проведения опытных работ была выполнена оценка теплового состояния при ЭЛС лопаток термопарным методом с использованием хромель-алюмелевых термопар. Оценка тепловых условий в зоне сварки в сочетании с металлографическими методами исследования может быть использована для анализа и объяснения структурных изменений, которые, в конечном счете, определяют механические свойства сварного соединения. Это также дает возможность корректировать технологический процесс в части параметров его режима. Термические циклы и распределение максимальных температур показаны на рис. 4 и 5.

Основные параметры режима сварки (ток пучка, ускоряющее напряжение, скорость сварки) выбирали из условия минимума погонной энергии при обеспечении глубины проплавления не менее 2,5 мм и удовлетворительного формирования сварного шва.

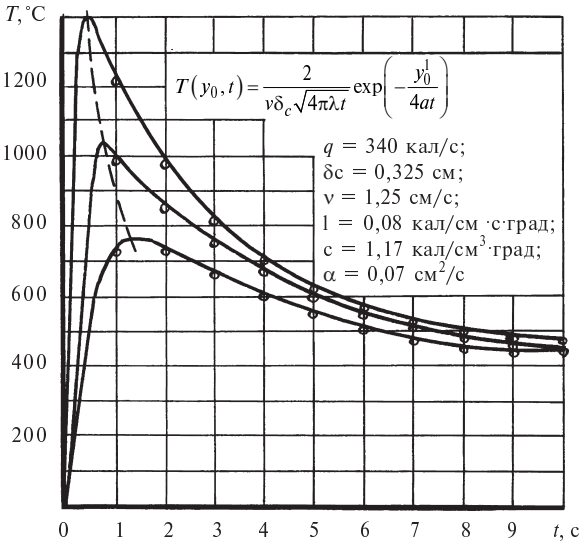


Рис. 4. Термические циклы точек: *1* — $y_0 = 0{,}25$ ($y' = 0{,}1$); *2* — $y_0 = 0{,}35$ ($y' = 0{,}2$); *3* — $y_0 = 0{,}45$ ($y' = 0{,}3$); (— — расчетные значения; ○ — экспериментальные значения)

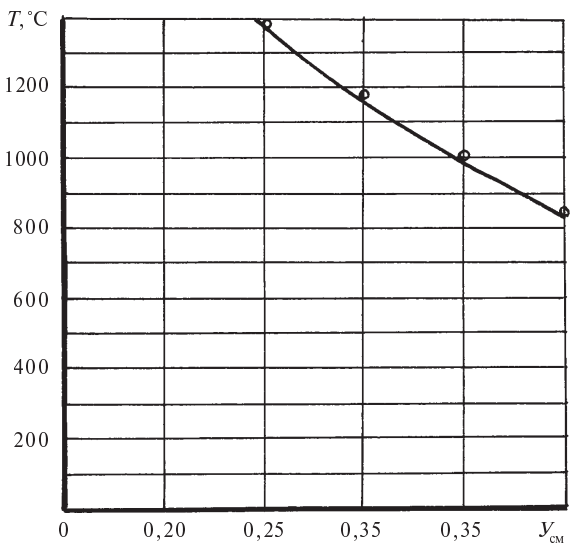


Рис. 5. Распределение максимальных температур (— — расчетные значения; ○ — экспериментальные значения)

После определения оптимальных режимов сварки на макетных образцах ЭЛС выполняли на натурных лопатках. В технологию был введен "косметический" проход. Он выполнял двойную роль: "облагораживание" поверхности сварного шва и — главное — снижение твердости в основном шве и его околошовной зоне.

В качестве присадочных материалов использовали вставки прямоугольного сечения из сталей 13Х11Н2В2МФ-Ш, 08Х18Н10Т и 12Х18Н10Т. Предварительная оценка структурного состояния металла шва по диаграмме Шеффлера [11] при доли участия основного металла в металле шва 10–30 % позволяет предположить, что во всех случаях металл шва должен находиться на границе мартенситной и феррита-мартенситной области. Однако, как показали последующие металлографические исследования, вследствие высоких скоростей охлаждения ниже A_{c3} в структуре шва преобладает мартенсит.

Качественную оценку структуры металла шва и околошовной зоны производили по результатам исследования микрошлифов сварных соединений, вырезанных из лопаток.

Типичные структуры различных участков сварного соединения, выполненного со вставкой из стали 13Х11Н2В2МФ-Ш, показаны на рис. 6.

При охлаждении из аустенитной области металл шва приобретает структуру мелкодисперсного мартенсита, ориентированного под различными углами (рис. 6, *а*).

При переходе от шва к зоне термического влияния (рис. 6, *в*) также имеет место мартенситная структура, характеризующаяся слабой травимостью (по сравнению с металлом шва и основным металлом). В структуре металла "косметического" шва, выполненного при большой величине погонной энергии, наблюдается появление коагулированной карбидной фазы. После отпуска в печи при 700 °С в течение двух часов с последующим охлаждением на воздухе структура шва (рис. 6, *д*) и околошовной зоны (рис. 6, *е*) приближаются к структуре основного металла, но отличаются меньшей дисперсностью. Металл "косметического" шва (рис. 6, *ж*) после отпуска сохраняет направленную структуру, в которой видна коагулированная карбид-

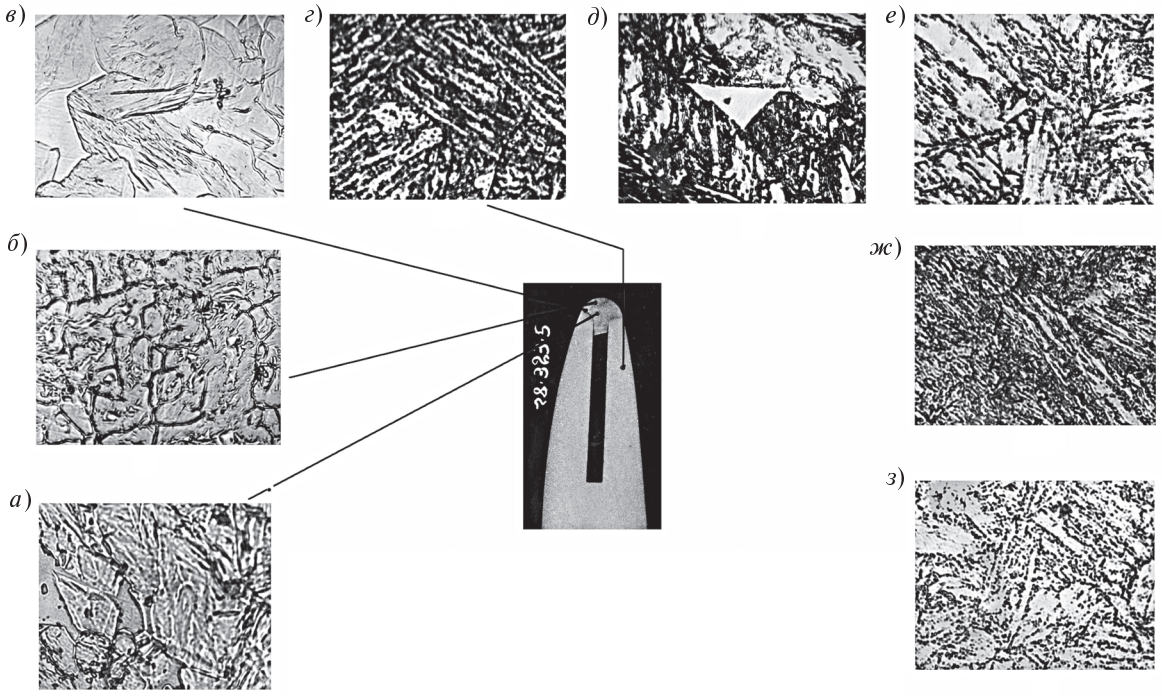


Рис. 6. Микроструктура сварного соединения лопаток, выполненных ЭЛС со вставкой из 13Х11Н2В2МФ-Ш Х1000: *а* — металл шва; *б* — косметический шов; *в* — зона сплавления; *г* — основной металл; *д* — шов после отпуска (700 °С — 2 часа); *е* — ЗТВ после отпуска; *з* — ЗТВ косметического шва после отпуска

ная фаза, а зона термического влияния (рис. 6, *з*) имеет структуру игольчатую.

Исследование распределения твердости в сварных швах (рис. 7) показывает, что непосредственно после сварки (I–I) металл в шве и в зоне термического влияния имеет высокую твердость, свидетельствующую о наличии мартенсита. При переходе к основному металлу твердость понижается до соответствующего ему уровня ($H_V = 260$).

В центре шва твердость понижается в очень узкой зоне до $H_V = 250–300$ (II–II). После отпуска в центре шва твердость составляет $H_V = 250–300$, а в зоне термического влияния ее значения не превышают $H_V = 330$ (III–III, IV–IV).

При использовании в качестве присадочного материала вставок из сталей 08Х18Н10Т и 12Х18Н10Т в сварном шве также возникает структура мартенсита, характеризующаяся высокой твердостью ($H_V = 460–480$). В околошовной зоне у линии сплавления твердость достигает $H_V = 520$. Распределение твердости в сварном соединении показано на рис. 8 (I–I для стали 08Х18Н10Т).

Повторный "косметический" шов наиболее благоприятно воздействует на структуру основного шва, понижая его твердость в ЗТВ "косметического" шва (см. II–II, III–III на рис. 8) до $H_V = 220–280$. Однако твердость самого "косметического" шва остается довольно высокой, и шов имеет мартенситную структуру с выделениями карбидной фазы (IV–IV, V–V на рис. 8). Наиболее характерные структуры сварного соединения с "косметическим" швом показаны на рис. 9, *а—г* (для стали 12Х18Н10Т).

Основные выводы, сделанные по результатам исследования:

Для получения канала подогрева на лопатках входного направляющего аппарата газовых турбин предпочтительным способом сварки является ЭЛС.

При использовании аустенитных вставок "косметический" шов создает в основном шве зону отпуска с пониженной твердостью. Производя несколько повторных проходов с одновременным уменьшением погонной энергии (чтобы уменьшить переплавляемую зону), можно полу-

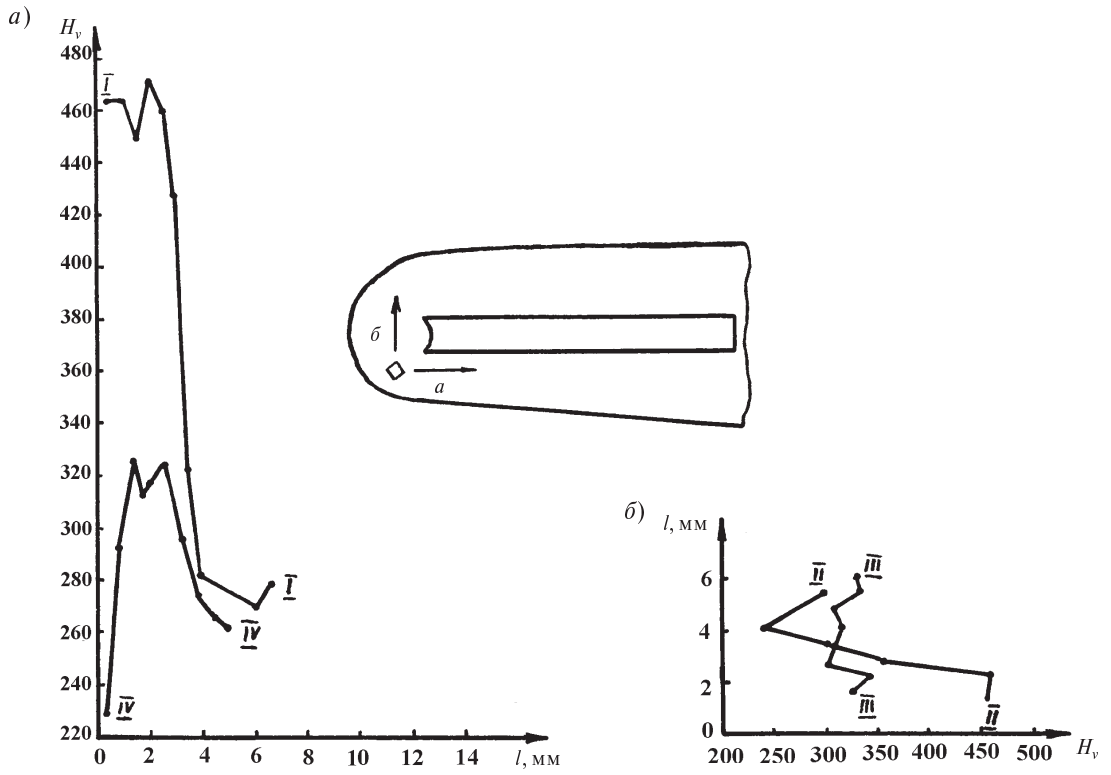


Рис. 7. Распределение твердости в сварных соединениях, выполненных электронным пучком (вставка из стали 13Х11Н2В2МФ-Ш): I–I — после сварки; II–II — «косметический шов»; III–III, IV–IV — после высокого отпуска

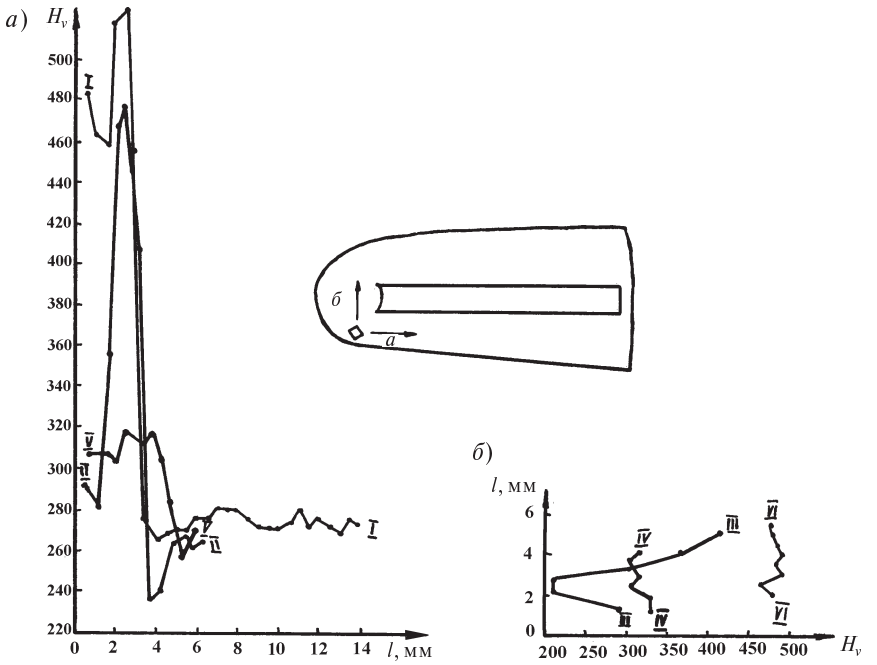


Рис. 8. Распределение твердости в сварных соединениях, выполненных электронным пучком (вставка из аустенитной стали): I–I, IV–IV — материал вставки 08Х18Н10Т; II–II, III–III — материал вставки 12Х18Н10Т «косметический шов»; IV–IV, V–V — материал вставки 12Х18Н10Т после высокого отпуска

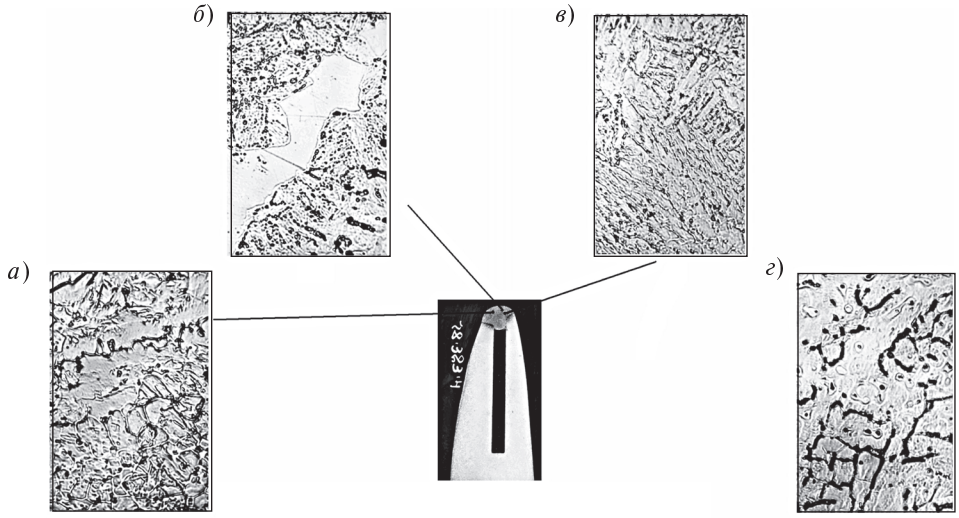


Рис. 9. Микроструктура сварного соединения лопатки, выполненного ЭЛС со вставкой из 12Х18Н10Т, ×1000: *а* — структура косметического шва; *б* — зона перехода от косметического шва к основному; *в* — зона термического влияния косметического шва; *г* — структура косметического шва после отпуска

чить шов с одной или несколькими мягкими прослойками, которые должны оказать благоприятное воздействие на его работоспособность.

В общем случае при необходимости снижения твердости в сварном шве и околошовной зоне можно рекомендовать высокий отпуск.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кириллов, И.И.** Газовые турбины [Текст] / И.И. Кириллов.— М-Л.: ГИТИНЛ, 1948.

2. **Назаренко, О.К.** Электронно-лучевая сварка [Текст] / О.К. Назаренко, Е.И. Истомин, В.Е., Локшин.— М.: Машиностроение, 1966.

3. **Сичиков, М.Ф.** Металлы в турбостроении [Текст] / М.Ф. Сичиков.— М.: Машиностроение, 1974.

4. **Либерман, Л.Я.** Свойства сталей и сплавов, применяемых в котлотурбиностроении [Текст] / Л.Я. Либерман, М.И. Пейсихис.— Л., 1966.— Ч. II.

5. **Каховский, Н.И.** Сварка нержавеющих сталей [Текст] / Н.И. Каховский.— Киев, 1968.

6. **Земзин, В.Н.** Сварка хромистых жаропрочных сталей для деталей паровых турбин на параметры пара 580 °С—240 атм [Текст] / В.Н. Земзин [и др.].— Сб.: Свойства материалов, применяемых в турбостроении и методы их испытаний.— М.-Л.: Машгиз, 1962.

7. **Бушуев, М.Н.** Технология производства турбин [Текст] / М.Н. Бушуев.— М.-Л.: Машиностроение, 1966.

8. **Кривко, М.А.** Электронно-лучевая сварка лопаток теплофикационных турбин [Текст] / М.А. Кривко, В.И. Жаринов Ибатулин Ю.М., // Сб.: V Всесоюзная конференция по электронно-лучевой сварке.— Киев: Наукова думка, 1977.

9. **Ибатулин, Ю.М.** Электронно-лучевая сварка лопаток диафрагм паровой турбины К-500-240-2 [Текст] / Ю.М. Ибатулин, В.А. Гейкин // Сб.: V Всесоюзная конференция по электронно-лучевой сварке.— Киев: Наукова думка, 1977.

10. **Копейкин, Л.В.** Свойства сварных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой на хромистых и хромоникелевых сталях [Текст] / Копейкин Л.В., Расплетин Г.С. [и др.] // Сб.: Электронно-лучевая сварка.— М., 1978.

11. **Сефериан, Д.** Металлургия сварки [Текст] / Д. Сефериан.— М.: ГНТИМЛ, 1963.

УДК: 621.746.: 669.715

В.В. Дрокина

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ, ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК

В последнее время на предприятиях России все чаще при подготовке производства литых деталей используется метод трехмерной печати для изготовления моделей и литейных форм. При этом применяются оборудование, материалы и технологии, импортируемые из других стран. Поэтому у российских пользователей сведений о них, как правило, недостаточно для эффективной организации в кратчайшие сроки производства литых деталей высокого качества.

На кафедре технологии литейных процессов (ТЛП) с 2006 года для изготовления форм методом трехмерной печати при производстве “пилотных” отливок из алюминиевых и магниевых сплавов применяются установка ZPrinter® 310 Plus и формовочная смесь ZCast [1—3].

С целью снижения расхода дорогой формовочной смеси конструирование литейных форм проводится по аналогии с конструированием форм при оболочковом литье, т. е. предусматривает тонкую стенку всех частей формы с элементами их фиксации и возможного механического крепления. Конструкция типовой формы представлена на рис. 1.

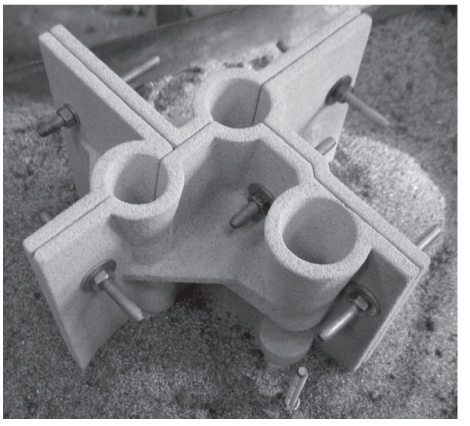


Рис. 1. Типовая литейная форма, полученная методом трехмерной печати

Хорошо известно, что при прочих равных условиях прочность конструкции любого изделия, в том числе и литейной формы, снижается с уменьшением толщины стенки. В связи с этим при изготовлении тонкостенных форм их упрочняют путем пропитывания специальным связующим материалом. В нашем случае химический состав материала был выбран по рекомендациям литературных источников. Формы после пропитывания подвергались просушиванию на воздухе с последующим прокаливанием в течение 60 минут при температуре 400 °С. Целесообразные параметры данного технологического процесса, установленные по результатам специально проведенных лабораторных исследований, существенно отличаются от рекомендации компании ZCorporation, производителя установок трехмерной печати ZPrinter® 310 Plus, как по длительности (5 часов), так и по температуре прокаливания (270 °С) формы [3].

Результаты измерений механических свойств материала в образцах, изготовленных из смеси ZCast, приведены на рис. 2.

Из полученных результатов видно, что "формовочная" смесь в пропитанных связующим раствором образцах имеет наибольшую прочность на разрыв.

После прокаливания прочностные характеристики смеси снижаются, но тем не менее прочность на разрыв "формовочной" смеси в пропитанных образцах остается более высокой, чем у непропитанных.

Компания ZCorporation при конструировании литейных форм рекомендует применять стеки толщиной от 15 мм и более [3]. Результаты проведенного нами исследования показывают (рис. 2), что прочность на разрыв "формовочной" смеси в пропитанных образцах с толщиной стенки 7 мм несколько превосходит прочностные свойства "формовочной" смеси в непропитанных образцах с толщиной стенки 15 мм, изготовленных по технологии компании ZCorporation.

Следовательно, при конструировании литейных форм, изготавливаемых методом трехмерной печати, при наличии последующей операции их пропитывания можно назначать толщину стенки 7 мм вместо 15 мм; это позволит при их производстве получить значительный экономический эффект за счет существенного снижения расхода связующего и смеси ZCast.

Необходимо отметить, что при прокаливании с увеличением температуры этого процесса и длительности выдержки формы из-за интенсивного выгорания связующего материала происходит существенное снижение прочности на разрыв "формовочной" смеси (рис. 3).

В целом результаты, приведенные на рисунках 1–3, показывают, что при конструировании литейных форм можно изготавливать форму с минимальной толщиной стенки 7 мм. При этом

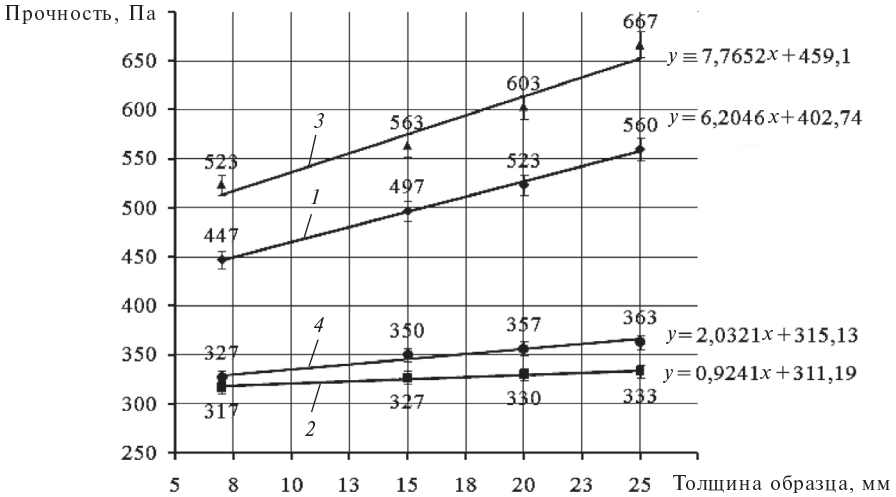


Рис. 2. Прочность на разрыв смеси ZCast в образцах различной толщины без пропитки до прокалки (*1*), без пропитки после прокалки (*2*), с пропиткой до прокалки (*3*) и с пропиткой после прокалки (*4*)

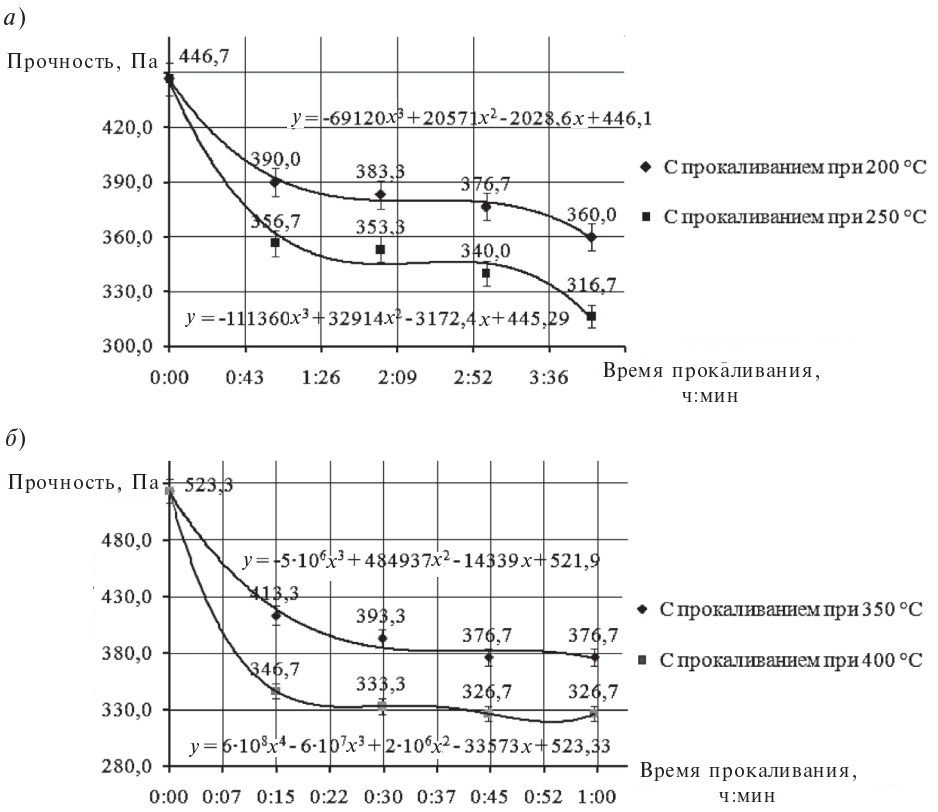


Рис. 3. Прочность “формовочной” смеси ZCast на разрыв в зависимости от режима прокаливания образцов (длительности и температуры)

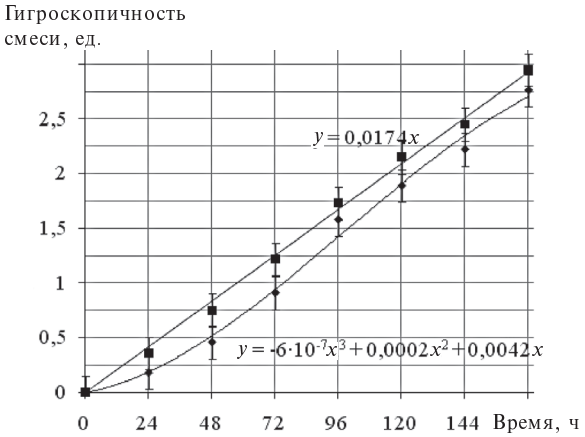


Рис. 4. Зависимость гигроскопичности “формовочной” смеси от длительности прокаливания образцов: ◆ — без прокаливания; ■ — с прокаливанием

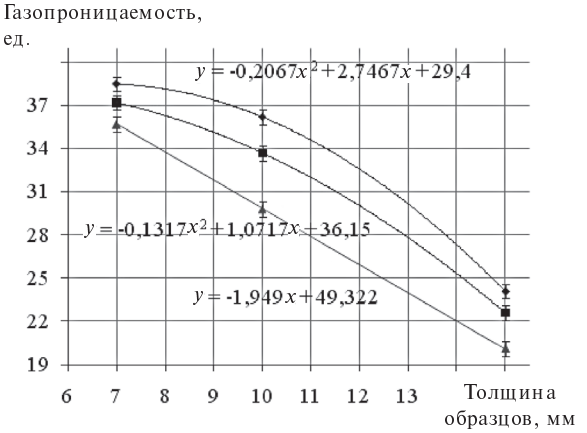


Рис. 5. Газопроницаемость “формовочной” смеси в зависимости от толщины стенки образца: ◆ — исходный (без пропитывания и прокаливания); ■ — без прокаливания, пропитан; ▲ — прокаливание 1 час при температуре 400 °С, пропитан

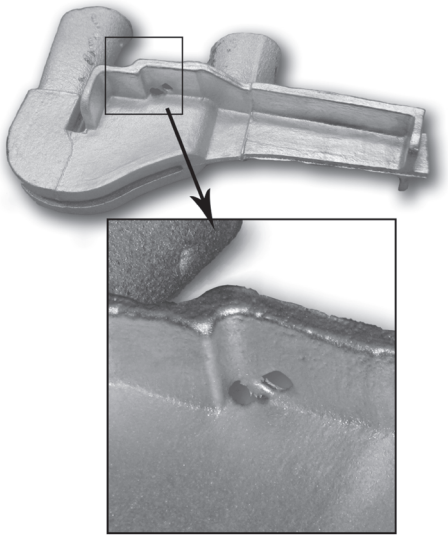


Рис. 6. Газовые поры

для обеспечения необходимой конструктивной прочности и требуемого уровня механических свойств "формовочной" смеси форма должна пропитываться и прокаливаться по специальному режиму.

Однако для выбора оптимального режима подготовки к заливке литейных форм и получения качественного литья немаловажны такие технологические свойства, как гигроскопичность и газопроницаемость материала форм.

Из результатов определения гигроскопичности материала из смеси ZCast (рис. 4) следует, что после пропитывания независимо от этапа прокаливания гигроскопичность материала форм возрастает. Следовательно, при производстве отливок методом быстрого прототипирования заливку напечатанных форм необходимо проводить сразу же после их прокаливания, чтобы предотвратить поглощение ими влаги из атмосферы цеха.

Результаты исследований газопроницаемости "формовочной" смеси показали, что после пропитывания и прокаливания литейных форм по специальному режиму газопроницаемость материала ухудшается (рис. 5).

Исследовав излом материала "формовочной" смеси, можем утверждать, что до пропитывания и прокаливания "формовочная" смесь имеет пористость и рыхлоту, а после обработки материала литейных форм поры закупориваются продуктом термодеструкции пропитывающего раствора. В связи с этим при изготовлении литых деталей из алюминиевых сплавов и применением напечатанных форм, обработанных таким образом, в отливках появляется брак типа газовой пористости (рис. 6).

Следовательно, при конструировании литейных форм в них следует предусматривать систему вентиляции для устранения газовых карманов и улучшения выхода воздуха и других газов из полости формы.

Основываясь на полученных результатах определения механических и технологических свойств "формовочной" смеси, можно заключить, что предложенная технология получения моделей и форм методом трехмерной печати может быть эффективно использована в литейном производстве при получении отливок из алюминиевых сплавов.

Основные результаты наших исследований сводятся к следующему:

1. Установлено, что при производстве отливок из алюминиевых сплавов минимальная толщина стенки литейных форм, изготавливаемых методом 3-х мерной печати на установке ZPrinter® 310 Plus, может составлять 7 мм вместо 15 мм, как это рекомендует компания Z Corporation.

2. Исследование технологических свойств материала на основе смеси ZCast показало, что заливку напечатанных форм следует производить сразу же после их прокаливания.

3. Для исключения появления в отливках брака типа газовой пористости необходимо предусматривать в конструкции формы систему вентиляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принцип действия трехмерной печати (Зрительное восприятие, инновации и технологии: составляющие процесса струйной трехмерной печати) [Текст] / Z Corporation.— М., 2009.— 15 с.

2. Метод литья металлов по технологии ZCast [Текст] / Z Corporation.— М., 2007.— 6 с.

3. Самый быстрый путь создавать физические цветные модели из трехмерных данных [Электронный ресурс] / Z Corporation.— Режим доступа: http://www.zcorp.com/ Дата обращения: 28.01.2010.

УДК 699

И.И. Боголепов, Н.А. Лаптева

ШУМОВАЯ КАРТА ГОРОДА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Современный город сочетает в себе промышленность, транспорт, высокую плотность жилой застройки, зеленые зоны отдыха, спортивные сооружения и многое другое. Главные экологические опасности в нем — загрязнение воздуха, почвы и воды радиация, шум, электромагнитные поля. Шум в этом ряду занимает третье по важности место. Решение проблемы защиты людей от шума в мегаполисах должно начинаться с организации постоянного контроля уровней шума в городе.

К инструментам контроля шума относится и шумовая карта города, где представлены уровни шума на всех основных магистралях, в районах жилья и отдыха людей, на территории промышленных и других предприятий, а также вокруг отдельно стоящих шумных объектов. Шумовая карта города, будучи частью общего экологического мониторинга, используется властями в разных планах: для разработки реально достижимых норм допустимого шума для конкретного города; для проектирования и осуществления технических и иных средств по выполнению этих норм; для применения санкций к тем, кто эти нормы не выполняет. На базе стратегической шумовой карты города в генеральном плане предусматриваются «спальные районы» в тихой части города, а в шумной его части — акустические экраны, звукоизолирующие дома, другие средства и мероприятия по снижению шума (например, вывод шумных предприятий из жилых кварталов или оптимальные режим работы и маршруты наиболее шумного транспорта).

В мегаполисах, в частности в Санкт-Петербурге, наиболее мощным источником шума служит транспорт — наземный, подземный, водный и воздушный. Это в первую очередь грузовые и легковые автомобили, автобусы, трамваи, электропоезда пригородного сообщения, самолеты и вертолеты, речные и морские суда. Второй значимый источник шума — промышленные предприятия и мобильная техника, например строительная. Развитие городов ведет к росту шума и к его опасному проникновению в жилые дома, школы, больницы, в общественные и служебные здания.

Для городского шума характерены широкий спектр и большие флюктуации в пространстве и во времени. При измерении, расчете, нормировании и контроле городского шума используются три величины: уровень звука, эквивалентный уровень звука и максимальный уровень звука.

Уровень звука (УЗ в широком диапазоне частот) L_A, дБА, в нормируемом диапазоне октавных полос частот 31,5–8000 Гц определяется по формуле

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1\left(L_{pi} + k_{Ai}\right)},$$

где L_{pi} — УЗД i-й октавной полосы частот, дБ; k_{Ai} — поправка на частотную характеристику А для i-й октавной полосы частот, дБ; $n = 9$ — число октавных полос частот. Значения k_{Ai} приведены в таблице.

Эквивалентный уровень звука (ЭквУЗ) непостоянного в пространстве и во времени шума $L_{A\text{экв}}$, дБА, в диапазоне октавных полос частот 31,5–8000 Гц по определению есть уровень постоянного шума, который имеет то же самое среднеквадратичное звуковое давление, что и исследуемый непостоянный шум в течение определенного интервала времени T. Он рассчитывается по формуле

$$L_{A\text{экв}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{J}^{m} \tau_j \, 10^{0,1\, L_{iA}} \right), \qquad (1)$$

где T — время воздействия шума; L_{iA}, дБА, — практически постоянное значение уровня звука непостоянного шума за время τ_i.

Поправки к частотной характеристике А для октавных полос

Октавная полоса, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Номер октавной полосы, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значение величины k_{Ai}, дБ	−39,4	−26,2	−16,1	−8,6	−3,2	0,0	1,2	1,0	− 1,1

Максимальный уровень звука (МаксУЗ) непостоянного в пространстве и во времени шума $L_{A\max}$, дБА, в диапазоне октавных полос частот 31,5–8000 Гц по определению есть уровень непостоянного шума, соответствующий максимальному показателю измерительного прямопоказывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчете или уровень звука, превышающей 1 % длительности измерительного интервала за время T при регистрации шума автоматическим оценивающим устройством (статистическим анализатором) в дБА.

Вчера

Первая шумовая карта города у нас в стране (а возможно, и в мире) была составлена в начале 80-х годов в Ленинграде городской санэпидстанцией по инициативе и под руководством энергичного инженера-акустика Аллы Львовны Васильевой. Тогда эквивалентный уровень звука на главных улицах города (Невский проспект, Садовая улица, Большой проспект Петроградской стороны и др.) составлял по данным многочисленных измерений примерно 75 дБА. Большая работа по построению карт шума была проведена и в НИИ строительной физики в Москве под руководством одного из ведущих акустиков России доктора технических наук профессора Георгия Львовича Осипова.

В конце 80-х — начале 90-х годов, примерно через десять лет, эта работа была продолжена под руководством другого известного акустика России — доктора технических наук профессора Алексея Сергеевича Никифорова, президента Восточноевропейской ассоциации акустиков. Им и сотрудниками ЦНИИ имени академика А.Н. Крылова (инженер-акустик Сергей Владимирович Попков и др.) была составлена шумовая карта уже не Ленинграда, а Санкт-Петербурга [1]. Измерения показали, что на главных улицах города эквивалентный уровень звука достиг величины, равной примерно 85 дБА, что на 10 дБА больше уровня шума десятилетней давности. Шум в городе увеличился по субъективному ощущению более чем в два раза. Это очень большое возрастание. Санитарная норма, приводимая соответствующими отечественными и международными документами (в данном случае по СНиПу 23-03–2003 «Защита от шума» для территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям) днем $L_{A\text{экв}} = 55$ дБА (с 7.00 до 23.00 ч.) и ночью $L_{A\text{экв}} = 45$ дБА (с 23.00 до 7.00 ч.).

Появление шумовых карт городов привело к тому, что перед местными законодателями встал вопрос о разработке городского закона по борьбе с шумом, а перед исполнительной властью — о планировании мероприятий по уменьшению шумового воздействия на жителей города. Отметим, кстати, что первый закон по борьбе с шумом был принят еще в городе Сибарисе (Италия, Великая Эллада, примерно VII до н. э.). Там, в частности, строго запрещалось шуметь с заходом и до восхода солнца. Оттуда до нас дошло крылатое слово «сибарит». Окружающим Элладу варварам борьба с шумом казалась тогда излишней роскошью. Спустя двадцать семь столетий все изменилось до наоборот: «варварами» считаются те, кто не борется с шумом. В наше время одни из первых законов об ограничении шума были приняты в Англии [3]. Английский закон 1960 года гласит, что шум и вибрация являются нарушением общественного порядка, предусмотренным законом о здравоохранении 1936 года, часть III. По закону 1960 года местные власти могли действовать против нарушителей общественного порядка, создающих шум, и принимать меры для снижения шума. По этому закону нельзя было возбуждать судебное дело против нарушителей-источников шума, который существовал какое-то время, а затем прекратился. Новый закон 1969 года уже предусматривал возможность возбуждения судебного дела по этому поводу, чтобы предотвратить нарушения в будущем.

В английском законе 1974 года об охране окружающей среды от загрязнений включены все основные положения трех вышеупомянутых законов, но введены и дополнительные моменты. Главные положения этого закона следующие.

1. *Нарушения общественного порядка.* Для нарушителей определяется время проведения работ по снижению шума и намечаются конкретные мероприятия по предотвращению вредного воздействия шума. Меры к нарушителям принимаются отделом здравоохранения или отделом защиты здоровья от воздействия окружающей среды, а также судом магистрата. В последнем случае три или более жителей должны подать жалобу, что и будет поводом для соответствующих действий.

2. *Зоны запрета шума.* Согласно закону местные власти могут объявить любой участок своего района ограниченной по шуму территорией. Измерение шума производится по периметру зоны и строго контролируется.

3. *Планирование работ.* Здесь указаны основные принципы планирования строительства жилых зданий, дорог, работы предприятий промышленности, аэропортов и др. для обеспечения допустимых уровней шума.

4. *Шум строек.* Местные власти должны контролировать шум строек и шум, образующийся при разрушении старых зданий.

Сегодня

Положение сейчас таково, что уровни городского шума во всех мегаполисах мира на основных магистралях превышают санитарные нормы. У общественности и власти промышленно развитых стран возросло понимание необходимости борьбы с шумом и потребность в шумовых картах города для планирования этой борьбы. В частности, у нас по заказу властей многих городов России шумовые карты разрабатывались до «перестройки» специалистами-акустиками ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова в Ленинграде и НИИ строительной физики в Москве [4–7]. Теперь это возрождается. В 2006 году под руководством заведующего кафедрой экологии и ОБЖ Балтийского государственного технического университета «Военмех», президента Санкт-Петербургского общества по борьбе с шумом и вибрацией доктора технических наук профессора Николая Игоревича Иванова по заказу городских властей была начата работа по разработке карты шума для Санкт-Петербурга. Предварительные данные — уровень шума в Санкт-Петербурге в среднем превышает допустимую норму на 10–20 дБА — это огромная величина превышения (см.: Российская газета, 29 ноября 2007, №267(4530), www.rg.ru. Статья Виктора Банева «Карта громкости»). Работа по созданию современной, европейского уровня, карты шума Санкт-Петербурга несмотря на всю ее сложность, трудоемкость, дороговизну и требования высокого профессионализма должна быть, по нашему мнению, завершена и, главное, представлена через Интернет широкому кругу общественности: специалистам-акустикам, санитарным врачам и любому жителю города.

Столичные власти тоже обеспокоены шумом: почти 70 процентов территории Москвы находится в зоне шумового дискомфорта. Такие данные обнародовала ГПУ «Мосэкомониторинг» — организация, которая отвечает за измерение уровня шума в столице. Главный санитарный врач Москвы Николай Филатов заявил, что за последние 10 лет из-за лишнего шума в городе в 2–3 раза увеличился рост сердечно-сосудистых заболеваний и гипертонии. По его убеждению, громкие звуки сокращают на 8–12 лет продолжительность жизни москвичей (Российская газета, 21 января 2008, №10п(4567), www.rg.ru. Статья Марии Ермаковой и Екатерины Севрюковой «Наступление на ухо»).

Завтра

Завтра для нас находится уже сейчас в Европейском Союзе (50 лет назад Советский Союз был во многом впереди). Борьба с шумом в Западной Европе опирается на солидную нормативную базу. Здесь действует практика принятия Европейским парламентом директив, которые направлены на соблюдение единых требований, норм, измерительных процедур и пр. в области борьбы с шумом. Например:

Директива 2000/14/ЕС «О шуме оборудования во внешней среде»;

Директива 2002/49/ЕС «Об оценке шума в окружающей среде»;

Директива 2003/10/ЕС «О требованиях к безопасности и здоровью рабочих под действием шума»;

шуму автотранспорта посвящены Директивы 70/157/ЕЕС, 97/24/ЕС, 2001/43/ЕС;

шуму железнодорожного транспорта — Директивы 96/48/ЕС, 2002/735/ЕС, 2002/732/ЕС;

на ограничение шума авиационного транспорта направлены Директивы 80/51/ЕЕС, 89/629/ЕЕС, 92/14/ЕЕС, 2002/30/ЕС.

Все это внедряется в жизнь. Законодательная база для создания карт шума была определена Директивой 2002/49/ЕС.

Цели Директивы 2002/49/ЕС:

1. Не допустить, предотвратить или сократить вредное действие шума, обеспечив контроль общественности.

2. Разработать сообществом стран Европейского Союза меры по снижению шума.

Показатель шума определяется уровнем звука $L = L_{den}$, дБА, за сутки по формуле

$$L_{den} = 10\lg \times$$

$$\times \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{l_{nigh}+10}{10}} \right) \right],$$

где L_{day} — уровень звука за день, $L_{evening}$ — за вечер, L_{nigh} — за ночь. Расчетный день составляет 12 часов, расчетный вечер — 4 часа, расчетная ночь — 8 часов. Уровни звука L при этом — взвешенные долгосрочные: эквивалентные уровни звука $L_{A\text{экв}}$ или максимальные уровни звука $L_{A\text{макс}}$.

Согласно этой Директиве карты шума должны содержать информацию о существующей или прогнозируемой акустической ситуации, превышении нормативных значений уровня шума, количестве населения и площади территорий, подвергающихся повышенным уровням шума, а также количестве жилых домов, больниц и школ, расположенных на рассматриваемом участке. Согласно европейскому законодательству карты шума должны быть составлены для всех населенных пунктов с населением более 100 тыс. жителей, автомагистралей с интенсивностью движения более 3 млн автомобилей в год, железных дорог с интенсивностью движения более 30 тыс. поездов в год, аэропортов с интенсивностью движения более 50 тыс. операций в год.

Затем каждые пять лет государства-члены должны информировать Комиссию ЕС по основным дорогам, основным железным дорогам, основным аэропортам и агломерациям в пределах их территорий. Соседние государства-члены должны сотрудничать по стратегическому отображению шума и в отношении планов действий для приграничных регионов.

Государства-члены ЕС должны обеспечить проведение консультаций с общественностью по поводу предложений о планах действий с учетом ранних и эффективных возможностей для участия в подготовке и пересмотре планов действий, чтобы результаты такого участия были приняты во внимание и общественность была информирована о принятых решениях. Должно быть предусмотрено предоставление достаточного времени на каждом этапе процесса для участия общественности. Государства-члены ЕС должны обеспечить, чтобы стратегические карты были доступны и распространены среди населения в соответствии с законодательством Сообщества, в частности с Директивой 90/313/ЕЕС о свободе доступа к информации об окружающей среде, в том числе с помощью доступных информационных технологий. Информация должна быть четкой, понятной и доступной. Должно быть предусмотрено краткое изложение наиболее важных моментов.

Минимальные требования для шумовой карты

1. На стратегической карте шумов должны быть представлены данные по одному из следующих аспектов:

существующие, предыдущие или будущие ситуации шума с точки зрения шумового показателя;

превышение предельного значения;

предполагаемое число жилых домов, школ и больниц в определенной территории, которые подвергаются конкретному значению показателя шума;

оценочное число людей, подвергающихся воздействию шума.

2. Стратегические карты шумов могут быть представлены общественности в форме: графических изображений, числовых данных в таблицах, данных в электронной форме.

3. На стратегических шумовых картах агломераций необходимо делать особый акцент на шуме, излучаемом дорожным движением, железнодорожным транспортом, аэропортами, деятельностью промышленных объектов, включая порты.

Минимальные требования к планам действий

1. В план действий должны входить по меньшей мере следующие элементы:

описание агломерации, основных дорог, крупных железнодорожных узлов или крупных аэропортов и других источников шума;

указание ответственного органа;

правовой контекст;

любые предельные значения на месте;

отчет о результатах отображения шума;

оценка предполагаемого числа людей, подвергшихся воздействию шума, выявление проблем и ситуаций, которые должны быть улучшены;

отчет о публичных консультациях;

любые меры уменьшения шума, уже вступившие в силу, и любые проекты в стадии подготовки;

действия, которые компетентные власти намерены принять в ближайшие пять лет, включая любые меры для сохранения района тихим;

долгосрочная стратегия;

финансовая информация — бюджеты, экономическая оценка эффективности затрат и оценка выгоды;

положения, позволяющие оценивать осуществление и результаты плана действий.

2. Действия, которые компетентные власти намерены предпринять в разных областях, в пределах своей компетенции:

дорожно-транспортное планирование;

планирование землепользования;

технические меры воздействия на источники шума;

выбор менее шумных источников;

уменьшение передачи звука;

нормативная или экономическая мера.

3. План должен содержать смету на каждое действие с точки зрения сокращения числа пострадавших людей.

Данные, которые должны быть направлены в специальную комиссию ЕС

1. *Для агломераций (компактная пространственная группировка поселений):*

1.1. Краткое описание агломерации: месторасположение, площадь, количество жителей.

1.2. Ответственный орган.

1.3. Программы управления шумом, которые были проведены в прошлом, и меры.

1.4. Вычисление или методы измерений, которые были использованы.

1.5. Число людей (сотни), проживающих в жилищах, которые подвергаются воздействию каждой из частотных октавных полос 55–59, 60–64, 65–69, 70–74, > 75 Гц значений L_{den} в четырех метрах над поверхностью земли на наиболее подверженных шуму фасадах: отдельно для шума от автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта и из промышленных источников. Цифры должны быть округлены до ближайшей сотни (например, 5200 для значений между 5150 и 5249; 100 — между 50 и 149; 0, если менее 50).

1.6. Предполагаемое общее число людей (сотни), проживающие в жилищах, которые подвергаются воздействию каждой из следующих частотных октавных полос 50–54, 55–59, 60–64 , 65–69, > 70 Гц значений l_{nigh}, дБА в четырех метрах над поверхностью земли на наиболее подверженных фасадах, отдельно для автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта и промышленных источников.

1.7. В случае графического представления стратегические карты должны иметь контуры 60, 65, 70 и 75 дБА.

1.8. Краткое изложение плана действий, охватывающего все важные аспекты.

2. *Для крупных дорог, основных железных дорог и крупных аэропортов:*

2.1. Общее описание дороги, железной дороги и аэропорта (расположение, размер и данные о трафике).

2.2. Характеристика их окружения (агломерации, села, деревни или иное, информация о землепользовании, другие основные источники шума).

2.3. Программы управления шумом, которые были проведены в прошлом и меры.

2.4. Вычисления или методы измерений, которые были использованы.

2.5. Предполагаемое общее число людей (сотни), живущих за пределами агломераций в жилых помещениях, которые подвергаются воздействию каждой из октавных полос 55–59, 60–64, 65–69, 70–74, > 75 Гц для значений L_{den}, дБА, в 4-х метрах над поверхностью земли на фасадах, в наибольшей степени подверженных шуму.

2.6. Предполагаемое общее число людей (сотни), живущих за пределами агломераций в жилых помещениях, которые подвергаются воздействию каждой из октавных полос 50–54, 55–59, 60–64, 65–69, > 70 Гц для значений l_{nigh}, дБА, в 4-х метрах над поверхностью земли на фасадах, в наибольшей степени подверженных шуму.

2.7. Общая площадь (в км^2), подверженная шуму частот, выше, чем 55, 65 и 75 для значений L_{den}, дБА. Предполагаемое общее количество жилых помещений и общее число людей (сотни), проживающих в каждой из этих областей должны быть также предоставлены.

Недостаток всех существующих карт шума городов и агломераций в России и в Европейском Союзе — неизвестные точность и надежность указанных в них величин уровней звука.

Настало время разработать метод определения точности и надежности шумовой карты города, а значит, и иметь рациональную возможность повышать их практическую эффективность. Для разработки такого метода авторы данной статьи воспользовались классическим аппаратом дисперсионного анализа теории вероятностей и математической статистики [1, 2]. Итак, городской шум будем аппроксимировать стационарно-случайной функцией при нормальном распределении измеряемой величины. Для такого распределения в данном случае предлагается производить статистическую оценку результатов измерения шума с учетом как пространственных, так и случайных флуктуаций во времени следующим образом.

Представим отдельные результаты измерения городского шума $L = x_{ij}$ по формулам (1) и (2) в виде матрицы значений $\mathrm{M}\left(x_{ij}\right)$, в строках которой по горизонтали находятся величины x_i в i разных точках пространства общим числом n, а по вертикали, в столбцах — величины x_j в различные моменты времени j общим числом m. Если случайные отклонения измерений x в пространстве не зависят от случайных отклонений этой величины во времени, то матрица значений $\mathrm{M}\left(x_{ij}\right)$ трансформируется в матрицу значений $\mathrm{M}\left(x_i + x_j\right)$, где величина x_i зависит только от измерений в пространстве, а величина x_j зависит только от измерений во времени.

В результате имеем:
среднюю величину

$$\bar{\bar{x}}_{nm} = \bar{\bar{x}}_{mn} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i + \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} x_j;$$

дисперсию отклонений в пространстве

$$D_0\left(x_i\right) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2;$$

дисперсию отклонений во времени

$$D_0\left(a_j\right) = \frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}\left(x_j - \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} a_j\right)^2$$

и дисперсию отклонений в пространстве и во времени

$$D_0 = D_0\left(x_i\right) + D_0\left(x_j\right).$$

Воспользуемся следующим соотношением дисперсионного анализа [2]:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(x_{ij} - \bar{\bar{x}}_{nm}\right)^2 =$$

$$= \frac{1}{2}\left[m\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{x}_{im} - \bar{\bar{x}}_{nm}\right)^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(x_{ij} - \bar{x}_{nj}\right)^2\right] +$$

$$+ \frac{1}{2}\left[n\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{x}_{nj} - \bar{\bar{x}}_{nm}\right)^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(x_{ij} - \bar{x}_{im}\right)^2\right],$$

где $\bar{\bar{x}}_{nm} = \frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij}$; $\bar{x}_{nj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ij}$; $\bar{x}_{im} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} x_{ij}$.

Поскольку зависимость между x_i и x_j в действительности может, хотя бы частично, существовать и обычно $n \neq m$, то наименьшая погрешность будет соответствовать приведенному выше соотношению для средней арифметической величины перекрестных значений матриц перехода от $\mathrm{M}\left(x_{ij}\right)$ к $\mathrm{M}\left(x_i + x_j\right)$. Следовательно,

$$D\left(a_j\right) = \frac{1}{2}\left[S^2\left(\bar{x}_{nj}\right) + \bar{S}^2_{mn}\right]$$

и

$$D\left(x_i\right) = \frac{1}{2}\left[S^2\left(\bar{x}_{im}\right) + \bar{S}^2_{nm}\right].$$

Тогда расчетные формулы для оценки сверху дисперсий с использованием функций Пирсона $\Psi\left(\chi^2_q\right)$ с вероятностью, близкой к единице, примут вид

$$\tilde{D}\left(x_i\right) = \frac{1}{2}\frac{n}{\chi^2_q}\left[S^2\left(\bar{x}_{im}\right) + \bar{S}^2_{nm}\right]$$

и

$$\tilde{D}\left(a_j\right) = \frac{1}{2}\frac{m}{\chi^2_q}\left[S^2\left(\bar{x}_{nj}\right) + \bar{S}^2_{mn}\right],$$

где $S^2\left(\bar{x}_{nj}\right) = \frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{x}_{nj} - \bar{\bar{x}}_{nm}\right)^2$;

$$\overline{S}^2_{mn} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S^2_{im};$$

$$S^2\left(\overline{x}_{im}\right) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{x}_{im} - \overline{\overline{x}}_{mn}\right)^2;$$

$$\overline{S}^2_{nm} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} S^2_{nj};$$

$$S^2_{im} = \frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}\left(x_{ij} - \overline{x}_{im}\right)^2;$$

$$S^2_{nj} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \overline{x}_{nj}\right)^2.$$

Окончательно получим с вероятностью $\Phi(t)\Psi\left(\chi^2_q\right)$, где $\Phi(t)$ — функция Лапласа, статистическую оценку «рукава» результатов измерения городского шума при достаточно больших значениях величины x, практически уже при $nm > 100$ $(n \geq 10,\ m \geq 10)$, в частности среднюю величину можно оценивать по формуле

$$\overline{\overline{x}}_{nm} = \overline{\overline{x}}_{nm} \pm \frac{t}{\sqrt{nm}}\sqrt{\tilde{D}(x_i) + \tilde{D}\left(x_j\right)}.$$

И при тех же $nm > 100$ $(n \geq 10,\ m \geq 10)$ получим наибольшие значения x по формуле значений для шумовой карты города согласно следующему выражению:

$$L_{ij} = \tilde{x}_{\max}(i, j) = \overline{\overline{x}}_{nm} + t\sqrt{\tilde{D}(x_i) + \tilde{D}\left(x_j\right)}. \quad (3)$$

Тогда значения шума наибольшие из возможных с учетом отклонений только в пространстве рассчитываются по формуле

$$L_i = \tilde{x}_{\max}(i) = \overline{\overline{x}}_{nm} + t\sqrt{\tilde{D}\left(x_i\right)}, \quad (4)$$

а наибольшие из возможных с учетом отклонений только во времени — по формуле

$$L_j = \tilde{x}_{\max}(j) = \overline{\overline{x}}_{nm} + t\sqrt{\tilde{D}\left(x_j\right)}. \quad (5)$$

В наиболее ответственных случаях практики борьбы с шумом, каким является составление шумовой карты города, рекомендуется принимать следующие значения надежности: а) вероятность $\Phi(t) = 0{,}9973$ (высшая степень надежности), тогда $t = 3{,}00$; б) вероятность $\Psi\left(\chi^2_q\right) = 0{,}95$, тогда χ^2_q имеет следующие значения в зависимости от n, m:

n, m	χ^2_q
10	3,32
11	3,94
12	4,60
13	5,20
14	5,90
15	6,60
16	7,30
17	8,00
18	8,70
19	9,40
20	10,1
21	10,9
22	11,6
23	12,3
24	13,1

Итоговая вероятность статистических оценок величин уровней звука $x = L$, дБА, при выбранных $\Phi(t) = 0{,}9973$ и $\Psi\left(\chi^2_q\right) = 0{,}95$ дает надежность $P = \Phi(t)\ \Psi\left(\chi^2_q\right) \approx 0{,}95$ указанных величин для шумовой карты города по формуле (3) с точностью $\Delta L = \left|t\sqrt{\tilde{D}(x_i) + \tilde{D}\left(x_j\right)}\right|$, дБа. Задавая величину надежности (например, $P = 0{,}95$) и величину точности (например, $\Delta L = 1$ дБА) получаем по предложенной методике число измерений эквивалентных уровней звука L_{ij}, дБА, в пространстве (n) и во времени (m). Проблема представления уровней звука на шумовой карте города одним числом для конкретной целой улицы, площади, переулка и т. д. и одновременно для целого года может быть решена предложенным методом с указанием точности и надежности этого числа.

Шумовые карты города и агломераций, составляемые с заданной точностью и надежностью, потребуют проведения невиданного до сих пор количества измерений уровней звука в пространстве и во времени и невиданной до сих пор скорости обработки результатов этих измерений. Пример: 2 км Невского проспекта в Санкт-Петербурге с $n = 10$ и $m = 24$ потребуют в сутки измерений уровней звука $nm = 240$; если проводить эти измерения 10 раз в месяц, то в год ко-

личество измерений уровней звука только на Невском проспекте составит 240·10·12 = 28800. Современная акустическая аппаратура, компьютерная техника и средства связи позволяют это сделать.

В России составление шумовых карт города и агломераций в составе проектов строительства и реконструкции объектов должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 53187–2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий» и требованиям строительных норм и правил СНиП 23-03–2003 «Защита от шума», а также требованиям соответствующих международных стандартов. Законодательной базой для создания карт шума у нас может временно послужить подробно рассмотренная выше Директива Европейского Союза 2002/49/ЕС «Об оценке шума в окружающей среде».

Главной проблемой шумовых карт города у нас и за рубежом продолжает оставаться неопределенная точность и надежность указанных в них величин уровней звука [3–9]. Авторы предложили метод с использованием аппарата дисперсионного анализа теории вероятностей и математической статистики [1, 2], который может решить эту проблему [10]. Электронная база акустических измерений, компьютерная техника XXI века и глобальные средства связи достигли сегодня уже такого уровня, что применение предлагаемого метода является вполне реальным делом, не хватает лишь продвинутых специалистов. Работа в этом направлении может быть продолжена в рамках, например, двух кандидатских диссертаций в Российской Федерации и Европейском Союзе (методика — в РФ, аппаратура — в ЕС) путем объединения усилий национальных исследовательских университетов, производителей акустической аппаратуры, компьютерной техники и средств связи, а также центров сертификации, социальных учреждений и властных структур. Это именно тот случай, когда важное дело следует решительно продвигать сообща — силами специалистов, которые квалифицированно владеют умением создавать с помощью новейшей измерительной техники, мощных компьютеров и системы ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) точные и надежные шумовые карты города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Романовский, В.И.** Математическая статистика [Текст] / В.И. Романовский.— М.-Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938.

2. **Дунин-Барковский, И.В.** Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / И.В. Дунин-Барковский, Н.В. Смирнов.— М.: Гостехиздат, 1955.

3. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии [Текст] / Под ред. Дж. Вебба; пер. с англ. под ред. И.И. Боголепова.— Л.: Судостроение, 1981.

4. **Боголепов, И.И.** Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. [Текст] / И.И. Боголепов; предисл. академика АН СССР И.А. Глебова. Л.: Судостроение, 1986.

5. Справочник проектировщика. Защита от шума в градостроительстве [Текст] / Под ред. Г.Л. Осипова.— М.: Стройиздат, 1993.

6. **Никифоров, А.С.** Проблема акустического загрязнения в Санкт-Петербурге [Текст] / А.С. Никифоров, Н.И. Иванов // Концепция развития Санкт-Петербурга на ближайший и отдаленный периоды с расстановкой приоритетов, основанных на общественном согласии: Мат. третьего съезда Санкт-Петербургского Союза научных и инженерных обществ. — СПб, 1996. Т. 1.

7. **Боголепов, И.И.** Архитектурная акустика [Текст]: учебник-справочник / И.И. Боголепов, предисл. акад. АН СССР и РАН И.А. Глебова.— СПб.: Судостроение, 2001.

8. **Боголепов, И.И.** Строительная акустика [Текст] / И.И. Боголепов; предисл. акад. РАН Ю.С. Васильева.— СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006.

9. **Иванов, Н.И.** Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом [Текст]: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Безопасность жизнедеятельности» / Н.И. Иванов.— М.: Изд-во Университетская книга, Логос. 2008.

10. **Боголепов, И.И.** Строительная акустика [Текст].— 2-е изд. / И.И. Боголепов; предисл. акад. РАН Ю.С. Васильева. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2010.

УДК 581.145:338.43:339(075.8)

В.Я. Кузеванов, С.В. Сизых

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БОТАНИЧЕСКИХ САДОВ: СВЯЗЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ОБЩЕСТВА

Концепция устойчивого развития, сформировавшаяся вслед за опубликованием в 1980 году «Всемирной стратегии охраны природы», вскрыла причинно-следственные связи между экономическим ростом и деградацией окружающей среды, а также определила центральную роль образования в решении экологических проблем. Впервые на то, что ботанические сады могут внести существенный вклад в решение проблемы устойчивого развития, было указано в Стратегии ботанических садов по охране растений (Botanic Gardens Conservation Strategy) [3], где констатировалось: ботанические сады — «необходимый элемент сохранения живых ресурсов для устойчивого развития». В настоящее время ботанические сады (и дендрарии) определяются как «ботанические институты, имеющие документированные коллекции живых растений для целей научных исследований, сохранения, демонстрации и образования» [6].

В последнее десятилетие в ботанических садах мира наблюдаются устойчивые тенденции изменений, во-первых, к диверсификации их функций, во-вторых, к смещению приоритетов от преимущественно узковедомственных к преимущественно публичным, к удовлетворению нужд общества, в-третьих, к смещению приоритетов от стратегии все большего накопления коллекций растений к развитию внешних ресурсов и сохранению/восстановлению биоразнообразия и культурного наследия [8].

Ботанические сады руководствуются многими международными конвенциями по сохранению биоразнообразия и улучшению благосостояния людей, среди которых Конвенция о биологическом разнообразии [2], Повестка дня 21 века — Программа действий для устойчивого развития, Глобальная стратегия по охране растений [3], Международная повестка для ботанических садов по сохранению природы [5] и др. На национальном уровне существуют правила, определяющие деятельность ботанических садов и стран при доступе к биоразнообразию и распределению выгод от экономического использования растений и их производных.

Ботанические сады всегда находились между природой и обществом, оказывая содействие в улучшении благосостояния людей через исследования и образование (рис. 1), что и определяло все производные роли ботанических садов как экологически значимых ресурсов.

Функции ботанических садов в связи с биоразнообразием и благосостоянием людей

Как инновационные институты ботанические сады помогают людям через интродукцию новых экономически важных видов растений, создание дружелюбной и безопасной среды, улучшение и украшение населенных пунктов, репатриацию редких видов растений как потенциальных источников ценных свойств для будущих поколений, садовую терапию, дополнительное образование и публичное просвещение и т. д. Ресурсы Ботанических садов важны для устойчивого развития и связи биоразнообразия с публичным просвещением, созданием безопасной среды обитания, здоровьем, социо-экологическими и экономическими аспектами благосостояния человека [7].



Рис. 1. Классическая парадигма “Ботанического сада” как интерфейса между природой и обществом: интродукция экономически важных растений обеспечивает ресурсы для выживания и улучшения благосостояния людей

Список основных направлений деятельности и функций ботанических садов очень широк (см. таблицу), он включает наряду с научными исследованиями все возможные способы организации рационального и устойчивого использования ресурсов растений, что подчеркнуто в Международной Повестке ботанических садов по сохранению растений [5]. Каждый ботанический сад, основываясь на своих ресурсах и ориентируясь на нужды общества, идентифицирует стратегию и направления развития научных и образовательных проектов [8], определяет свою социо-экологическую роль и позиционирование в регионе.

Существующие в мире ботанические сады по своим характеристикам, структуре, функциям и форме собственности очень разнообразны. Очевидно, что характеристики ботанических садов зависят от климатических условий, социо-экономического окружения, истории, этнокультурных традиций и местоположения. Это определяет уникальность каждого ботанического сада и его региональную роль как комплекса экологически значимых ресурсов.

Обычно запросы, адресованные местным сообществом к ресурсам ботанических садов и их сотрудникам, намного шире, чем узкие рамки ведомства. Появляются новые вызовы, новые социально-экономические приоритеты, конкурентные отношения. Это стимулирует необходимость реформирования и расширения ряда целей и задач университетских ботанических садов как уникальных объектов высшей школы. В местах с хорошо развитыми связями между ботаническими садами и населением местное сообщество, имея существенное влияние или частичный общественный контроль над ресурсами ботанических садов, помогает им развивать свои ресурсы довольно эффективно и устойчиво.

Гармонизация деятельности ботанических садов с нуждами местного населения — это, по сути, задача сохранения баланса в изменяющемся мире. Вызовы и противоречия между ориентацией деятельности ботанических садов «на себя» и «на внешние связи» являются основной причиной возможного расхождения в развитии многих ботанических садов, которые определя-

Основные направления деятельности ботанических садов (по материалам International Agenda for Botanic Gardens in Conservation, 2000) [5]

Сохранение биоразнообразия и связанные с этим исследования	Создание научной основы для рационального использования ресурсов растений	Образование и публичное просвещение
1. Изучение биологии интродуцированных растений в культуре. 2. Создание генных банков местных видов, включая семенные банки и культуры ткани. 3. Развитие гербариев и исследований по систематике растений. 4. Репатриация видов в природные местообитания и исследования по их восстановлению. 5. Мониторинг и исследование влияния загрязнения природной среды на растительность и растения. 6. Исследование местных видов растений, сохранение и восстановление редких и исчезающих видов. 7. Включение местного населения в сохранение окружающей среды и принятие решений по защите растений	1. Культивирование различных коллекций растений. 2. Исследования по этноботанике и традиционному использованию растений. 3. Исследования по садоводству. 4. Комплексная защита растений от болезней и вредителей. 5. Лабораторные исследования, включая размножение растений in vitro (культура ткани). 6. Испытание и интродукция новых генетических ресурсов пищевых растений. 7. Декоративное садоводство и цветоводство. 8. Культивирование, размножение и сохранение культиваров, включая старые формы (сорта). 9. Планирование и озеленение городов, использование городских земель	1. Образовательные программы по охране окружающей среды. 2. Профессиональное развитие, стажировки по ботанике, садоводству и экологии. 3. Публичные библиотеки и информационные центры. 4. Создание условий для рекреации и реабилитации. 5. Обучение учителей. 6. Развитие экологического туризма. 7. Публикация специальной и научно-популярной литературы. 8. Консультирование посетителей. 9. Дистанционное обучение. 10. Привлечение СМИ для просвещения населения

ют свою дальнейшую деятельность и позиционирование в обществе и в стране.

Тенденции свидетельствуют: многие ботанические сады мира с обновленными ресурсами и новыми технологиями постепенно вырастают из структурных ведомственных рамок и становятся важными элементами национального природного и культурного наследия. С конца XX века роль ресурсов ботанических садов выросла благодаря их вовлечению в развитие экономической ботаники, любительского садоводства, сельского хозяйства, рационального использования биоразнообразия, улучшения среды обитания и экологического образования местного населения (рис. 2).

Например, Ботанический сад Иркутского государственного университета (БС ИГУ) — единственный ботанический сад в байкальской Сибири, он содержит коллекции более чем 3500 видов и сортов растений, представляющих флору Байкальского региона и различных регионов мира [10]. Особое внимание уделяется интродукции и культивированию устойчивых растений, способных выживать в климатических условиях юга Иркутской области.

Ботанические сады играют важную роль в интродукции новых устойчивых форм пищевых и декоративных растений для любительского садоводства. Например, новые формы абрикоса были отобраны и размножены в БС ИГУ, и сейчас они доступны для населения [9]. Миндаль черешковый (*Amygdalus pedunculata Pall.*), имеющий ограниченный природный ареал в Бурятии и Монголии, интродуцирован в БС ИГУ с 1985 года, ежегодно цветет и плодоносит, в культуре устойчив и рекомендован как декоративный

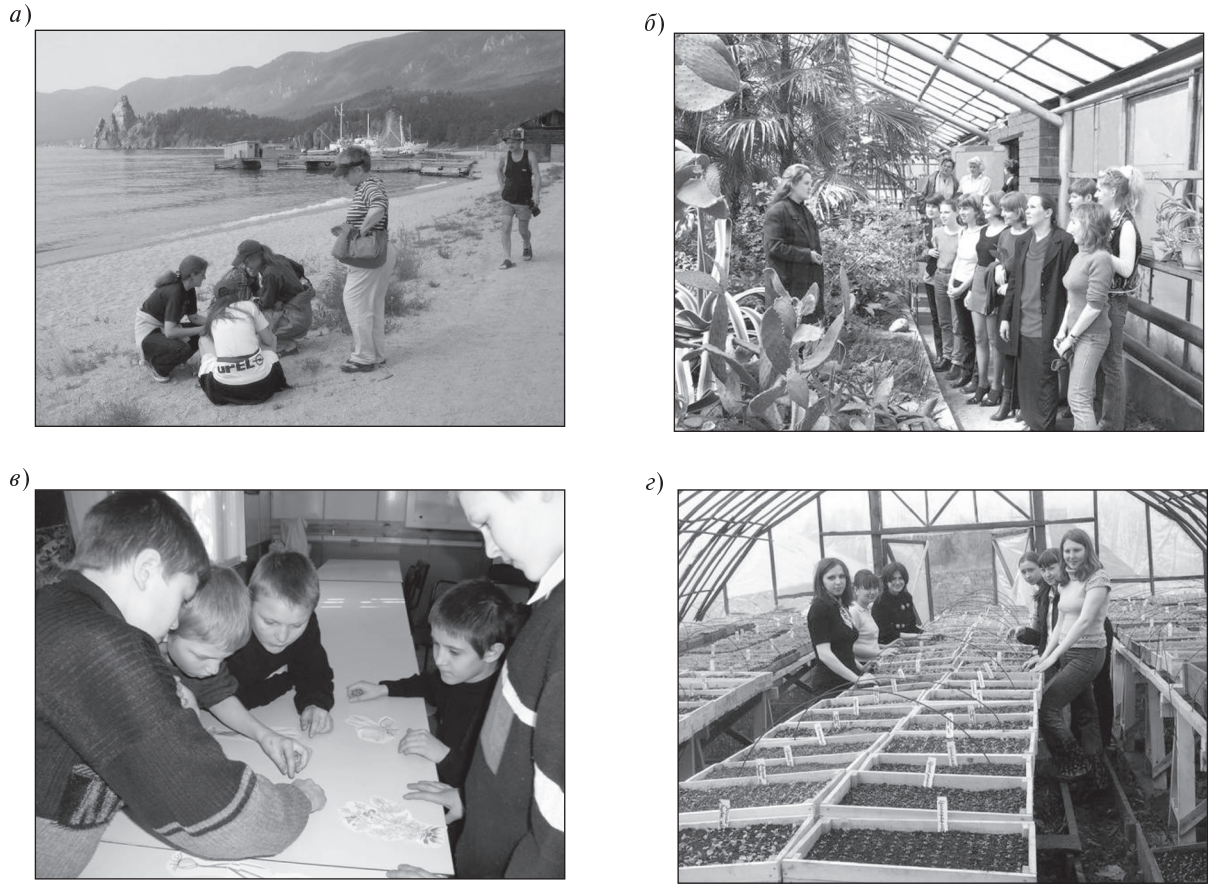


Рис. 2. Ботанический сад в действии: *а* — полевые исследования редких видов; *б* — образовательные курсы для студентов и школьников по различным направлениям; *в* — программа “садовой терапии” для социальной адаптации и реабилитации детей со специальными нуждами; *г* — практические занятия по садоводству для студентов (фото из архива Ботанического сада Иркутского государственного университета)

кустарник для озеленения в городах юга Иркутской области. Сегодня в БС ИГУ выращивается более 100 видов из региональных Красных книг, при этом культивируемые растения рассматриваются как «живой» генный банк редких видов. В течение 70 лет своего существования сотрудниками БС ИГУ введены в культуру и испытаны тысячи видов и форм растений, привезенных из экспедиций или полученных из других регионов. В результате выявлены устойчивые виды и сорта, которые рекомендованы для озеленения Иркутска и любительского садоводства, в том числе около 300 сортов плодово-ягодных и 420 видов и сортов декоративных древесных растений [10]. При анализе архивных данных выявлено, что многие растения впервые появились в Байкальском регионе именно благодаря деятельности БС ИГУ. В последнее время (2000–2009 гг.) в сад поступало в среднем около 1200 видов и сортов растений ежегодно.

Активность ботанических садов по мобилизации генетических ресурсов позволяет обогащать культивируемую флору региона новыми видами растений, значимыми для экономики и окружающей среды. Существует много примеров, когда ботанические сады инициировали активность населения по улучшению городской среды обитания, помогая создать новые «зеленые» бизнесы и, соответственно, рабочие места, образовывая людей, давая им практические навыки выживания. Ботанические сады мира получают денежные и неденежные выгоды через свою деятельность, ориентированную на население и связанную с исследованиями, образованием и коммерциализацией своих материальных и нематериальных ресурсов. Такая обратная связь обеспечивает устойчивое развитие ботанических садов и в том числе поддерживает программы по сохранению редких растений и восстановлению их в природных местообитаниях (рис. 3, *в* и *г*).

Образование всегда рассматривалось как одна из важнейших функций университетских ботанических садов. Каждый ботанический сад исходя из имеющихся ресурсов, возможностей и социальных запросов определяет свою стратегию и направление развития научных и образовательных проектов. Важно, чтобы ботанический сад сумел определить, на какие целевые группы и слои населения следует ориентировать публичные программы, чтобы они были востребованы и имели социальный резонанс.

Традиционно образование строилось на занятиях со студентами по курсу «ботаника» и на экскурсиях для школьников. До недавнего времени такой подход считался вполне достаточным. Но в последние годы изменился социальный запрос общества, предъявляемый к ботаническим садам. Потребность в их мультидисциплинарных программах становится гораздо шире и разнообразнее, чем требуется в структурных рамках университетских учебно-научных задач. В настоящее время в БС ИГУ последовательно внедряется традиция поддержания и развития многоуровневого образования и просвещения, с охватом широкого возрастного спектра целевых групп — от детей детсадовского возраста и школьников до зрелых людей.

Применение опыта других ботанических садов позволяет шире использовать существующие ресурсы. Например, программа «Садовая терапия» основана на опыте Чикагского ботанического сада и Австралийского национального ботанического сада, она становится очень востребованной людьми с особыми нуждами. Образовательные и публичные программы для специальных групп посетителей (дети с ограниченными возможностями, семьи с маленькими детьми, пожилые люди и др.) — важная часть деятельности ботанического сада по улучшению благосостояния людей.

Ботанические сады мира и развитие человеческого потенциала

Современные глобальные, межрегиональные и национальные сети из почти 2500 ботанических садов в 153 странах мира представляют уникальное сообщество разнообразных учреждений (государственные, частные, муниципальные, академические, университетские и т. д.). Они всегда были объединены главной идеей сохранения и рационального использования генетических ресурсов растений.

Распределение ботанических садов во всем мире (рис. 4) отражает характер развития цивилизации, размещения городских поселений, а также особенности распределения центров биологического разнообразия на Земле [1].

Более 60 % ботанических садов расположены в северном полушарии (Европа, Северная Америка, часть Азии), тогда как места с самым высоким биоразнообразием находятся преимущественно на юге. Такое размещение ботаниче-



Рис. 3. Интродукция и реинтродукция видов растений в ботанических садах. Примеры успешной интродукции абрикоса (*а* — *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvorts, *б* — *Amygdalus pedunculata Pall.*) в БС ИГУ. Восстановление нарушенных популяций редкого вида *Allium altaicum* Pall. на западном побережье оз. Байкал (*в* — *Ex-situ* размножение, *г* — восстановление популяции *in-situ* — в природных местообитаниях). Фотографии *а* и *б* — из архива БС ИГУ, *в* и *г* любезно предоставлены Н.Степанцовой

ских садов сложилось исторически при освоении новых территорий и в ходе урбанизации [7].

В настоящее время все ботанические сады мира в совокупности смогли сосредоточить у себя в коллекциях более 4 миллионов видов растений [11]. Коллекции отдельных ботанических садов и дендрариев могут содержать от сотен до десятков тысяч видов и форм растений, собранных в своем регионе или введенных в культуру из других географически отдаленных мест. Количество ботанических садов из 153 проанализированных нами стран имеет положительную корреляцию с индексами развития человеческого потенциала (ИРЧП, или индекс человеческого развития = Human Development Index) этих стран (рис. 5). ИРЧП — один из самых широко используемых интегральных количественных параметров или сводных характеристик, рекомендуемых ЮНЕСКО для оценки статуса благосостояния людей в различных странах (индикатор, объединяющий параметры продолжительности жизни, уровень образования и покупательную способность людей) [4].

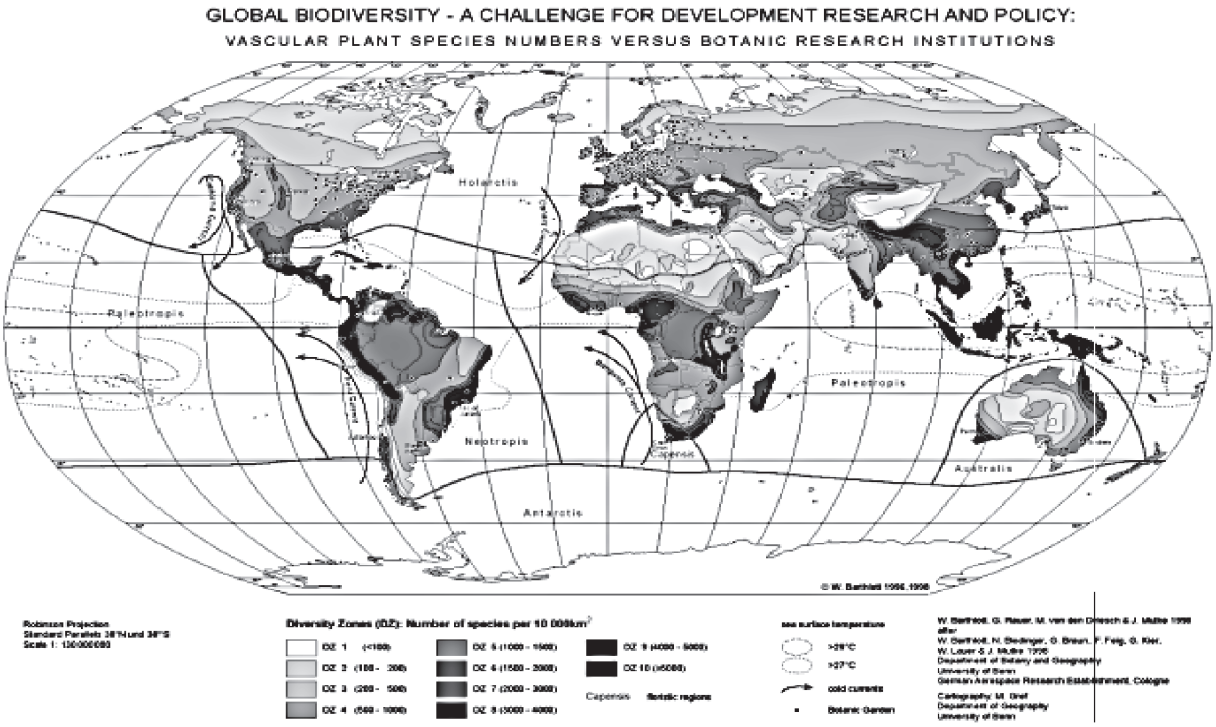


Рис. 4. Распределение зарегистрированных ботанических садов во всем мире относительно глобального распределения богатства видового разнообразия высших растения на Земле (по W. Barthlott et al., 1999 [1]; публикуется с любезного разрешения Ботанического сада Боннского университета)

Этот показатель может использоваться для сравнительных целей. Из данных графика на рис. 5 можно сделать очевидное заключение о том, что ботанические сады как доступные ресурсы разнообразия растений, имеющих экономическое и духовное значение, связаны с благосостоянием людей, развитием человеческого капитала стран. Количество ботанических садов в каждой стране положительно коррелирует с ИРЧП (для большинства стран лишь с несколькими исключениями). Исключения, отмеченные выше основного «облака» точек данных, скорее всего связаны с численностью населения и размером каждой страны и т. п. Есть несколько примеров исключительно большого числа ботанических садов и дендрариев в ряде стран: в Индии (126) и Китае (144), где есть большие массы людей и в которых имеется высокий спрос на развитие жизненно важных биотехнологий и использование ресурсов биоразнообразия; в России (108), где многие ботанические сады сохранились в качестве национального наследия бывшего СССР как результат предыдущего централизованного социалистического развития и понимания роли ботанических садов для благополучия людей, а также как научные и образовательные инструменты; в Австралии (126), Великобритании (105), Италии (105), Германии

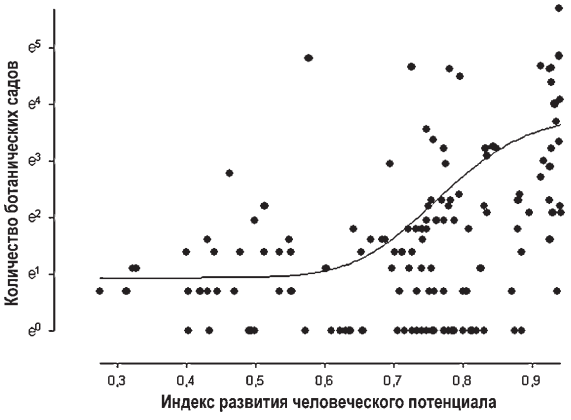


Рис. 5. Соотношение количества ботанических садов мира (по базе данных BGCI) и индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП, 2004) [4] в различных странах

(102), Франции (95), Канаде (94) и в других высокоразвитых странах; в США (367), где большое количество новых ботанических садов и дендрариев, особенно в составе университетов, было создано в конце 1950-х и в начале 1960-х как ответ на первый запуск советского космического спутника, потому что американское правительство поняло, что университетские ботанические сады, как и астрономические обсерватории, — это важная часть непрерывного научного образования для развития высококвалифицированных трудовых ресурсов.

В то же время некоторые из высокоразвитых стран Европы имеют лишь единицы или совсем не имеют ботанических садов. Вероятно, некоторые другие учреждения (парки, частные сады, питомники) берут на себя роль традиционных ботанических садов в этой специфической области человеческого бытия и социального спроса. Либо вблизи располагаются ботанические сады других европейских стран, между которыми отсутствуют границы для потенциальных посетителей или потребителей их услуг. Вместе с тем даже в одном из самых маленьких государств Европы — в княжестве Монако площадью около 4 кв. км — создано три публичных ботанических сада. Некоторые из очень слабо развитых стран Азии и Африки (ИРЧП < 0,3), очевидно, из-за экономических ограничений не могут позволить себе иметь ботанические сады, соответствующие международным стандартам (например, Афганистан, Аруба и т. д.). А некоторые из малых, но перенаселенных стран стремятся создавать ботанические сады как национальное природное и культурное наследие, ценное для людей (Бангладеш, Шри-Ланка и т. д.). Есть также видимый разрыв в ИРЧП в диапазоне 0,55–0,65. Видно также, что слабо- и среднеразвитые страны (ИРЧП от 0,4 до 0,6) и высокоразвитые страны (ИРЧП > 0,7) подразделяются на две больших подгруппы (или два «облака точек данных»). Изучение различий в функциях и ролях ботанических садов в этих двух подгруппах стран, различающихся по социально-экономическому развитию, представляет самостоятельный интерес. И это связано с перспективным вопросом дальнейшего изучения различных экологических, рекреационных и технологически ценных ресурсов ботанических садов в связи с их разнообразным влиянием на улучшение качества жизни людей.

Заключение

Биологическое разнообразие — это одно из фундаментальных краеугольных оснований для поддержания человеческого благосостояния и устойчивого развития человечества, поэтому любое учреждение, вовлеченное в сохранение, использование и воспроизводство биологического разнообразия, неизбежно становится важным игроком на национальной или международной арене в соответствии со своей миссией и доступностью ресурсов. Вовлечение любого ботанического сада в национальные, межрегиональные и международные сети делает его положение более сильным и влиятельным благодаря обмену материальных и нематериальных ресурсов (активов) с другими международными ботаническими садами. Уникальность места ботанического сада в циркуляции генетических ресурсов растений, в системе особо охраняемых природных территорий, а также в циркуляции связанных с растениями знаний по сохранению, мобилизации и использованию биоразнообразия нельзя недооценивать. Ботанические сады играют взаимодополняющие дуалистические роли в сохранении биологического разнообразия и распространении экологических инноваций для улучшения благосостояния людей и благополучия общества. Схема (рис. 6) показывает дополнительную дуалистическую роль ботанического сада как части глобальной системы сохранения биоразнообразия и оборота генетических ресурсов (левый блок) и других инноваций/ продуктов на основе растений для использования конечными потребителями (правый блок).

Традиционное представление о ботаническом саде (рис. 1) служит примером классической модели посредника между природой и людьми. Эта модель начинает кардинально трансформироваться благодаря диверсификации функций и ресурсов ботанических садов и их активной вовлеченности в процессы глобализации. Сегодня мы видим процесс изменяющейся парадигмы ботанического сада, в том числе в его миссии и методах работы в интересах общества. Роль ботанических садов как интеллектуальных и культурных центров постоянно возрастает.

Сегодня наблюдаются особая активность и востребованность ботанических садов, которые далеко выходят за пределы исторически сложившихся традиционных функций. В этом кон-



Рис. 6. Концепция позиционирования современного ботанического сада в системе особо охраняемых природных территорий и циркуляции генетических ресурсов растений, а также связанных с ними знаний, традиций, идей и навыков для сохранения, мобилизации и использования биологического разнообразия

тексте мы предлагаем общую концептуальную схему позиционирования современного ботанического сада, основанную не на традиционном однонаправленном движении растений от природы к человеку и обществу, а на многовекторной модели, в которой особенно важны обратные связи в управлении и перемещении материальных и неосязаемых ресурсов (рис. 7). Как прямые, так и обратные связи одинаково ценны для того, чтобы соединить использование и вос-

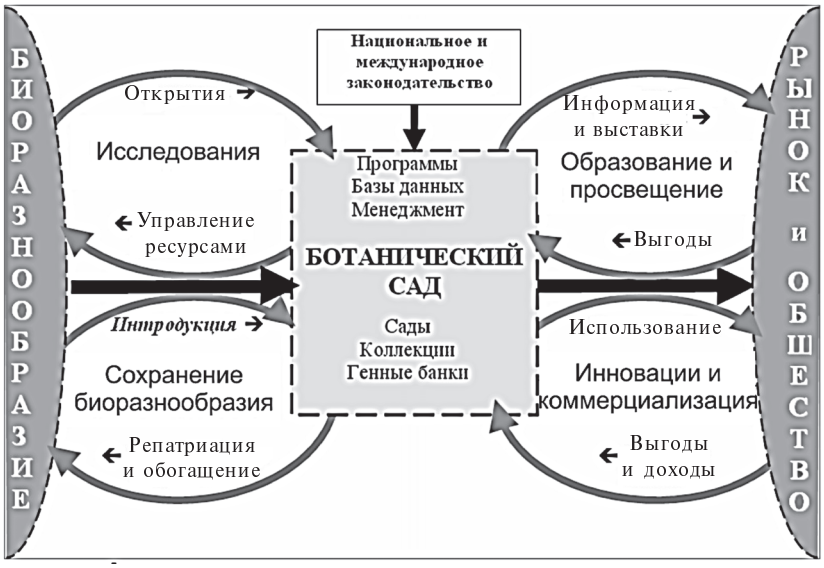


Рис. 7. Ботанический сад — посредник в управлении и движении ресурсов между природой и обществом, функционирующий как активный интерфейс между биоразнообразием и потребностями людей

производство биологического разнообразия (природного наследия) с рыночной экономикой и человеческими потребностями, их система — это условие устойчивости в использовании и возобновлении ресурсов через сопряжение научных исследований, сохранение природы и восстановление биоразнообразия, образование и просвещение, коммерциализацию и вовлечение инноваций в экономический оборот, справедливое распределение выгод от использования ресурсов биоразнообразия.

В этом случае ботанический сад выступает в роли посредника, который соединяет одновременно научные исследования, сохранение природы и восстановление биоразнообразия, образование и просвещение, коммерциализацию растений-интродуцентов и вовлечение инноваций в экономический оборот. Необходимо подчеркнуть, что любой современный ботанический сад — это не только красивый парк, но и место для передачи чистого знания и теоретических навыков, потому что таким знаниям и «ноу-хау» нельзя учить только через книги или интернет. Лишь через практические работы и действия по развитию компетенций ботанический сад может передавать навыки и опыт, связанные с традициями и лучшими методами в некоторых сферах человеческой деятельности.

Такой трансфер знаний и взаимное обучение требуют персонального взаимодействия и личной связи между людьми в ходе практических действий.

Биологическое разнообразие имеет свои особенности распределения по планете (см. рис. 5) и изменяется в континентальном и глобальном масштабах [1], поэтому практические действия и функции ботанических садов изменяются в зависимости от местных и глобальных задач, приобретают определенную национальную специфику. В новых экологических и экономических условиях, характерных для глобализации, роль ресурсов ботанических садов будет возрастать благодаря хорошо развитым сетевым взаимодействиям, традициям свободного обмена материальными и неосязаемыми ресурсами, вовлеченности в этот процесс местного населения и прямым контактам с природными ресурсами. Они становятся важной частью региональных экологически значимых ресурсов и элементами региональных производительных сил, необходимых для улучшения благосостояния людей и устойчивого развития.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке государственных национальных программ «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект РНП.2.2.1.1/5901) и «Фундаментальные исследования и высшее образование» (проект НОЦ-017 «Байкал»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Barthlott, W.** Biodiversity and botanic gardens [Текст] / W. Barthlott, G. Rauer, P.L. Ibisch et all. // Bundesamt für Naturschutz.— Bonn (ed.) Botanic Gar-dens and Biodiversity, Landwirtschaftsverlag, Münster, 1999. — P.1–24

2. **Convention on Biological Diversity,** Russian edition (UNEP/CBG/94/1 95-03681) [Электр. ресурс] / UNEP, Geneva, 1995.— http://www.cbd.int/doc/legal/ cbd-en.pdf]

3. **Global Strategy for Plant Conservation** [Текст] / UK: The Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2000. — 13 p. http:// www.cbd.int/doc/lists/nfp-cbd-GSPC.pdf]

4. **Human Development Report** [Электр. ресурс] / United Nations Development Prog-ramme.— New York, 2004.— http://hdr.undp.org/en/media/hdr04_complete.pdf

5. **International Agenda for Botanic Gardens in Conservation** [Электр. ресурс] / Botanic Gardens Conservation International.— 2000. — http://www.bgci.org/files/All/Key_Publications/interagen-daeng2580.pdf

6. **Jackson, W.P.** Experimentation on a Large Scale — An Analysis of the Holdings and Resources of Botanic Gardens [Электр. ресурс] / W. P. Jackson // Bot. Gard. Cons. News (Richmond, UK: Botanic Gardens Conservation International), 1999. — Vol. 3, № 3.— P. 53–72. http://www.bgci.org/resour-ces/article/0080

7. **Kuzevanov, V.** Botanic Gardens Reso-urces: Tangible and Intangible Aspects of Linking Bio-diversity and Human Well-Being [Электр. ресурс] / V. Kuzevanov, S. Sizykh // Hiroshima Peace Science Journal, 28, 2006. — P. 113–134. — http://home.hiroshima-u.ac.jp/heiwa/JNL/28/Kuzevanov.pdf

8. **The Darwin Technical Manual for Botanic Gardens** [Текст] / E. Leadlay & J. Greene (eds.) // UK, Richmond: BGCI, 1998. — 136 p.

9. **Еремеева, Т.В.** Абрикос в Иркутске [Текст] / Т.В. Еремеева // Иркутск: Изд-во ИГУ, 1999. — 24 с.

10. **Кузеванов, В.Я.** Ресурсы Ботанического сада ИГУ: образовательные, научные и социально-экологические аспекты [Электр. ресурс] / В.Я. Кузе-

ванов, С.В. Сизых. — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2005.— 242 с.— http://bo-gard.isu.ru/books/bgisu_resources_2005.pdf

11. **Waylen, K.** Botanic gardens: using biodiversity to improve human well-being [Электр. ресурс] / K. Waylen // Richmond, (UK): Botanic Gardens Conservation International, 2006. — 24 p. http://www.bgci.org/files/Worldwide/Wellbeing/Presspack/wellbeing.pdf

УДК 504.3: 575.17: 339.9

А.А. Филимонов

РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ И ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СТРАН БРИК

В условиях глобализации взаимная зависимость участников международного рынка постоянно усиливается, а потому нынешний экономический кризис стал, по мнению экспертного сообщества, самым глубоким со времен «Великой депрессии» [2]. Не удивительно, что «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» итоги глобальных финансово-экономических кризисов приравнивает к масштабному применению военной силы [8].

Предшествующий опыт позволяет надеяться, что вслед за наблюдаемым спадом в перспективе последует неизбежный подъем деловой активности. В роли «катализаторов» этого процесса наряду с признанными лидерами могут оказаться и страны БРИК — Бразилия, Россия, Индия и Китай, до недавнего времени демонстрировавшие уверенный рост ВВП [14]. В свою очередь, оживление экономики способно вызвать увеличение спроса на сырье, энергоносители и дешевую рабочую силу, а именно этими ресурсами в изобилии располагают члены «четверки».

Впрочем, строя прогнозы на будущее, было бы непростительной ошибкой уподобиться тем военачальникам, которые в соответствии с поговоркой готовятся к прошлой войне. Интеграция членов БРИК в мировую экономическую систему наряду с потенциальными дивидендами несет для них новые и весьма реальные риски.

Так, например, глобализация экономики, рост мировой торговли и развитие туризма оказывают все более заметное влияние на окружающую среду, порождая необратимые изменения в экосистемах стран и целых материков. Экологические бедствия, в свою очередь, негативно отражаются на состоянии экономики. Хрестоматийными стали примеры, когда неконтролируемое распространение чужеродных видов (филлоксера во Франции, водяной гиацинт в тропической Азии, кролики и опунция в Австралии и т. д.) оборачивалось проблемой общенационального масштаба. Подобные случаи проникновения живых организмов в экосистемы за пределами их первоначального (обычного, естественного) ареала, вызванные деятельностью человека (интродукции) или естественным перемещением видов, называют биологическими инвазиями [4, 9, 15].

Основной вклад в такое распространение вносит мировая торговля. Ее развитие сопровождается резким увеличением числа новых организмов, интродуцируемых в существующие экосистемы, и повышением частоты таких интродукций [50]. При этом количество инвазийных видов положительно коррелирует с уровнем ВВП [26].

Если в посткризисный период отмеченная тенденция сохранится, следует ожидать дальнейшего усиления «биологической глобализации» [29]. Однако для стран, отличающихся по степени развития экономики, риски, связанные с биологическими инвазиями, могут существенно различаться [46].

В данной статье предпринята попытка оценить уровень «инвазийной нагрузки», которую в настоящее время испытывают флора и экономика стран БРИК, а также степень защищенности их генофонда от негативных эффектов «биологической глобализации». Учитывая масштабы затронутой темы, проблему генетически модифи-

цированных организмов мы оставляем за рамками рассмотрения.

Безопасность биологических ресурсов стран БРИК

При дальнейшем обсуждении под безопасностью биологических ресурсов страны будем подразумевать способность контролировать инвазионные процессы и эффективно сохранять присущее ее территории биологическое разнообразие, развивать технологии и кадровый потенциал, необходимые для решения этих задач, оперативно совершенствовать соответствующую нормативную базу и правоприменительную практику.

В свою очередь под биологическими ресурсами будем понимать «генетические ресурсы, организмы или их части, популяции или любые другие биологические компоненты экосистем, имеющие фактическую или потенциальную полезность или ценность для человечества» [6].

Наиболее уязвимы для внедрения инвазийных видов страны, для которых характерны следующие условия:

большая территория и протяженность границ с сопредельными государствами;

открытая и растущая экономика;

развитая транспортная инфраструктура;

значительные площади сельскохозяйственных культур и/или лесных массивов, иных насаждений;

узкий спектр возделываемых сельскохозяйственных культур или лесных пород;

индуцированное деятельностью человека (или иными факторами) нарушение экосистем, сложившихся на территории страны;

несоблюдение действующих норм международного и/или национального экологического законодательства;

отсутствие или недостаточное развитие сети учреждений, обеспечивающих обнаружение и нейтрализацию биологических угроз (в том числе инвазий);

нехватка специалистов соответствующего профиля.

Все члены БРИК в значительной степени соответствуют перечисленным критериям (табл. 1). Их территории лежат в диапазоне от 3,29 (Индия) до 17,1 (Россия) млн кв. км, общая протяженность границ — от 14,1 (Индия) до 22,1 тыс. км (Китай). Кроме того, данные государства располагают значительными запасами продовольствия, природных ресурсов, рабочей силы. Уже на момент подготовки доклада инвестиционной компании «Голдман — Сакс» (когда, собственно, впервые появилась аббревиатура «БРИК») [18] в них проживало до 40 % населения планеты, а совокупный ВВП достигал 15 435 трлн долларов.

Выход на мировые рынки подразумевает соблюдение правовых норм, призванных обеспечивать сохранение окружающей среды и присущего ей биологического разнообразия. Члены

Таблица 1

Основные характеристики стран БРИК

Показатель	Бразилия	Россия	Индия	Китай
Территория, кв. км[1]	Общая — 8 514 877; суша — 8 459 417; водоемы — 55 460	Общая — 17 098 242; суша — 16 377 742; водоемы — 720 500	Общая — 3 287 263; суша — 2 973 193; водоемы — 314 070	Общая — 9 596 961; суша — 9 569 901; водоемы — 27 060
Протяженность границ, км[1]	16 885	20 241.5	14 103	22 117
Население, чел[1] (июль 2009 г. — оценочно)	198 739 269	140 041 247	1 166 079 217	1 338 612 968
ВВП (2009)[3], трлн $	1 481,55	1 254,65	1 242,64	4 757,74
ВВП на душу населения[1] (2008), $	10 300	15 800	2 900	6 100
Индекс чел. развития[2]	0 813	0 817	0 612	0 772

Окончание табл. 1

Показатель	Бразилия	Россия	Индия	Китай
Минеральные ресурсы[1]	Бокситы, золото, железная руда, марганец, никель, фосфаты, платина, олово, уран, нефть, гидроэнергетический потенциал, древесина	Широкий спектр природных ресурсов, включая основные запасы нефти, природного газа, каменного угля и многих стратегических минералов, древесины. *Примечание:* неблагоприятные климатические условия, ландшафт, и расстояния затрудняют добычу природных ресурсов	Каменный уголь (четвертые по величине запасы в мире), железная руда, марганец, слюда, бокситы, титановая руда, хромиты, природный газ, алмазы, нефть, известняк, пахотные земли	Каменный уголь, железная руда, нефть, природный газ, ртуть, олово, вольфрам, сурьма, марганец, молибден, ванадий, магнетит, алюминий, свинец, цинк, уран, гидроэнергетический потенциал (наибольший в мире)
Продукция сельского хоз-ва[1]	Кофе, соевые бобы, пшеница, рис, кукуруза, сахарный тростник, какао, цитрусовые, говядина	Зерновые, сахарная свекла, семена подсолнечника, овощи, фрукты, говядина, молоко	Рис, пшеница, масличные культуры, хлопчатник, джут, чай, сахарный тростник, чечевица, картофель, лук, молочные продукты, баранина, козы, птица, рыба	Рис, пшеница, картофель, кукуруза, арахис, чай, просо, ячмень, яблоки, хлопчатник, масличные культуры, свинина рыба
Основные предметы экспорта[1]	Транспортные средства и оборудование, железная руда, соевые бобы, обувь, кофе, автомобили	Нефть и нефтепродукты, природный газ, зерно, древесины и пиломатериалы, металлы, химикаты, широкий спектр товаров гражданского и военного назначения	Нефтепродукты, драгоценные камни, машинное оборудование, железо и сталь, химикаты, транспортные средства, одежда	Электрооборудование и электроника, в т. ч. вычислительная техника, одежда, текстиль, железо, сталь, оптическое и медицинское оборудование
Основные предметы импорта	Машины, электрооборудование и транспортные средства, химикаты, нефть, детали автомобилей, электроника	Транспортные средства, машины и оборудование, пластмассы, медикаменты, железо и сталь, потребительские товары, мясо, орехи и фрукты, металл	Сырая нефть, драгоценные камни, машины и оборудование, удобрения, железо и сталь, химикаты	Электрооборудование и электроника, нефть и иное топливо, оптическое и медицинское оборудование, металлическая руда, пластмассы, органические соединения

[1] CIA Factbook https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html
[2] http://hdr.undp.org/en/statistics/ (данные за 2007 г.)
[3] http://www.economywatch.com/economic-statistics/country/

БРИК входят в число участников основополагающих международных соглашений в указанной области, однако экологическая обстановка в пределах их собственных границ не может не вызывать беспокойства.

Общими для Бразилии, России, Индии и Китая остаются массовые вырубки лесов, эрозия и истощение почв, загрязнение воздуха, почвы и водоемов продуктами сгорания топлива, промышленными отходами и пестицидами,

а также незаконная торговля редкими и исчезающими видами растений и животных (табл. 2).

В странах Азии (Индия, Китай и др.) почти половина обрабатываемой земли занята сельскохозяйственными угодьями. Площадь орошаемых земель с 1966-го по 2002 год увеличилась на 115 %, потребление удобрений — на 1900 %. Как следствие этого, происходит интенсивное засоление некогда плодородных земель, насыщение химикатами грунтовых вод, эвтрофикация рек и озер [67].

Отдельного рассмотрения заслуживает экологическая ситуация в Китае. Промышленное развитие страны требует все возрастающих объемов сырья — углеводородов, металла, древесины и пр. Побочные продукты производственной деятельности (углекислый и сернистый газы, токсические отходы химической промышленности и др.) уже оказывают ощутимое влияние на состояние окружающей среды даже в странах, не имеющих общих границ с КНР [32]. На собственной территории Китая загрязнение воды и воздуха — одно из самых высоких в мире, а многочисленные виды птиц и млекопитающих находятся на грани исчезновения. Для решения этой проблемы за последние 20 лет в КНР создано 1757 национальных и местных природных заповедников, занимающих в совокупности около 13 % территории страны [34]. Тем не менее данные, приводимые в табл. 2, свидетельствуют о необходимости более действенных мер по предотвращению и устранению вреда, причиняемого окружающей среде интенсивной хозяйственной деятельностью.

Одна из причин прогрессирующего ухудшения экологической обстановки — интенсивный экономический рост [56]. Действительно, на протяжении предшествующих десятилетий экономика КНР развивалась беспрецедентно высокими темпами. В частности, сренегодовой прирост ВВП в период с 1999-го по 2003 год составлял 8,0 % [32]. Объем китайского экспорта вырос за 10 лет почти на 400 %, сопоставимыми темпами развивалась транспортная инфраструктура, пассажирские и грузовые перевозки:

общая протяженность скоростных шоссе в 1988 году не превышала 1000, а к 2005 году она достигла 40700 км;

Таблица 2

Экологическая ситуация в странах БРИК[1]

Бразилия	Россия	Индия	Китай
Вырубка лесов в бассейне Амазонки разрушающая среду обитания и угрожающая эндемичным видам растений и животных; высокодоходная незаконная торговля редкими и исчезающими видами; загрязнение воздуха и воды в крупных городах; деградация почвы и загрязнение вод – результат деятельности горнодобывающей промышленности; деградация водно-болотных угодий; разливы нефти	Загрязнение атмосферы выбросами промышленных предприятий, тепловых электростанций и транспорта в крупных городах; загрязнение внутренних водоемов и побережий бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными стоками; вырубка лесов; эрозия и деградация почвы из-за неконтролируемого применения химикатов; наличие областей радиоактивного загрязнения (иногда – интенсивного); загрязнение грунтовых вод токсическими отходами; накопление неутилизированных бытовых отходов; наличие свалок неиспользуемых пестицидов	Вырубка лесов; эрозия почвы; деградация пастбищ; опустынивание; загрязнение воздуха выбросами промышленных предприятий и выхлопными газами; загрязнение водоемов неочищенными стоками и пестицидами; вода из-под крана не пригодна для питья по всей стране; многочисленное и растущее население истощает природные ресурсы	Загрязнение воздуха (парниковые газы, двуокись серы, образующиеся при сжигании угля); кислотные дожди; дефицит воды, особенно на севере; загрязнение вод неочищенными стоками; вырубка лесов; опустынивание; незаконная торговля редкими и исчезающими видами; прогнозируется потеря одной пятой части пахотных земель (от уровня 1949 г.)

[1] CIA Factbook https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html

грузопоток через морские порты страны увеличился с 311,5 (1985) до 2538 (2004) млн т; пассажиропоток на внутренних авиалиниях — с 2,31 млн (в 1978 году) до 138,27 млн чел. (в 2005-м) [29].

Расширение дорожной сети в немалой степени способствовало интенсивному распространению чужеродных видов. Для десяти крупнейших стран показана высокая положительная корреляция между плотностью инвазийных видов (ПлИВ)[1], протяженностью и частотой дорожной сети, а для выборки из 172 стран — также между значениями ВВП и индекса человеческого развития (ИЧР) [57]. Аналогичная зависимость между ПлИВ, с одной стороны, величиной ИЧР и плотностью дорожной сети, с другой стороны, выявлена при сопоставлении американских штатов и китайских провинций [62].

Взаимосвязь между распространением чужеродных видов и социо-экономическими характеристиками отмечена в странах Европы, Северной Африки [64] и даже при сравнении различных регионов в пределах одного государства. Наибольшее число «чужаков» встречалось в более развитых в экономическом отношении южных провинциях, а также на прибрежных западных территориях Китая. Так, в сопредельной с Гонконгом и Макао провинции Гуандунь исследователи обнаружили 117 подобных видов, тогда как во внутренней провинции Хайнань — лишь 38. Примечательно, что ВВП последней составлял всего 53 % от уровня провинции Гуандунь [31]. Результаты многофакторного дисперсионного анализа свидетельствуют, что наибольшей (54,6 %) силой влияния на изучаемый признак (число инвазийных видов) обладали показатели социально-экономического развития провинций. В меньшей степени (19,5 %) дисперсия зависела от климатических особенностей территории и менее всего — от потока туристов и объемов экспорта/импорта (13,4 %).

Главным торговым партнером Китая являются США. Поскольку обе страны имеют примерно равную площадь и расположены практически в одном широтном диапазоне, «переселенцы» с высокой долей вероятности могут и на другом континенте встретить благоприятствующие их интродукции климатические условия [22, 60]. Активизация международной торговли усилила трансатлантический обмен живыми оргшанизмами [33].

Косвенным тому подтверждением служит состав инвазийных видов, встречающихся на территории КНР. Установлено, что 55,1 % от общего их числа — это представители Северной и Южной Америки, 21,7 % — Европы, 9,9 % — Азии, 8,1 % — Африки и 0,6 % — Океании [61]. Еще выше — от 66,5 [62] до 68 % [29] доля американских видов оказалась среди растений. Примерно 58 % из них были интродуцированы преднамеренно [44].

Впрочем, американский континент служит «поставщиком» чужеродной флоры не только для КНР. Из 174 подобных видов, обнаруженных в Индии, 128 (или 74 %) занесены из тропической Америки; подавляющее большинство этих растений первоначально было интродуцировано в хозяйственных целях [54].

В региональных флорах России доля адвентивных (пришлых) видов составляет порядка 20 % по числу видов и около 30 % по площади, занимаемой ими территории [3]. Среди натурализовавшихся видов растений преобладают виды американского или европейского происхождения [8].

Постепенно инвазии становятся не только биологической, но и экономической проблемой [49]. Причиняемый ими вред столь значителен, что отдельные виды уже рассматриваются как потенциальные средства биотеррора [40–42]. Подсчитано, что ущерб, причиняемый инвазиями экономике Индии, составляет 130 млрд долларов [61], а в случае США — от 120 до 136 млрд долларов в год [51–53]. Данный показатель для КНР (14,5 млрд) был в 9 раз ниже, чем для США, однако в процентном выражении (1,37 % от ВВП) убытки обеих стран совпадали. Потери бразильской экономики оценивались суммой порядка 42,6 млрд долларов в год [52]. Аналогичных расчетов для Российской Федерации в доступной нам литературе обнаружить не удалось.

С учетом «цены вопроса» предотвращение ввоза чужеродных видов на территорию страны приобретает особую значимость. Как правило, эта обязанность возлагается на органы фитосанитарного контроля и родственные им государственные структуры. Однако таможенные и карантинные процедуры, создававшиеся в ка-

[1] Плотность инвазийных видов — отношение количества данных организмов к $\log_{10}$ территории соответствующего государства.

честве заградительного барьера на пути возбудителей болезней человека и сельскохозяйственных животных (растений), оказываются неэффективными против видов, представляющих потенциальную угрозу естественному биоразнообразию [38]. Действительно, хотя на границах США соответствующие службы ежегодно выявляют и задерживают более чем 53000 видов членистоногих, сорных растений и патогенных организмов, досматривается не более 2 % всех судовых грузов [45]. Для сравнения: в порту г. Шанхай (КНР) при проверке грузов в период с 1986 по 1990 год было выявлено около 200 чужеродных видов [32].

Ситуацию осложняет наличие неконтролируемых каналов проникновения «чужаков». Полагают, что на территории США интродукция большинства представителей инвазийной флоры осуществлялась садовыми хозяйствами и ботаническими садами, а также населением [55]. Освоение американского континента и последующие волны иммиграции привели к тому, что вместе с переселенцами (прежде всего — из Европы) на территорию США беспрепятственно ввозилась масса биологического материала [35]. Как следствие, в составе растительности Северной Америки преобладают европейские виды [58]. В настоящее время в садовых каталогах, выпускаемых в США, представлено более 60000 сортов и видов растений, которые можно заказать через сеть Интернет, а получить — по почте [19].

Видно, что даже в Соединенных Штатах — стране с крупнейшей экономикой мира — проблема неконтролируемого перемещения биологического материала не утратила своей актуальности. Повышению эффективности «заградительных» мер может способствовать интеграция различных структур. Так, например, в составе Национальной сети фитодиагностики США (The National Plant Diagnostic Network) объединились диагностические лаборатории университетов, национальные экспертные лаборатории, а также департаменты сельского хозяйства штатов и федерального правительства [59].

Вместе с тем часть работы по выявлению путей распространения и контролю за интродукцией «чужаков» могли бы взять на себя — наряду с университетами — ботанические сады. Имея квалифицированный персонал, опыт масштабного перемещения и интродукции растений [25, 58], они способны выполнять целый ряд функций, связанных с предотвращением инвазий:

осуществлять просветительскую деятельность (информирование населения и местных властей о проблеме инвазийных видов);

обобщать и анализировать информацию о биологических особенностях инвазийных видов;

формировать (в том числе совместно с другими заинтересованными организациями) базы данных, содержащие сведения о составе ботанических коллекций в пределах своей «зоны ответственности», о потенциально инвазийных видах в составе последних;

участвовать в разработке мер по ликвидации выявленных инвазий;

разрабатывать предложения по совершенствованию экологического законодательства;

систематически (в том числе совместно со специалистами соответствующих подразделений университетов) производить обследование своего региона на предмет выявления инвазий.

Важную роль, которую ботанические и образовательные учреждения способны играть в деле «инвентаризации» биологических ресурсов, можно видеть на следующем примере . Обнаружена положительная корреляция между числом специалистов-ботаников, университетов и ботанических садов и количеством видов растений, зарегистрированных на территории соответствующих графств [43, 47]. Данный феномен авторы объясняют лучшей изученностью местной флоры в сравнении с областями, где названных учреждений меньше. Не исключено, что этими же причинами обусловлен тот факт, что доля чужеродных видов в общем составе флоры в развитых странах выше, чем в развивающихся [46, 64].

С учетом сказанного интересно сравнить показатели флористического разнообразия, количество ботанических садов и университетов, а также значения индикаторов социо-экономического развития стран «четверки» (табл. 1 и 3).

Меньше всего ботанических и образовательных учреждений в Бразилии, обладающей наибольшим (среди членов БРИК) видовым разнообразием. Россия (минимальный показатель биоразнообразия) в несколько раз превосходила Бразилию по числу университетов, ботанических садов и почти в 1,5 раза — по уровню ВВП на душу населения. Вместе с тем значения индекса человеческого развития у обеих стран (соответственно 0,817 и 0,813) были довольно близки. Напротив, Китай (при наименьшем значении

Таблица 3

Показатели флористического разнообразия, ботанические сады (БС) и университеты стран БРИК

Показатель	Бразилия	Россия	Индия	Китай
Высшие растения[7]	56,215	11,400	18,664	32,200
Исчезающие виды (2002)[7]	381	7	244	168
Количество университетов[1]	158	286 (1071)[3]	257	324
Количество БС: по данным BGCI[2] по данным иных источников	 40 29 (+ неск. садов, статус которых не определен)[4]	 108 75[8] (120)[10]	 131 122[5]	 142 138[6]
Кол-во образцов живых растений в коллекциях БС	около 50 000[4]	Нет данных	ок. 200,000[5]	Нет данных
Кол-во видов живых растений в коллекциях БС	около 7 000[4]	10670 видов, подвидов, разновидностей, форм[9]	15 000–20 000[5]	17 000[6]

[1] Universities Worldwide http://univ.cc/world.php

[2] сайт BGCI http://www.bgci.org/garden_search.php

[3] по данным сайта «Статистика российского образования» http://stat.edu.ru/scr/db.cgi?act=listDB&t=2_6_1a&ttype=2&Field=All на 2004/2005 учебн. год — общее число высших учебных заведений.

[4] **Bruni S., Sampaio Pereira T., Gonzalez J.A.P., Correia Lima M.E., Ferrao M.deS.R. and Matos A.deA.** (2000). *Directory of the Botanical Gardens of Brazil.* The Brazilian Network of Botanic Gardens, Expressao e Cultura, Rio de Janeiro, Brazil. http://www.cbd.int/doc/world/br/br-ex-bg-en.pdf

[5] **Chakraverty R.K. and Mukhopadhyay D.P.,** (1990). A Directory of Botanic Gardens and Parks in India. Botanical Survey of India, Calcutta, India. https://www.cbd.int/doc/world/in/in-ex-bg-en.pdf

[6] HE Shan-An. Fifty Years of Botanical Gardens in China. Acta Botanica Sinica. 2002. Vol. 44, No 9, pp. 1123–1133.

[7] EarthTrends http: //earthtrends.wri.org. (общее число видов, 1992–2002 гг.)

[8] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 году» http://www.mnr.gov.ru/files/part/5150_gosdoklad.rar — (в докладе)

[9] Коллекция Главного ботанического сада РАН. http://www.gbsad.ru/kfonds.php

[10] Директория ботанических садов России (приводится общее количество БС и дендропарков без учета опытных станций ВНИИР) http://hortusbotanicus.ru/?id=2&dir_search=&selectland= %D0 %EE %F1 %F1 %E8 %FF

ВВП на душу населения и не самом высоком уровне ИЧР) лидировал по количеству университетов и ботанических садов. Индия, располагая сопоставимой с Россией сетью названных учреждений, уступала Китаю как по видовому разнообразию флоры, так и по величинам ВВП и ИЧР. Впрочем, подобные различия характерны не только для членов «четверки».

Общеизвестно, что большая часть из 2680 зарегистрированных ботанических садов сосредоточена в Северной Америке, Европе и странах бывшего СССР, относящихся к зоне умеренного климата [13]. Такую неравномерность принято объяснять градиентами видового разнообразия растений, демографическими и социо-экономическими параметрами соответствующих государств [1, 12, 28, 30].

Действительно, для экономически развитых стран была показана высокая позитивная корреляция роста численности городского населения и количества БС [7]. Зависимость между величиной коллекций ботанических садов и численностью населения городов, на территории которых эти учреждения располагались, обнаружили Голдинг с соавторами [20]. Видовое разнообразие данных коллекций коррелировало с уровнем ВВП (в расчете на душу населения) соответствующей страны.

Аналогичная взаимосвязь наблюдалась между числом ботанических садов и индексом человеческого развития, однако 10 стран (в совокупности — это почти 56 % от количества ботанических садов в мире) в данную закономерность не «вписывались» [30]. Большее (чем следовало бы из выявленных закономерностей) количество ботанических садов и арборетумов авторы объясняли по-разному: в Индии и Китае — численностью населения, развитыми технологиями и высокой потребностью в биоресурсах; в Российской Федерации — наследием

СССР, где осознавалась значимость БС для благополучия населения страны; в Австралии, Великобритании, Италии, Германии, Франции и Канаде — высоким уровнем развития экономики; в США — реакцией на запуск в СССР первого искусственного спутника Земли.

Несмотря на все многообразие предложенных объяснений, указанные государства объединяет наличие развитой (или динамично развивающейся) экономикой. В то же время отдельные европейские страны (Андорра, Ватикан, Кипр, Лихтенштейн, Сан-Марино), также демонстрирующие высокие значения ИЧР и ВВП (в расчете на душу населения), ботанических садов вообще не имеют (табл. 4).

Причины столь неоднозначной ситуации, на наш взгляд, кроются в следующем. Во-первых, при исчислении ВВП не учитывается денежная оценка благ, предоставляемых экосистемами (чистый воздух, вода и пища, природные ресурсы и др.), тем более — наличие или величина ботанических коллекций [21]. Напротив, расходы, связанные с сохранением (восстановлением) нарушенных экосистем, входят в расчет, увеличивая ВВП [15]. В результате чем сильнее вред, причиненный окружающей среде, тем внушительнее могут выглядеть экономические «успехи» государства. Сказанное, по-видимому, справедливо и в отношении ИЧР — величины, производной от ВВП [27].

Во-вторых, следует помнить, что зарегистрированные на сегодняшний день учреждения открывались в разное время. Современное их географическое распределение — результат длительного исторического процесса, сопровождавшегося изменениями территории, границ, формы правления и состояния экономик целого ряда стран. Так, например, основанные в Российской империи ботанические сады и опытные станции активно использовались и развивались в Советском Союзе [5]. После его распада новые независимые государства унаследовали БС, часть которых создавалась на средства имперской казны и/или бюджета СССР.

Очевидно, что наличие положительной корреляции числа ботанических садов с социо-экономическими индикаторами (ВВП, ИЧР) того или иного государства еще не доказывает существования прямой причинно-следственной связи между анализируемыми переменными. С учетом вышесказанного мы полагаем, что достижение неких «пороговых» значений ИЧР и/или ВВП само по себе еще не ведет к автоматическому старту программы создания ботанических садов. Инициируют этот процесс потребность в повышении личного (либо государственного) престижа и/или оформившиеся запросы со стороны образования и науки. Мы полагаем, что уровень развития экономики преимущественно определяет темпы образования и число специализированных ботанических учреждений в конкретной стране.

Столь же опосредованный характер, на наш взгляд, носит связь между экономическим потенциалом страны и плотностью инвазийных видов.

Таблица 4

Социо-экономические показатели и число ботанических садов в наиболее развитых странах мира

Страна	ВВП[1] на душу населения, $ в год	ИЧР[2]	Число БС[3]
Австралия	38 800 (2009)	0,970	128
Андорра	44 900 (2008)	0,934	нет
Великобритания	35 200 (2009)	0,947	116
Германия	34 100 (2009)	0,947	104
Италия	30 300 (2009)	0,951	105
Канада	38 400 (2009)	0,966	98
Кипр	21 200 (2009)	0,914	нет
Лихтенштейн	122 100 (2007)	0,951	нет

[1] CIA Factbook https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html
[2] http://hdr.undp.org/en/statistics/
[3] http://www.bgci.org/garden_search.php

Однако число «промежуточных звеньев» в цепочке «причина—следствие» здесь, очевидно, меньше, чем в случае ботанических садов. Развитие экономики сопровождается ростом международной торговли, интенсивным развитием транспортной инфраструктуры и трансформацией окружающей среды, увеличением пассажиро- и грузопотоков, повышением благосостояния населения и т. д. Каждый из перечисленных факторов по отдельности и все они в совокупности способствуют проникновению и интродукции «чужаков», освоению ими новых и новых территорий.

Как ни парадоксально, в роли «резервуаров», подпитывающих естественные ценозы новыми видами, могут выступать также и ботанические сады [3, 16, 55]. И наоборот, инвазионные виды начинают угрожать коллекциям последних [25]. А это значит, что ботанические сады обречены на противостояние «биологической глобализации», и чем раньше будут приняты продуманные контрмеры, тем меньше окажутся потери, неизбежные в борьбе с таким непростым «противником».

Анализ имеющихся в литературе данных свидетельствует о том, что неконтролируемое распространение чужеродных видов наносит серьезный экономический ущерб, а в недалекой перспективе способно вызвать массовые потери биологических ресурсов не только отдельных стран, но даже целых материков. Прежде всего от этой «болезни роста» страдают лидеры мировой экономики, однако не застрахованы от нее и государства БРИК, все активнее взаимодействующие как с последними, так и друг с другом.

Экономическое развитие членов «четверки» не сопровождается принятием адекватных мер по нейтрализации вреда, причиняемого окружающей среде хозяйственной деятельностью. Проблема биологических инвазий и влияния их на экономику, активно обсуждаемая учеными и специалистами, пока еще не вышла за пределы профессионального сообщества и не учитывается при выработке политических решений. Отсутствуют (или не работают) экономические механизмы, обеспечивающие полномасштабное возмещение ущерба, причиняемого окружающей среде населением и промышленными предприятиями.

Законодательство стран БРИК не препятствует дальнейшему ухудшению экологической обстановки, стремление к наращиванию ВВП нередко доминирует над здравым смыслом. При этом даже само «мерило» экономических успехов страны — ВВП — отчасти искажает истинное положение вещей.

В сложившейся ситуации потенциальная опасность для биологических ресурсов стран БРИК, обусловленная неконтролируемым распространением инвазий, диктует необходимость незамедлительного решения целого комплекса задач, связанных с ранним выявлением и локализацией чужеродных видов, предотвращением или минимизацией причиняемого ими вреда.

Прежде всего, на наш взгляд, необходимы как на национальном, так и международном уровне следующие меры:

1. Поиск новых и совершенствование имеющихся методов оценки стоимости материальных и нематериальных благ, предоставляемых экосистемами, а также оценка величины вреда, причиняемого экосистемам как абиотическими, так и биотическими (в том числе — антропогенными) факторами.

2. Совершенствование экологического законодательства, усиление контроля исполнения и ужесточение санкций за несоблюдение его норм.

3. Объединение потенциала ботанических садов и университетов (располагающих соответствующими профессиональными кадрами) для разработки мер по предупреждению биологических инвазий.

4. Налаживание и расширение взаимодействия между исследовательскими и учебными учреждениями, с одной стороны, и государственными структурами, призванными предотвращать трансграничное перемещение нежелательных видов, с другой.

5. Разработка и обнародование материалов, в доступной форме информирующих о вреде инвазийных видов, а также о способах предотвращения их распространения.

Разумеется, в рамках одной публикации невозможно детально отразить все аспекты сохранения биоресурсов в государствах с развивающейся экономикой. Основная цель, которую мы преследовали, — вновь привлечь внимание специалистов, работающих в данной предметной области, к необходимости скорейшего объединения усилий высших учебных заведений, ботанических садов и карантинных служб, действующих в странах БРИК, для организации эффективного противодействия неконтролируемому распространению чужеродных видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Астров, А.В.** Ботанические сады Центральной Европы [Текст] / А.В. Астров.— М.: Наука, 1976.— 120 с.

2. **Гайдар, Е.Т.** Мировой экономический кризис: последствия для российской политики [Текст] / Е.Т. Гайдар // Экономическая политика.— 2009. № 4.— С. 37–46.

3. **Виноградова, Ю.К.** Прогнозирование инвазионных процессов в ботанических садах [Текст] / Ю.К. Виноградова // Жизнь в гармонии: ботанические сады и общество: Матер. Междунар. науч. конф., посвященной 125-летию Ботанического сада ГвГУ.— Тверь, 19–22 сент. 2004 г.— Тверь: ООО «Гермес», 2004.— С. 25–27.

4. **Дгебуадзе, Ю.Ю.** Проблемы инвазий чужеродных организмов [Текст] / Ю.Ю. Дгебуадзе.— Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов.— М., 2002.— С. 11–14.

5. **Елина, О.** От царских садов до советских полей [Текст] / О. Елина.— М.: Эгмонт, 2008.— Т. 1.— 480 с.

6. **Конвенция** о биологическом разнообразии. [Текст и приложения] / UNEP/CBD/94/1.— Август, 2010.— 34 p. [Электронный ресурс].— http://www.un.org/russian/documen/convents/biodiv.htm

7. **Кузеванов, В.Я.** Ботанические сады как экологические ресурсы в глобальной системе социальных координат [Текст] коллективная монография / В.Я. Кузеванов, С.В. Сизых, Е.В. Губий.— Экономические и экологические проблемы в меняющемся мире. СПб.: Изд-во НПК «Рост», 2010.— С. 158–167.

8. **Морозова, О.В.** Адвентивная флора Европейской России: итоги инвентаризации [Текст] / О.В. Морозова, Е.А. Стародубцева, Н.Г. Царевская // Изв. РАН. Сер. географ.— 2008. № 5.— С. 85–94.

9. **Панов, В.Е.** Биологическое загрязнение как глобальная экологическая проблема: международное законодательство и сотрудничество [Текст] / В.Е. Панов.— Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов.— М., 2002.— С. 22–40.

10. **Реймерс, Н.Ф.** Природопользование [Текст]: словарь — справочник / Н.Ф. Реймерс.— М.: Мысль, 1990.— 638 с.

11. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года [Текст] // Российская газета.— 19.05.2009.

12. **Barthlott, W.** Biodiversity and botanic gardens [Текст] / W. Barthlott, G. Rauer, P.L. Ibisch, M. von den Driesch, W. Lobin // Bundesamt fьr Naturschutz.— Bonn. (ed.) Botanic Gardens and Biodiversity.— Landwirtschaftsverlag.— Mьnster, 1999.— P. 1–24.

13. Botanic gardens conservation international [Электрон. ресурс].— http://www.bgci.org/garden_search.php

14. China: Out of the Dragon's Den? Monitoring Agri-trade Policy. 2008. № 01–08. p. 1–14 [Электрон. ресурс].— http://ec.europa.eu/agriculture/publi/map/01_08.pdf

15. **Constanza, R.** Toward Ecological Economy [Текст] / R. Constanza // Chinese Journal of Population, Resources and Environment.— 2007. Vol. 5, № 4.— P. 20–25.

16. **Dawson, W.** Assessing the risks of plant invasions arising from collections in tropical botanical gardens [Текст] / W. Dawson, A.S. Mndolwa [et all.] // Biodivers. Conserv.— 2008. № 17.— P. 1979–1995.

17. **Ding, J.** China's Booming Economy Is Sparking and Accelerating Biological Invasions [Текст] / J. Ding, K R.N. Mack, P. Lu [и др.] BioScience.— 2008. Vol. 58, № 4.— P. 317–324.

18. Dreaming with BRICs: The Path to 2050 / The Goldman Sachs Group.— [Электрон. ресурс].— http://www.goldman-sachs.com/ideas/brics/brics-dream.html

19. **Ewel, J.J.** et. al. Deliberate introductions of species: research needs [Текст] / J.J. Ewel [и др.] // BioScience 1999. 49(8). P. 619–630.

20. **Golding, J.** Species-richness patterns of the living collections of the world's botanic gardens: a matter of socio-economics? [Текст] / J. Golding, S. Gьsewell, H. Kreft [и др.] // Annals of Botany.— 2010. Vol. 105(5).— P. 689–696; doi:10.1093/aob/mcq043.

21. Gross domestic product (GDP) [Текст] // (2010). In Encyclopжdia Britannica.— 2010. April 14 // Encyclopжdia Britannica Online [Электрон. ресурс].— http://www.britannica.com/EBchecked/topic/246647/gross-domestic-product

22. **Guo, Q.** Ecological comparisons between Eastern Asia and North America: historical and geographical perspectives [Текст] / Q. Guo // Journal of Biogeography.— 1999. Vol. 26.— P. 199–206.

23. **Hayden, S.** Horticulture as a pathway of Invasive Plant Introductions in the United States [Текст] / S. Hayden, P. White // BioScience.— 2001. Vol. 51, № 2.— P. 103–113.

24. **He, S.-A.** Fifty Years of Botanical Gardens in China [Текст] / S.-A. He // Acta Botanica Sinica — 2002. Vol. 44, № 9.— P. 1123–1133.

25. **Heywood, V.H.** The role of botanic gardens as resource and introduction centres in the face of global change [Текст] / V.H. Heywood.— Biodiversity and Conservation.— 2010 DOI 10.1007/s10531-010-9781-5 http://www.springerlink.com/content/5hw61284552h1672/fulltext.pdf

26. **Hulme, P.E.** Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization [Текст] / P.E. Hulme // Journal of Applied Ecology.— 2009. Vol. 46.— P. 10–18.

27. Human Development Report Retrieved June 7, 2010 [Электрон. ресурс].— http://hdr.undp.org/en/statistics/

28. **Hurka, H.** 2004: Plant Genetic Resources in Botanical Gardens [Текст] / H. Hurka, N. Friesen, B. Neuffer. — Acta Horticult.— 651.— P. 35–44.

29. **Jenkins, P.T.** The United States, China, and invasive species: present status and future prospects [Текст] P.T. Jenkins, H.A. Mooney // Biological Invasions.— 2006. № 8. P. 1589–1593.

30. **Kuzevanov, V.** Botanic Gardens Resources: Tangible and Intangible Aspects of Linking Biodiversity and Human Well-Being [Текст] / V. Kuzevanov, S. Syzikh // Hiroshima Peace Science.— 2006. Vol. 28.— P. 113–134.

31. **Lin, W.** Fast Economic Development Accelerates Biological Invasions in China / W. Lin [и др.] [Электрон. ресурс].— PLoS ONE.— 2007. № 2(11) // e1208. doi:10.1371/journal.pone.0001208

32. **Liu, J.** China«s environment in a globalizing world [Текст] / J. Liu , J. Diamond // Nature, 2005. Vol. 435.— P. 1179–1186.

33. **Liu, J.** Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin [Текст] / J. Liu, M. Dong [и др.] // Biological Invasions.— 2006. № 8.— P. 1461–1470.

34. **Liu, J.** Protecting China«s Biodiversity [Текст] / J. Liu, Z. Ouyang [и др.] // Science.— 2003. Vol. 300.— P. 1240–1241.

35. **Mack, R.N.** Motivations and cosequences of the human dispersal of plants. [Текст] / R.N. Mack; J.A. McNeely (editor); IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, 2001.— The Great Reshuffling. Human Dimensions of Invasive Alien Species. UK. P. 23–34.

36. **Maunder, M.** The effectiveness of botanic garden collections in supporting plant conservation: a European case study [Текст] / M. Maunder, S. Higgens, A. Culham. Biodiversity and Conservation. 2001, № 10. P. 383–401

37. **McNeely, J.** Invasive species: a costly catastrophe for native biodiversity [Текст] / J. McNeely // Land Use and Water Resources Research.— 2001.— Vol. 1(2). P. 1–10.

38. **Mc Neely, J.** As the world gets smaller, the chanses of invasion grow [Текст] / J. McNeely // Euphytica.— 2006. Vol. 148. P. 5–15.

39. **McNeely, J.** Cities, nature, and protected areas: a general introduction [Текст] / J. McNeely.— Paper presented to Simposium of Natural Areas in Conurbanions and on City Outskirts.— Barcelona, Spain, 25–27 October, 1995.

40. **Meyerson, F.A.B.** Biosecurity from the ecologist's perspective: developing a more comprehensive approach [Текст] / F.A.B. Meyerson, L.A. Meyerson, J.K. Reaser // Int. J. Risk Assessment and Management.— 2009. Vol. 12, № 2/3/4.— P. 147–160.

41. **Meyerson, L.A.** Biosecurity: Moving toward a Comprehensive Approach [Текст] / L.A. Meyerson, J.K. Reaser // BioScience. 2002. Vol. 52, № 7.— P. 593–600.

42. **Meyerson, L.A.** Bioinvasions, bioterrorism and biosecurity [Текст] / L.A. Meyerson, J.K. Reaser // Front Ecol Environ.— 2003. № 1(6). P. 307–314.

43. **Moerman, D.E.** The botanist effect: counties with maximal species richeness tend to be home to universities and botanists [Текст] / D.E. Moerman, G.F. Estabrook // Journal of Biogeography.— 2006. Vol. 33.— P. 1969–1974.

44. **Mu, X.** Damage and Management of Alien Species in China [Текст] / X. Mu, Y. Hu, H. Song [и др.] // J. Agricultural Science.— 2010. Vol. 2, № 1.— P. 188–192.

45. **Normile, D.** Expanding Trade With China Creates Ecological Backlash [Текст] / D. Normile // Science.— 2004. Vol. 306.— P. 968–969.

46. **Nunéz, M.A.** Biological invasions in developing and developed countries: does one model fit all? / M.A. Nunéz, A. Pauchard // Biol Invasions.— 2009.— DOI [Электронн. ресурс] 10.1007/s10530-009-9517-1

47. **Pautasso, M.** The Botanist effect revisited: Plant Species Richeness, County Area, and Human Population Size in the United States. [Текст] / M. Pautasso, M.L. McKinney // Conservation Biology.— 2007. Vol. 21, № 5.— P. 1333–1340.

48. **Pautasso, M.** Are the living collections of the world«s botanical gardens following species-richness patterns observed in natural ecosystems? [Текст] / M. Pautasso, I. Parmentier // Bot. Helv.— 2007. Vol. 117.— P. 15–28.

49. **Perrings, C.** The economics of biological invasions / C. Perrings // Land Use and Water Resources Research.— 2001.— № 1(3).— P. 1–9 [Электронн. ресурс] http://www.venus.co.uk/luwrr

50. **Perrings, C.** How to manage biological invasions under globalization. [Текст] / C. Perrings, K. Dehnen-Schmutz [и др.] // Trends in Ecology and Evolution.— 2005. Vol. 20, № 5.— P. 212–215.

51. **Pimentel, D.** Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States. [Текст] / D. Pimentel, L. Lach [и др.] // BioScience.— 2000. Vol. 50 (1).— 53–65.

52. **Pimentel, D.** Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions [Текст] / D. Pimentel, S. McNair [и др.] // Agriculture, Ecosystems and Environment.— 2001.— Vol. 84.— P. 1–20.

53. **Pimentel, D.** Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. [Текст] / D. Pimentel [и др.] // Ecological Economics.— 2005. Vol. 52.— P. 273–288.

54. **Reddy, C.S.** Catalogue of invasive alien flora of India [Текст] / C.S. Reddy // Life Science Journal.— 2008. № 5(2).— P. 84–89

55. **Reichardt, S.H.** Horticulture as a Pathway of Invasive Plant Introductions in the United States [Текст] / S.H. Reichardt, P. White // BioScience.— 2001. Vol. 51, № 2.— P. 103–113.

56. **Rosales, J.** Economic Growth and Biodiversity Loss in an Age of Tradable Permits [Текст] / J. Rosales // Conservation Biology.— 2006. Vol. 20, № 4.— P. 1042–1050.

57. **Sharma, G.P.** Determining the relationship between invasive alien species density and a country's socio-economic status [Текст] / G.P. Sharma, K.J. Esler, J.N. Blignaut // S Afr J Sci.— 2010. Vol. 106(3/4), Art. #113. DOI:10.4102/ sajs.v106i3/4.113

58. **Sharrock, S.** Botanic gardens — promoting the use of underutilized plants for improved nutrition and health [Текст] / S. Sharrock // Acta Hortic.— 2008. Vol. 806. P. 615–620.

59. **Stack, J.** The National Plant diagnostic Network [Текст] / J. Stack, K. Cardwell [и др.] // Plant Disease. — 2006. Vol. 90. № 2.— P. 128–136.

60. **Tatem, A.J.** Climatic similarity and biological exchange in the worldwide airline transportation network [Текст] / A.J. Tatem, S.I. Hay // Proc. R.— Soc. 2007. B 274.— P. 1489–1496.

61. **Wang ,Z.-B.** Functional grouping and establishment of distribution patterns of invasive plants in China using self-organizing maps and indicator species analysis [Текст] / Z.-B. Wang, Y.-F. Chen, Y.-H. Chen // Arch. Biol. Sci.— Belgrade, 2009.— Vol. 61 (1). P. 71–78. DOI:10.2298/ABS0901071W

62. **Weber, E.** Plant Invasions in China: What Is to Be Expected in the Wake of Economic Development? [Текст] / E. Weber, B. Li // BioScience.— 2008. Vol. 58, № 5. P. 437–444.

63. **Wheelis, M.** Biological Attack on Agriculture: Low-Tech, High-Impact Bioterrorism [Текст] / M. Wheelis, R. Casagrande, L.V. Madden // BioScience. — 2002. Vol. 52, № 7. P 569–576.

64. **Vila, M.** Land-use and socio-economic correlates of plant invasions in European and North African countries [Текст] / M. Vila, J. Pujadas // Biological Conservation.— 2001. Vol. 100.— P. 397–401.

65. **Xu, H.** The distribution and economic losses of alien species invasion to China [Текст] / H. Xu, H. Ding, M. Li [и др.] // Biological Invasions.— 2006. № 8.— P. 1495–1500.

66. **Xu, H.** The status and causes of alien species invasion in China [Текст] / H. Xu, S. Qiang, Z. Han [и др.] // Biodiversity and Conservation.— 2006. Vol. 15. P. 2893–2904.

67. **Zhao, S.** Land use change in Asia and the ecological consequences [Текст] / S. Zhao, C. Peng, H. Jiang и др.] // Ecol. Res.— 2006. Vol. 21, № 6.— P. 890–896.

УДК 631.4

С.В. Овсянникова

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ (НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Один из показателей экологического состояния геологической среды — характер загрязнения почв, принимающих на себя основную долю антропогенного воздействия. На определенных региональных территориях эти показатели зависят как от вида хозяйственной деятельности человека, так и от природных геохимических факторов.

Прогрессирующее загрязнение окружающей среды наносит обществу эколого-экономический и социальный ущерб из-за снижения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур. Рассмотрим вопросы, связанные с загрязнением окружающей среды, на примере одной из областей РФ — Кемеровской.

Различные специалисты проводили свои исследования в районах крупных промышленных городов Кемеровской области, в результате чего установлены очаги загрязнения почв некоторыми тяжелыми металлами (ТМ). Наибольшие уровни

таких загрязнений характерны для зон влияния городов Новокузнецк, Киселевск, Осинники; там показатели суммарного загрязнения почв соответствуют третьему (опасному) и четвертому (чрезвычайно опасному) уровням, например, в пос. Елань. Высокое загрязнение почв установлено в промышленных районах города Кемерово, где содержание свинца — 1,63 мг/кг почвы, цинка — 1,82 мг/кг, фтора — 400–500 мг/кг, кобальта — 0,81 мг/кг. Повышенное количество подвижных форм меди отмечено в Крапивинском, Юргинском, Прокопьевском, Гурьевском, Новокузнецком районах.

Содержание подвижного цинка в почвах Юргинского, Яшкинского, Крапивинского, Гурьевского, Прокопьевского и Новокузнецкого районов близко к предельно допустимым количествам. В этих же районах установлено повышенное количество кобальта и свинца.

Таким образом, можно сделать вывод, что почвы области наиболее интенсивно подвергаются загрязнению тяжелыми металлами в зонах влияния промышленных городов, предприятий по добыче угля и полиметаллических руд, ТЭЦ, работающих на твердом местном топливе. Наиболее часто встречаются высокие концентрации кадмия, хрома, никеля, кобальта, цинка, свинца.

В такой ситуации назрела острая необходимость проследить динамику показателей содержания ТМ в почве. Это позволит иметь более реальное представление об экологической ситуации, даст основу для оценки и прогноза изменения почвенно-экологического состояния на перспективу и для разработки новых технологических приемов восстановления почв.

Исследования на содержание тяжелых металлов в верхнем слое почвы (0–30 см) проведены на семи опорных пунктах, в каждом из которых организовано от одной (Топкинский) до семи (Беловский) площадок, где наблюдали динамику изменения содержания ТМ.

Анализ степени загрязнения почвы на семи опорных пунктах проведен в сравнении с ПДК [6]. Площадки установлены во всех природно-климатических зонах Кемеровской области с учетом рельефа, почвенного покрова, производственно-технологических условий, чтобы максимально учесть многообразие антропогенных факторов влияющих на накопление тяжелых металлов в почвах Кемеровской области.

Исследования проведены по подвижным формам следующих металлов: свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu), цинка (Zn), марганца (Mn), никеля (Ni), кобальта (Co), железа (Fe), хрома (Cr).

Статистический анализ был проведен по медиане, так как она нечувствительна к различным отклонениям и неоднородностям, связанным с теми или иными неизвестными причинами.

Количество наблюдений колеблется от четырех (опорный пункт «Топкинский») до 34-х (опорный пункт «Беловский») за все периоды наблюдений, что обусловливает необходимость предварительного проведения проверки нормальности распределения с последующим расчетом статистических оценок. Проверка нормальности распределения осуществлялась с помощью критерия Уилка — Шапиро [1].

Статистический анализ был проведен в два этапа. На первом этапе делался анализ суммарного содержания тяжелых металлов на опорных пунктах, на втором — анализ по отдельным элементам. На каждом этапе сделана попытка выделить группы опорных пунктов с наибольшим содержанием тяжелых металлов, наименьшим и средним.

Наибольшее суммарное содержание тяжелых металлов выявлено на опорных пунктах «Новокузнецкий» и «Кемеровский», наименьшее — на «Тяжинском» и среднее на «Топкинском», «Ленинск-Кузнецком», «Яшкинском» и «Беловском» (табл. 1).

Как видно из табл. 1, разность между группой II (средний уровень содержания металлов) и группой III (низкое содержание металлов) — статистически незначимая.

Из-за отсутствия в исходных данных сведений о региональной фоновой концентрации тяжелых металлов анализ степени загрязнения почвы на опорных пунктах проведен в сравнении с ПДК [6].

Как видно из табл. 2, содержание тяжелых металлов не превышает установленных для них ПДК на всех опорных пунктах и колеблется в среднем от 0,03 ПДК по меди (Cu) до 0,79 по марганцу (Mn).

Согласно результатам анализа содержания отдельных элементов на опорных пунктах, наибольшее содержание дают марганец (Mn) и железо (Fe), которые в сумме составляют более 90 % от общего содержания тяжелых металлов. При-

Таблица 1

Суммарное содержания тяжелых металлов на опорных пунктах

Ранг	Опорный пункт	Концентрации тяжелых металлов							
		Σ	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
1	6«Новокузнецкий»	72,78	1,34	0,22	0,23	1,85	55,90	1,12	0,71
2	3 «Кемеровский»	68,48	1,63	0,13	0,09	1,46	48,65	1,14	0,88
3	7 «Топкинский»	62,73	1,11	0,17	0,03	1,21	54,90	0,63	0,33
4	4 «Л-Кузнецкий»	59,02	1,59	0,18	0,04	0,89	51,87	0,58	0,58
5	1 «Яшкинский»	53,55	1,60	0,12	0,04	0,73	42,08	1,14	0,74
6	5 «Беловский»	52,28	1,44	0,25	0,04	2,90	43,20	0,81	0,56
7	2 «Тяжинский»	40,10	1,50	0,12	0,20	1,01	28,28	1,51	0,73
	Предельно допустимая концентрация (ПДК)	–	6,0	0,5–2,0	3,0	23,0	60–700	4,0	5,0

Таблица 2

Загрязнения почвы на опорных пунктах в сравнении с ПДК

Опорный пункт	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
«Яшкинский»	0,27	0,07	0,01	0,03	0,66	0,25	0,18
«Тяжинский»	0,24	0,06	0,09	0,04	0,67	0,48	0,21
«Кемеровский»	0,27	0,08	0,04	0,08	0,81	0,31	0,20
«Л-Кузнецкий»	0,28	0,10	0,01	0,04	0,73	0,20	0,15
«Беловский»	0,24	0,13	0,01	0,13	0,72	0,23	0,17
«Новокузнецкий»	0,22	0,11	0,07	0,08	0,98	0,37	0,20
«Топкинский»	0,19	0,09	0,01	0,05	0,94	0,16	0,11
Среднее	0,24	0,09	0,03	0,06	0,79	0,28	0,17
ПДК	6,0	0,5–2,0	3,0	23,0	60–700	4,0	5,0

Таблица 3

Содержание отдельных элементов на опорных пунктах

Опорные пункты	Содержание, % от всей суммы ТМ								
	Mn	Fe	Pb	Zn	Ni	Cr	Co	Cd	Cu
«Яшкинский»	78,6	12,4	3,0	1,4	2,1	0,8	1,4	0,2	0,1
«Тяжинский»	70,5	14,2	3,7	2,5	3,8	2,7	1,8	0,3	0,5
«Кемеровский»	71,0	19,8	2,4	2,1	1,7	1,3	1,3	0,2	0,1
«Л-Кузнецкий»	87,9	4,6	2,7	1,5	1,0	1,0	1,0	0,3	0,1
«Беловский»	82,6	4,8	2,7	5,5	1,5	1,1	1,1	0,5	0,1
«Новокузнецкий»	76,8	13,5	1,8	2,5	1,5	2,2	1,0	0,3	0,3
«Топкинский»	87,5	6,3	1,8	1,9	1,0	0,6	0,5	0,3	0,0
Суммарно по всем пунктам	79,4	11,0	2,5	2,5	1,7	1,4	1,1	0,3	0,2

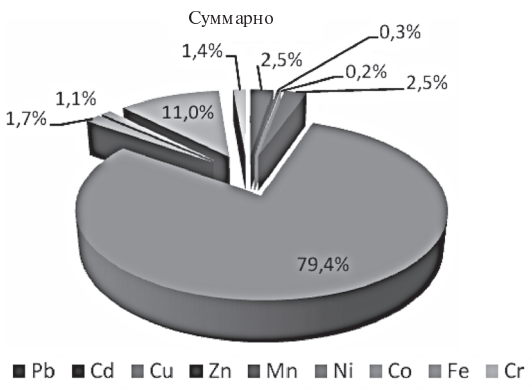


Рис. 1. Суммарное содержание ТМ на опорных пунктах

чем это соотношение характерно для большинства опорных пунктов. В то же время на опорных пунктах «Ленинск-Кузнецкий», «Беловский» и «Топкинский» относительное содержание железа (Fe) в два раза ниже, чем в среднем по выборке (табл. 3, рис. 1).

За период мониторинговых наблюдений динамика изменений по этапам исследования в 1995, 1999 и 2005 годах показывает, что по содержанию тяжелых металлов подвижных форм в почвах опорных пунктов наибольшее цифры дают марганец и железо. Менее всего накапливается медь и кадмий (см. табл. 4).

Динамика изменений согласно исследованиям в 1995, 1999 и 2005 годах такова: содержание свинца, никеля, кобальта, кадмия, цинка в почвах опорных пунктов имеет тенденцию к устойчивому повышению, а марганец, железо, хром, медь имеют тенденцию к снижению (табл. 4, рис. 2).

Анализируя наблюдения, мы проследили динамику изменения содержания ТМ на двух этапах и отметили, что у некоторых металлов наблюдается тенденции к уменьшению их содержания относительно уровня прошлых лет (Fe, Cr, Cu), у других (Mn, Co,Ni, Cd,Pb) наблюдаем увеличение . И лишь содержание Cu остается без изменений.

Таблица 4

Сводные статистические оценки результатов наблюдений по годам

Год	Содержание отдельных металлов в почвах								
	Mn	Fe	Pb	Zn	Ni	Cr	Co	Cd	Cu
1995	24,1	5,74	1,39	1,695	0,83	0,83	0,43	0,15	0,245
1999	64,945	5,51	1,36	1,27	1,01	0.765	0,6	0,145	0,075
2005	33,6	3,17	2,15	1,6	33,6	0,58	0,95	0,25	0,04

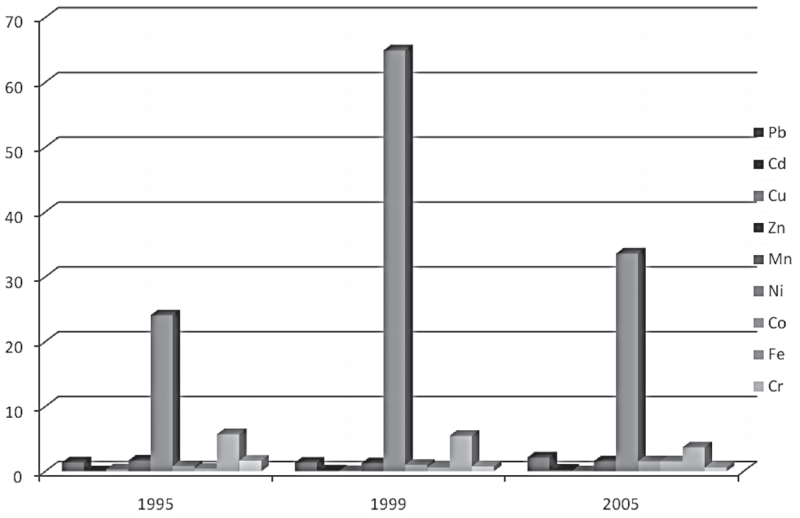


Рис. 2. Сводные статистические оценки результатов наблюдений тяжелых металлов по годам

Таким образом, для определения и оценки существующих уровней загрязнения необходимы систематическое ведение экологического мониторинга и последующий глубокий анализ данных с целью выявления и обозначения на местности территорий с почвами, которые подвергаются процессам загрязнения тяжелыми металлами и представляют опасность для окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дмитриев, Е.А.** Математическая статистика в почвоведении [Текст] / Е.А. Дмитриев. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 319с.

2. Справочник по прикладной статистике [Текст] / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана.— В 2-х томах.— М.: Финансы и статистика, 1989

3. **Холлендер, М.** Непараметрические методы статистики [Текст] / М. Холлендер, Д.А. Вульф; Под ред. Ю.П. Адлера и Ю.Н. Тюрина.— М.: Финансы и статистика, 1983. — 518 с.

4. **Рунион, Р.** Справочник по непараметрической статистике [Текст] / Р. Рунион.— М.: Финансы и статистика, 1982. — 198 с.

5. **Методические указания** МУ 2.1.7.730–99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Текст] / Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 07.02.1999

6. **ГН 2.1.7.2041–06** Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Текст] / Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19.01.2006 года.

УДК 504.054:546.62+543.421

Л.В. Плахова, Н.Л. Вишневская

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Одно из перспективных направлений современной науки — использование нанотехнологий для создания новых материалов и изделий.

Бурное развитие нанотехнологий, несомненно, приведет к тому, что в ближайшие годы содержание наночастиц в объектах окружающей среды увеличится, появится необходимость организации контроля и оценки их реальной опасности для человека [1].

Размер наночастиц — примерно 1–100 нм, а их физические и химические свойства отличаются от молекулярного и атомного уровня исходного вещества. Известно, что нанообъекты с размерами из указанного диапазона имеют свои, отличные от исходного вещества, тепловые, электронные, оптические, магнитные, структурные и другие свойства, и, соответственно, их поведение и взаимодействие с окружающей средой, включая водную среду и биологические жидкости, отличается от веществ, на основе которых они получены.

Вследствие изменения своих структурных физических и химических свойств нанообъектов они могут отличаться по биологической активности от веществ, находящихся в молекулярной форме.

Данные о биологическом действии нановеществ и материалов малочисленны. При переходе исходных веществ в форму наночастиц они могут значительно изменять свои физико-химические свойства, что может отразиться на их физиологических эффектах в процессе всасывания в пищеварительном тракте, усвоении в организме; кроме того, отмечаются неблагоприятные эффекты при ингаляционном поступлении наноматериалов в организм человека; в частности, установлено воспалительное поражение легочной ткани, вероятно, обусловленное пероксидантным и генотоксическим действием. В настоящее время обсуждаются вероятные системные эффекты при ингаляциооном поступлении наноматериалов, что может сопро-

вождаться поражением сердечно-сосудистой системы, печени, почек и др. (Г.Г. Онищенко, 2007) [2].

Вместе с тем биологические пути поступления наноматериалов в организм через кожные покровы, слизистые оболочки и возможные неблагоприятные эффекты изучены пока недостаточно.

Цель исследований — определить методические подходы к оценке безопасности наноматериалов и нанотехнологий, использующие современные физико-химические методы исследования объектов окружающей среды и биоматериалов. В частности, стояла задача разработать методику определения ряда тяжелых металлов на базе атомно-абсорбционной спектрометрии.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии в режиме электротермической атомизации с зеемановской коррекцией неселективного поглощения (атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915). Объектами исследований были биопробы мочи, желчи, желудочного сока (600 проб).

Особенно актуальны изучение вопросов потенциальной опасности наноматериалов и нанотехнологий, а также разработка критериев их безопасности для здоровья человека и окружающей среды с точки зрения гигиенической безопасности. В соответствии с действующм законодательством аттестация производств и сертификация наноматериалов требуют незамедлительных решений по оценке потенциальной опасности нанотехнологий для человека и окружающей среды [3].

По нашему мнению, некоторое отставание сроков, трудности изучения влияния наноматериалов на организм во многом связаны с отсутствием достаточно разработанных эффективных и доступных методов исследования объектов окружающей среды и биологических объектов.

Сложности изучения химического состава наноматериалов и их технологий связаны с малыми размерами структурных составляющих, большой протяженностью границ и поверхности раздела фаз, возможностью формирования метастабильных, неизученных к настоящему времени модификаций, высокой реакционной способностью новых композитов, отсутствием данных об их биологическом действии [3].

Нами проведена сравнительная оценка существующих высокочувствительных физико-химических методов анализа элементного состава наноматериалов. Она показала, что современный атомно-эмиссиоиный спектральный метод позволяет определять до 80 элементов Периодической системы. Элементы, содержащиеся в анализируемом нанообразце, могут идентифицироваться по характерным линиям интенсивности их спектров, что позволяет определять количественный, элементный состав. Методы экспрессны и поддаются автоматизации. Установлено, что при анализе расходуются очень малые количества (порядка миллиграммов) наноматериала в любом агрегатном состоянии.

Аппаратурное обеспечение метода атомно-абсорбционной спектрометрии в настоящее время достаточно широко производится отечественными и зарубежными фирмами и отличается по стоимости, функциональным возможностям и инструментальным параметрам. А это в свою очередь означает, что задача определения элементного состава объектов окружающей среды и биологических проб может быть решена неоднозначно.

Как правило, основной критерий выбора аппаратуры для решения поставленной аналитической задачи — чувствительность метода по отношению к определяемому компоненту (табл. 1). Но поскольку обычно этот критерий не бывает привязан к изучаемой среде, то предел обнаружения не может быть единственным критерием выбора [4–6]. Нами выполнена сравнительная оценка чувствительности методов с применением спектрометров различных фирм (см. табл. 1)

Анализ показал, что спектрометр МГА 915 (Санкт-Петербург) — наиболее адекватный для выполнения исследований, поскольку имеет самый низкий из представленного оборудования предел обнаружения.

Нами установлено, что метод атомной абсорбции с применением электротермического атомизатора обеспечивает рекордно низкие значения $C_н$ (нижний предел определения) по многим элементам. Их численные значения колеблются для разных элементов до десятых долей нанограмма в одном миллилитре раствора, достигая в абсолютном выражении величины 10^{-12}–10^{-14} г.

Нами разработаны методики определения ряда тяжелых металлов в биологических средах,

Таблица 1

Сравнительная характеристика по чувствительности атомно-абсорбционных спектрометров с графитовой печью

Спектрометр/фирма	Характеристическая масса, пг	
	Ванадий	Алюминий
GTA«Вириан» (Австралия)	22	5,0
«Квант ZETA» (Москва)	17	4,0
Графит – 5 (Украина)	44	22,0
Perkin Elmer (США)	40	10
МГА 915 (Санкт-Петербург)	4,0	3,2

которые утверждены МЗ РФ и Роспотребнадзором РФ (табл. 2).

Разработанные методики определения микроэлементного состава неинвазивных биологических сред имеют высокую точность в установленных диапазонах — максимальная погрешность 19 %.

Кроме того, для образцов наноматериалов масс-спектральный метод анализа также демонстрирует высокую эффективность. При рентгеноспектральном анализе исследуемая проба наноматериала облучается жестким рентгеновским излучением. Ионизированные атомы дают рентгеновский спектр, соответствующий энергии квантового перехода, характерной только для конкретного элемента. В зависимости от способа генерации рентгеновского излучения различают рентгенофлюоресцентный, рентгенорадиационный анализы и рентгеноспектральный анализ с ионным возбуждением. Среди применяемых спектрометрических методов — также УФ-, ИК-, оптическая, микроволновая и радиоспектроскопия, в том числе методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР), электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и др.

Наш опыт показал, что известные физико-химические методы анализа наноматериалов, реализованные на современном оборудовании,

Таблица 2

Основные аналитические параметры методов атомно-абсорбционного определения металлов в жидких биосредах (моча, желчь, желудочный сок)

Определяемый элемент	Моча		Желчь		Желудочный сок	
	Диапазон определяемых концентраций, мг/дм^3	Относительная погрешность определения P = 0,95, %	Диапазон определяемых концентраций, мг/дм^3	Относительная погрешность определения P = 0,95, %	Диапазон определяемых концентраций, мг/дм^3	Относительная погрешность определения P = 0,95, %
Марганец	0,005–0,1	7,7	0,05–0,25	5,1	0,005–0,1	18,7
Свинец	0,01–0,5	18,7	0,1–1,0	15,5	0,05–0,5	16,7
Никель	0,01–0,5	15,5	0,5–2,0	7,04	0,25–2,5	3,6
Хром	0,01–0,1	19,5	0,01–0,25	19,3	0,01–0,25	5,7
Медь	0,01–0,1	17,9	0,05–1,0	14,8	0,1–1,0	4,6
Кадмий	0,005–0,1	10,5	0,01–0,1	4,7	0,005–0,1	16,5
Цинк	0,05–2,0	12,05	0,25–2,5	3,5	0,25–2,5	2,9
Железо	0,01–0,5	18,7	–	–	–	–

могут найти применение в научно-исследовательских лабораториях, а также для оценки влияния производственных и экологических факторов на организм человека, использоваться при аттестации нанопроизводств, сертификации и гигиенической оценке безопасности продукции, изготовленной на основе нанотехнологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ганеев, А.А.** Атомно-абсорбционный анализ [Текст] / А.А. Ганеев, С.Е. Погарев, А.В. Пупышев.— СПб., 2001.— 211 с.

2. **Ермаченко, А.А.** Атомно-абсорбционный анализ с графитовой печью [Текст] / А.А. Ермаченко, В.М. Ермаченко; Под ред. Л.Г. Подуновой.— М., 1999.— 219 с.

3. **Малышева, А.Г.** Проблемы химико-аналитических исследований при гигиенической оценке наноматериалов и нанотехнологий [Текст] / А.Г. Малышева // Гигиена и санитария.— М., 2008. № 6.— С. 16.

4. **Онищенко, Г.Г.** Методические подходы к оценке безопасности наноматериалов [Текст] / Г.Г. Онищенко, А.И. Арчаков, В.В. Бессонов [и др.] // Гигиена и санитария.— М., 2007.— № 6.— С. 3.

5. **Русаков, Н.В.** Эколого-гигиенические проблемы отходов наноматериалов [Текст] / Н.В. Русаков // Гигиена и санитария.— М., 2008. № 6.— С. 20.

6. Analytical Methods for Tube Atomizers [Текст] / Editor E. Rothery // Varian Australia Pty Ltd. Publication.— 1988.— № 85-100848–00.— 193 p.

УДК 628.144

Н.Л. Вишневская, Е.Ю. Сивак, В.М. Чернышева

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА И ЗДОРОВЬЕ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Безопасность питьевого водоснабжения — одна из главных составляющих безопасности населения России.

Россия располагает пятой частью общемировых ресурсов питьевой воды, но при этом переживает трудности в решении вопросов рационального использования водных ресурсов, совершенствования технологий очистки и кондиционировании питьевой воды, внедрения универсальных форм обеспечения населения доброкачественной питьевой водой.

Централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения в городах пользуются 98 % населения, а в сельской местности — 64 %, но при этом среднее водопотребление на одного городского жителя составляет 326 л в сутки, а сельского — лишь 84 л в сутки. Социально-гигиенический мониторинг состояния водных объектов свидетельствуют, что практически все водоисточники, как поверхностные, так и подземные, подвергаются антропогенному и техногенному воздействию с различной степенью интенсивности.

Задачей нашего исследования было выявление возможной связи неинфекционной заболеваемости детского населения с качеством потребляемой питьевой воды в условиях крупного промышленного города.

В конце 20-х годов прошлого века на основе изучения географической и гигиенической ситуации профессором Г.В. Хлопиным была рекомендована схема водоснабжения города Перми за счет использования естественных островов на реке Каме. Городские сточные воды предусматривалось сбрасывать в отдаленный рукав, а водоснабжение осуществлять из ближайшего левого рукава реки. Оригинальное решение проблемы водоснабжения и канализования позволило приступить к проектированию и строительству Большекамского водопровода (БКВ), которое завершилось к 1936 году. По принятой схеме водоснабжение осуществлялось до 1960

года, когда после строительства Воткинской гидростанции уровень воды в р. Каме поднялся и острова перестали существовать, а сточные воды стали поступать в тот же рукав, из которого осуществлялось водоснабжение города.

Принятая схема обработки питьевой воды — классический образец с коагуляцией, отстаиванием, фильтрацией и применением хлора на этапе обеззараживания. Интенсивное загрязнение реки за счет сбросов промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод создавало негативную ситуацию в районе водозабора, поскольку барьерная функция головных сооружений не обеспечивала качественную обработку, а развитие крупного промышленного города требовало больших объемов подаваемой воды.

Новым (дополнительным) источником водоснабжения была определена р. Чусовая — Чусовские очистные сооружения (ЧОС). В семидесятых годах водоснабжение города стало осуществляться из двух источников, качественные природные особенности которых различны.

Выполнен сравнительный анализ результатов полных химических анализов качества воды станций первого подъема БКВ и ЧОС за десятилетний период с 1994 по 2004 год.

Установлены статистически достоверные различия между показателями, характеризующими природные свойства воды источников (минерализация, жесткость, концентрация ионов кальция и магния, содержание фтор-иона), а также уровнем и спектром антропогенных загрязнений, которые представлены солями тяжелых металлов и органическими соединениями.

Так, уровень минерализации камской воды относится к категории низкой и удовлетворительной, по среднемноголетним данным он составляет 277,53±35,04 мг/л, а в чусовской воде выявлена оптимальная минерализация — 540±68,96 мг/л. Камская вода относится к мягким типам (общая жесткость 3,41±0,69 мг-экв/л), а вода р.Чусовой — средней жесткости (7,06±0,76 мг-экв/л). При этом в камской воде наблюдается низкое содержание катионов кальция и магния, в чусовской — повышенное содержание кальция и оптимальное магния.

Антропогенные загрязнения, примерно идентичные по спектру и концентрациям, выявлены в воде обоих источников. Они представлены солями тяжелых металлов и органическими составляющими. Достоверные различия качества воды источников сохраняются и после реагентной обработки на водопроводных станциях.

Работами отечественных исследователей установлено, что маломинерализованные мягкие воды с недостатком кальция могут в той или иной степени влиять на генерацию разнообразной патологии типа микроэлементозов или способствовать развитию неинфекционных соматических заболеваний (1, 2).

Нами в качестве рабочей гипотезы выдвинуто предположение о том, что особенности природного состава двух источников могут определить различный характер влияния потребляемой воды на организм, поскольку антропогенные загрязнения в большей степени могут проявлять токсичные свойства в мягкой воде, чем в жесткой. В связи с чем целью данной работы было изучение здоровья детского населения в зависимости от качества потребляемой питьевой воды.

Проведенный предварительный анализ заболеваемости детского населения (от 1 до 14 лет) на территории одного из районов города, получающего воду из двух источников водоснабжения, выявил приоритетный уровень неинфекционной патологии, которая составляла 83 % от всех зарегистрированных случаев.

Дальнейшие исследования показали, что территориально можно выделить примерно половину населения выбранного района, которая пользуется питьевой водой из р. Камы, и около трети населения — водой из р. Чусовой. Поскольку детское население обслуживается по территориальному принципу, работа проводилась на разных педиатрических участках. Установлены статистически достоверные различия заболеваемости желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и мочевыводящей системы у детей на разных педиатрических участках с водоснабжением из р. Камы и р. Чусовой.

Оценка уровня заболеваемости была выполнена по методу копия-пара. Копии-пары были сформированы по принципу идентичности и однородности по следующим показателям: климатогеографическому, социально-экономическому, уровню медицинского обслуживания. Копии-пары представляли собой педиатрические участки двух детских больниц, обслуживающих территорию, отличающиеся по одному признаку-источнику водоснабжения. В целом массив составлял около шести тысяч амбулаторных карт.

При корреляционном анализе в качестве причинного фактора был выбран общий уровень минерализации питьевой воды, а в качестве зависимого — уровень заболеваемости желудочно-кишечного тракта и мочевыводящей системы неинфекционной этиологии. Анализ показал, что имеется обратная средней степени связь между уровнем минерализации питьевой воды р. Камы (БКВ) и заболеваемостью, т. е. при минимальной минерализации питьевой воды наблюдалась максимальная заболеваемость.

Таким образом, выдвинутая гипотеза о возможной связи неинфекционной патологии с качеством потребляемой воды в ходе проведенного нами исследования нашла свое подтверждение.

В дальнейшем было проведено обследование стоматологического статуса у подростков 15–17 лет, проживающих на территориях с различными условиями водоснабжения и потребляющих питьевую воду из различных источников

В ходе клинических обследований было установлено, что поражение тканей пародонта (распространенность и интенсивность гингивита) самыми высокими были в группе школьников, употреблявших питьевую воду повышенной минерализации из р. Чусовой, в результате чего происходит ускоренная минерализация мягкого зубного налета с последующим образованием зубного камня.

Распространенность и интенсивность кариеса зубов была самой высокой в группе детей, употреблявших маломинерализованную камскую воду.

Детальное биохимическое исследование смешанной слюны у подростков, пользующихся водой разных поверхностных источников, показало, что имеется корреляция между содержанием кальция, магния в питьевой воде и слюне у подростков. Содержание общего кальция оказалось в два раза выше у школьников, которые употребляют воду с оптимальной минерализацией.

Выполненные социологические исследования и интервьюирование школьников по специально разработанной анкете показали достаточно низкий уровень санитарной культуры, что подтверждено клиническими исследованиями.

Таким образом, была подтверждена рабочая гипотеза и показано что в мягкой маломинерализованной камской воде при существенном дефиците кальция токсичность тяжелых металлов увеличивается, что приводит к существенному росту кариеса: но и оптимально минерализованная вода р. Чусовой при наличии аналогичных антропогенных загрязнений не препятствует возникновению патологических изменений тканей пародонта.

В качестве контрольной группы был выбран детский контингент, потреблявший воду из артезианского источника (глубина 98 м), не имеющего каких-либо антропогенных загрязнений. Оценка стоматологического статуса показала, что состояние полости рта в группе этих детей наилучшее.

Решение вопросов улучшения водоснабжения города связано с реализацией программы «Чистая вода». Эта программа предусматривает реконструкцию Чусовских очистных сооружений, усовершенствование водоподготовки с применением сорбционных методов очистки на угольных фильтрах и озонирования.

Особенно важным для населения следует считать решение проблемы восполнения дефицита биогенных элементов за счет питьевой воды. Использование подземных вод, экологически чистых и богатых необходимыми для организма биогенными солевыми компонентами, может восполнить до четверти-трети суточной потребности и стать основой реальной профилактики ряда неинфекционных заболеваний. Кроме того, в условиях биогеохимических провинций можно применять способы немедикаментозной алиментарной профилактики [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авцин, А.П.** Микроэлементозы человека [Текст] / А.П. Авцин, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова.— М.: Медицина, 1991.— 478 с.

2. **Голиков, С.Н.** Общие механизмы токсического действия [Текст] / С.Н. Голиков, И.В. Саноцкий, Л.А. Тиунов; АМН СССР.— Л.: Медицина, 1986.— 280 с., ил.

3. **Онищенко, Г.** Состояние питьевого водоснабжения в российской федерации: проблемы и пути решения [Текст] / Г. Онищенко // Гигиена и санитария.— 2007. № 1.— С. 10–14.

УДК 574.91(075)

В.Н. Уманец

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОСФЕР ОТХОДАМИ ЖКХ

При функционировании предприятий строительного комплекса и ЖКХ возникают факторы риска, обусловленные воздействием этих предприятий на компоненты окружающей среды — атмосферу, почву, поверхностные и подземные воды. Кроме твердых коммунально-бытовых и строительных отходов, о которых исследований и публикаций очень много, в тени остаются проблемы, создаваемые жидкими отходами ЖКХ, и риски, связанные с ними.

Эти проблемы характерны для всех регионов России и стран СНГ в связи с остаточным принципом в финансировании реконструкции, ремонта и строительства новых очистных и канализационных сооружений, как в советское время, так и во время перестройки и перехода к рыночным отношениям. Покажем их более подробно на примере нашей Ленинградской области.

Среди общих проблем водоотведения в Ленинградской области выделяются отсутствие в Санкт-Петербурге централизованной системы водоотведения, а в ряде населенных пунктов — вообще каких бы то ни было систем водоотведения, сброс неочищенных стоков на рельеф либо в водоемы, высокая степень износа сетей и сооружений систем водоотведения, несоответствие существующих технологий очистки сточных вод современным нормативным требованиям, нерешенность вопросов обработки осадков сточных вод и их утилизации.

По данным портала НИА-Природа из общего объема сброса сточных вод в водные объекты Санкт-Петербурга 95 % составляют загрязненные сточные воды. По объему загрязненных сточных вод Санкт-Петербург занимает второе место среди субъектов Федерации — на его долю приходится 6 % общероссийского объема сброса сточных вод данной категории.

Основной «поставщик» загрязненных сточных вод, как уже отмечено, — ЖКХ, с очистных сооружений которого сбрасывается более 1115,15 млн м^3, или 90 % городского объема сброса.

Практически все водные объекты Ленинградского региона за исключением р. Свирь интенсивно загрязнены и относятся по уровню антропотехногенной нагрузки к источникам III-й степени санитарной опасности. Вода в большинстве водных объектов Ленинградской области оценивается как загрязненная по многим физико-химическим, биологическим и органолептическим показателям, что связано с высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду, в частности со сбросом загрязненных или недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные воды региона. Особую опасность представляют недостаточно очищенные сточные воды, сбрасываемые в такие природные водные объекты, как реки Нева, Луга, Вуокса, Плюса, Свирь и Волхов, являющиеся источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Качество воды водоемов, используемых для питьевого водоснабжения (I категория) и для рекреационных целей (II категория), по санитарному состоянию, как и в предыдущие годы, продолжает оставаться неудовлетворительным. Положение с отведением сточных вод от населенных мест Ленинградской области сегодня признано неблагополучным. Под контролем Управления Роспотребнадзора на территории области находится 361 КОС, из которых на 123 (34 %) фактически осуществляется только механическая очистка стоков. Через канализационные очистные сооружения пропускается около 65 млн м^3 в год сточных вод, из которых более 50 % по степени очистки не отвечают санитарным требованиям, порядка 8 % сточных вод отводятся в водные объекты или на рельеф практически без очистки, так как часто КОС находятся в заброшенном, неисправном или разрушенном состоянии.

Наибольшие объемы сточных вод с весьма низкой степенью очистки от неисправных очистных сооружений отводятся в Волховском, Лужском, Тосненском, Ломоносовском, Всеволожском, Приозерском, Выборгском, Кировском, Гатчинском районах [1].

Источниками загрязнения прибрежных вод морей по-прежнему остаются неэффективные

канализационные сооружения, неочищенные ливневые стоки, а также сточные воды с неканализованных населенных пунктов и оздоровительных учреждений, неудовлетворительные по санитарно-техническому состоянию глубоководные выпуски.

Аналогичную ситуацию можно найти практически в любом городе России.

Отмеченные проблемы и создают геоэкологический риск загрязнения поверхностной гидросферы в районе населенных пунктов. Учет рисков необходим прежде всего при формировании механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие градостроительной деятельности и жилищного хозяйства и регулирующих природоохранную деятельность.

Известно, что одной из наиболее эффективных моделей оценки риска является вероятностная модель. Ранее [2] нами предлагалось в качестве критерия, обеспечивающего усредненную вероятностную оценку степени загрязнения окружающей среды, использовать интеграл от функции распределения концентраций загрязняющих веществ, взятый в пределах от ПДК каждого вещества до максимального значения концентраций.

Позже [3], учитывая, что закон распределения вредных элементов в атмосфере, гидросфере или почве чаще всего близок к нормальному (симметричен), для аппроксимации плотности вероятностей распределения вредных содержаний было предложено использовать распределение Вейбулла, которое позволяет описать основные виды распределений (от правоасимметричных до нормальных и левоасимметричных) [4].

Исходя из этого положения критерий оценки риска загрязнения j-м веществом имеет вид

$$R_j = \exp\left[-\left(\frac{b_j \text{ПДК}_j}{S_j}\right)^{m_j}\right], \quad \text{доли ед.}, \qquad (1)$$

где b_j и m_j — параметры распределения Вейбулла для j-го вредного вещества; S_j — среднее значение концентрации j-го вредного вещества в окружающей среде в заданном (оцениваемом) временном интервале.

Формула (1) показывает вероятность превышения ПДК j-го загрязняющего вещества при изменчивости во времени его концентрации по закону Вейбулла с параметрами b и m, т. е. риск превышения предельных норм,

Конкретные значения, получаемые из зависимости (1), являются вероятностными величинами, т. е. характеризуют вероятность экологического риска в зависимости от изменчивости различных загрязняющих веществ и абсолютной (средней) величины показателя загрязнения компонента ОС. Для вычисления риска необходимо знать только среднее значение показателя загрязнения по различным источникам на конкретном промежутке времени и его коэффициент вариации по этим источникам или на этом же отрезке времени. Данный критерий, изменяющийся от 0 до 1 (или от 0 до 100 %), позволяет в удобной форме производить оценку рисков загрязнения компонентов ОС в зоне действия любых предприятий, в том числе и ЖКХ.

С целью адаптации данного подхода к оценке риска загрязнения различных компонентов окружающей среды (атмосфера, вода, почва) используем выражения для комплексного и суммарных показателей загрязнения компонентов окружающей среды.

При оценке загрязнения атмосферного воздуха используется комплексный показатель ($P = Z_\text{a}$), определяемый по формуле [5]

$$Z_\text{a} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} K_i^2}, \qquad (2)$$

где K_i^2 — квадрат нормированной по ПДК концентрации i-го вещества, приведенной к таковой концентрации вещества 3 класса опасности; i — номер вещества; m — количество загрязняющих веществ.

$$K_i = \frac{C_{i\text{a}}}{\text{ПДК}_{i\text{a}}}, \qquad (3)$$

где $C_{i\text{a}}$ — концентрация i-го загрязняющего вещества в атмосфере; $\text{ПДК}_{i\text{a}}$ — предельно допустимая концентрация этого вещества.

Приведение концентраций различных веществ, нормированных по ПДК, к концентрациям веществ 3-го класса опасности осуществляется согласно формуле

$$K_i = K_j^n, \qquad (4)$$

где j — класс опасности; n — коэффициент изоэффективности: для 1-го класса $n = 2{,}3$; для 2-го класса $n = 1{,}3$; для 3-го класса $n = 1$ и для 4-го класса $n = 0{,}87$ (при величинах концентраций, нормированных по ПДК, выше 2,5 для 1-го класса, выше 5,0 — для 2-го класса, выше 8,0 — для

3-го класса и выше 11,0 — для 4-го класса приведение к 3-му классу осуществляется путем умножения значений концентраций, нормированных по ПДК, соответственно на 3,2; 1,6 и 0,7).

Загрязнение почвенного покрова оценивается по суммарному показателю химического загрязнения $Z_{\text{п}}$, который характеризует степень химического загрязнения почв обследуемых территорий и определяется как сумма коэффициентов концентраций отдельных загрязняющих веществ (ЗВ) по формуле [6]

$$Z_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} K_{Ki} - (n-1), \qquad (5)$$

где n — число загрязняющих веществ, определяемых в почве; $K_{\text{к}i}$ — коэффициент концентрации i-го ЗВ, равный частному от деления массовой доли этого ЗВ в загрязненной почве на его значение в «фоновой» почве для тяжелых металлов. Для загрязняющих веществ неприродного происхождения коэффициент концентрации определяют как частное от деления массовой доли ЗВ на его ПДК.

Для совокупной оценки опасных уровней загрязнения водных объектов применяется суммарный показатель химического загрязнения ($Z_{\text{в}} = \text{ПХЗ}_{10}$), определяемый по формуле [7]

$$Z_{\text{в}} = \sum_{1}^{10} \frac{C_{i\text{в}}}{\text{ПДК}_{i\text{в}}}, \qquad (6)$$

где $\text{ПДК}_{i\text{в}}$ — предельно допустимая концентрация i-го ЗВ в водоемах рыбохозяйственного назначения; $C_{i\text{в}}$, — концентрация химических веществ в воде.

Для химических веществ, по которым уровень загрязнения вод «относительно удовлетворителен», отношение концентрации i-го ЗВ и его ПДК условно принимается равным единице.

Согласно данным [6, 7] экологическая обстановка классифицируется по возрастающей степени экологического неблагополучия как допустимая (относительно удовлетворительная), опасная (напряженно-критическая), кризисная (чрезвычайная) и катастрофическая (бедственная). Для конкретных значений $Z_{\text{а}}$, $Z_{\text{п}}$ и $Z_{\text{в}}$ эта градация приведена в табл. 1.

Допустим, что известна функция плотности распределения показателя загрязнения компонента природной среды (рис. 1), которую выразим через $\varphi(Z)$. Экологическое состояние окружающей среды (ОС) в зависимости от значения Z будет соответствовать:

допустимому, если $Z < Z_1$;

опасному, если $Z_1 < Z < Z_2$;

кризисному, если $Z_2 < Z < Z_3$;

катастрофическому $Z > Z_3$.

Интеграл от функции плотности распределения в границах от 0 до $+\infty$ представляет собой площадь под кривой плотности распределения и равен единице. Очевидно, что интеграл, взятый в пределах от Z_1 до $+\infty$, т. е. в интервале значений, превышающих допустимый уровень загрязнения компонента ОС, равный Z_1, и будет представлять

Таблица 1

Градация экологического состояния ОС по степени загрязнения атмосферы ($Z_{\text{а}}$), гидросферы ($Z_{\text{в}}$) и почвы ($Z_{\text{п}}$)

Наименование параметров	Экологическое состояние ОС			
	Допустимое (Z_1)	Опасное ($Z_1 - Z_2$)	Кризисное ($Z_2 - Z_3$)	Катастрофическое (Z_3)
Комплексный показатель загрязнения атмосферы ($Z_{\text{а}}$):				
1 веществом	1	1–8	8–16	более 16
2–4 веществами	2	2–16	16–32	более 32
5–9 веществами	3	3–32	32–48	более 48
10–16 веществами	4	4–48	48–64	более 64
16–25 веществами	5	5–64	64–80	более 80
Суммарный показатель загрязнения почв ($Z_{\text{п}}$)	менее 16	16–32	32–128	более 128
Суммарный показатель загрязнения водных объектов ($Z_{\text{в}}$)				
1–2 класс опасности ЗВ	1	1–35	35–80	более 80
3–4 класс опасности ЗВ	10	10–100	100–500	более 50

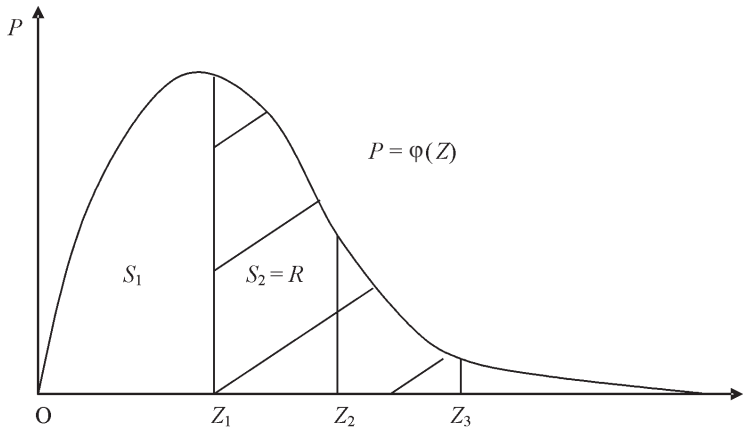


Рис. 1. График функции плотности распределения показателя загрязнения окружающей среды

собой вероятность опасного загрязнения, или риск такого загрязнения. Графически — это заштрихованная площадь S_2 под кривой функции плотности распределения $P = \varphi(Z)$. Причем $S_2 < 1$, а $S_1 + S_2 = 1$. Соответственно, пределы интегрирования от Z_2 до ∞ определят риск превышения кризисного уровня загрязнения, а взяв интеграл в пределах от Z_3 до ∞, получим риск катастрофического загрязнения компонента ОС.

В общем виде геоэкологический риск опасного загрязнения компонента ОС определится из выражения

$$R = \int_{Z_{\text{гр}}}^{\infty} \varphi(Z)\, d(Z), \qquad (7)$$

где $\varphi(Z)$ — функция плотности распределения показателя загрязнения; $Z_{\text{гр}}$ — граничное значение Z для различных уровней загрязнения ($Z_{\text{гр}} = \{Z_1, Z_2, Z_3\}$).

Как отмечено выше, наиболее полно распределение показателя загрязнения компонента ОС (Z) описывает закон распределения Вейбулла с параметрами b и m, зависящими от математического ожидания Z и его коэффициента вариации, т. е. изменчивости Z в годовом или многолетнем разрезе, или по различным источникам загрязнения:

$$\varphi(Z) = \varphi(x) = \left(\frac{b}{\overline{x}}\right)^m x^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{bx}{\overline{x}}\right)^m\right]. \qquad (8)$$

Подставив вместо $\varphi(Z)$ в формулу (7) выражение (8) и взяв интеграл в указанных пределах, получим:

а) риск опасного загрязнения

$$R_{\text{оз}} = \exp\left[-\left(\frac{Z_1 b}{M(Z)}\right)^m\right] = e^{-\left(\frac{Z_1 b}{M(Z)}\right)^m}, \text{ доли ед.;} \quad (9)$$

б) риск кризисного загрязнения

$$R_{\text{крз}} = \exp\left[-\left(\frac{Z_2 b}{M(Z)}\right)^m\right] = e^{-\left(\frac{Z_2 b}{M(Z)}\right)^m}, \text{ доли ед.;} \quad (10)$$

в) риск катастрофического загрязнения

$$R_{\text{катз}} = \exp\left[-\left(\frac{Z_3 b}{M(Z)}\right)^m\right] = e^{-\left(\frac{Z_3 b}{M(Z)}\right)^m}, \text{ доли ед., (11)}$$

где $M(Z)$ — математическое ожидание, или среднее значение, Z в оцениваемом периоде; b и m — параметры распределения Вейбулла, которые находятся из таблиц в зависимости от коэффициента вариации Z [4].

Следует отметить, что в формулах оценки риска кроме показателя загрязнения Z могут быть использованы и другие нормативные и лимитирующие параметры, например ПДК химических веществ в различных средах, ИЗА, ИЗВ, уровень радиационного загрязнения почв, превышение регионального уровня минерализации водных ресурсов и т. п.

Таким образом, конкретные выражения полученных зависимостей (9)–(11) являются вероятностными величинами, т. е. характеризуют вероятность геоэкологического риска в зависимости от интенсивности различных источников загрязнения предприятий ЖКХ и абсолютной

(средней) величины показателя загрязнения компонента ОС. Для вычисления риска необходимо знать только среднее значение Z по различным источникам загрязнения или на конкретном промежутке времени и коэффициент вариации показателя загрязнения по этим источникам или на этом же отрезке времени. Данный критерий, изменяющийся по величине от 0 до 1 (или от 0 до 100 %), позволяет в удобной форме производить оценку рисков загрязнения компонентов ОС в зоне действия любых предприятий.

Приведем пример реализации предлагаемой методики. На основе анализа данных опробования поверхностных вод в зоне влияния одного из предприятий ЖКХ Северо-Западного региона установлены основные загрязнители водной среды: сульфаты, хлориды, азот аммония, железо, магний, медь, свинец и цинк. Определены индексы загрязнения вод (ИЗВ) для периода с 1997-го по 2005 год; величина их неравномерна и изменяется от 1,78 до 38,67 (табл. 2).

Вычислены также статистические характеристики: среднее значение M(ИЗВ), стандарт (σ) и коэффициент вариации (V).

Тогда для нашего случая (V = 146 %) параметры закона Вейбулла будут равны b = 1,26 и m = 0,702 (по таблицам специальных функций), а значения риска составят:

а) для умеренного (опасного) загрязнения

$$R_{\text{в}} = \exp\left[-\left(\frac{1\cdot 1,26}{8,25}\right)\right]^{0,702} = 0,765\ (76,5\,\%); \quad (12)$$

Таблица 2

Значения ИЗВ в зоне влияния предприятия

№ п/п	Годы	ИЗВ	М(ИЗВ)	σ	V
1	1997	2,20	8,25	12,01	1,46
2	1998	2,60			
3	1999	2,14			
4	2000	1,78			
5	2001	13,8			
6	2002	2,97			
7	2003	5,84			
8	2004	4,25			
9	2005	38,67			

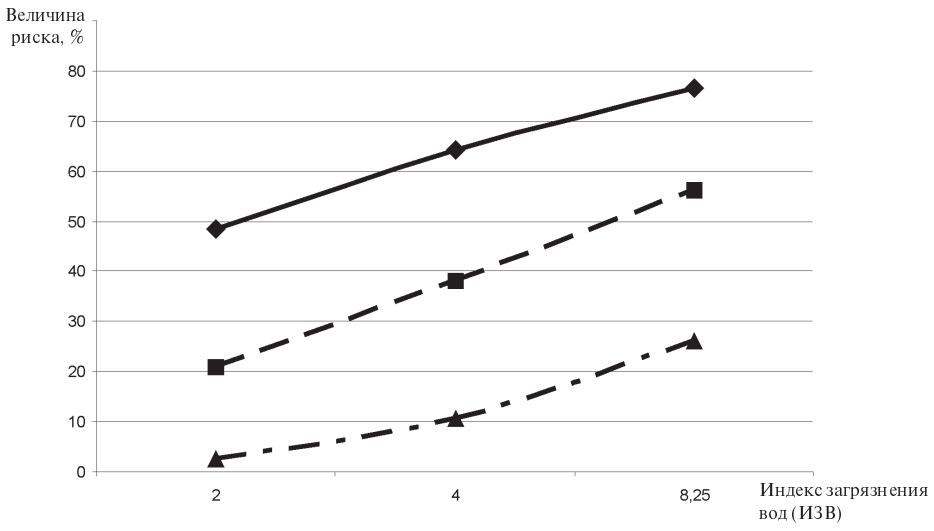


Рис. 2. Изменение геоэкологического риска загрязнения гидросферы в зависимости от средних значений ИЗВ (при постоянной изменчивости): — умеренное; — высокое; — катастрофическое

б) для высокого (кризисного) загрязнения

$$R_{\text{ВВ}} = \exp\left[-\left(\frac{3\cdot 1,26}{8,25}\right)\right]^{0,702} = 0,561\ (56,1\%); \quad (13)$$

в) для чрезвычайно высокого (катастрофического) загрязнения

$$R_{\text{ВЧВ}} = \exp\left[-\left(\frac{10\cdot 1,26}{8,25}\right)\right]^{0,702} = 0,260\ (26,0\%). \quad (14)$$

Характер изменения риска различной степени загрязнения поверхностных вод в зависимости от средних значений индекса загрязнения показан на рис. 2.

Расчеты также показывают, что уменьшение изменчивости ИЗВ в два раза (в частности, при постоянном среднем значении, равном 4,0) повышает на 24 % риск умеренного загрязнения и снижает на 6 % (абсол.) риск чрезвычайно высокого загрязнения поверхностных вод.

Ввиду того, что одним из наиболее существенных факторов загрязнения водной среды является поступление тяжелых металлов, например меди, то при снижении только ее содержания в два раза геоэкологический риск чрезвычайно высокого загрязнения понизится с 0,26 до 0,169, т. е. на 6 % абсолютных или на 35 % относительных.

Таким образом, приведенные расчеты показывают работоспособность предлагаемого методологического подхода и конкретных вероятностных аналитических зависимостей, возможность моделирования и прогнозирования геоэкологического риска загрязнения геосфер Земли предприятиями строительного комплекса и ЖКХ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Доклад** о санитарно-эпидемиологической обстановке в Ленинградской области в 2009 году [Текст] / Управление Роспотребнадзора по Ленинградской области. — СПб, 2010. — 255 с.

2.**Уманец, В.Н.** Вероятностный критерий оценки степени загрязнения окружающей среды [Текст] / В.Н. Уманец, Г.Б. Троссихин.— В кн.: Новое в охране руда и окружающей среды.— Алматы: АИЭиС, 1998.— С. 49–51.

3. **Уманец, В.Н.** Методический подход к оценке экологического риска при различной степени загрязнения поверхностных вод [Текст] / В.Н. Уманец, М.Т. Алдерзин, А.В. Когут // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева.— 2006. № 2.— С. 77–93.

4. **Базанов, Г.А.** Применение функции Вейбулла для оценки вероятностей содержаний в рудных месторождениях [Текст] / Г.А. Базанов // Труды Иркутского политехнического ин-та.— 1965. Вып. 23, ч. 2.— С. 72–81.

5. **Пинигин, М.А.** Комплексные гигиенические критерии оценки загрязнения атмосферного воздуха [Текст] / М.А. Пинигин, С.Л. Авалиани, ГА. Рябова.— В кн.: Состояние и перспективы развития гигиены окружающей среды. — М., 1985.— С. 89–91.

6. **РНД 03.3.0.4.01–95** «Методические указания по оценке влияния на окружающую среду размещенных в накопителях производственных отходов, а также складируемых под открытым небом продуктов и материалов» [Текст].

7. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [Текст] / Мин-во охраны окружающей среды и природных ресурсов.— Утв. РК 30.11.92.— 1992.— С. 58.

УДК 624.15:536.3

И.В. Наумов

СРЕДНЕЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА ПОД ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТЬЮ НАГРУЖЕНИЯ ОТ КАСАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Современные численные методы физико-математического моделирования основания под сооружениями имеют существенные недостатки. Отличие полученных с их помощью вертикальных напряжений от строгих решений в отдельных точках достигают до 30 %. По горизонтальным напряжениям неточность более существенная. По этим расчетам под прямоугольной площадкой, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, горизонтальные напряжения — сжимающие, с глубиной они уменьшаются до нуля. Считается, что глубже этой нулевой точки горизонтальных напряжений нет. В действительности горизонтальные напряжения, пройдя через нулевую точку, меняют свое направление и становятся растягивающими, возрастая до определенной глубины в зависимости от формы и размеров площадки нагружения [2]. А далее по мере увеличения расчетной глубины эти напряжения уменьшаются до нулевых значений. Формы и размеры площадки нагружения практически не влияют на напряжения, получаемые при численных методах расчетов.

Наука давно стремилась к идеальному варианту физико-математического моделирования основания под сооружениями в виде бесконечного основания и получению конечных формул. Такие формулы получены в работе [2]. Однако формул для определения среднего перемещения от равномерно распределенной вертикальной и касательной нагрузки по прямоугольной площадке в виде конечного интеграла в этой работе не представлено.

Современные методы физико-математического моделирования очень сложны в использовании и труднодоступны проверке при сбоях в программе. Эти программы моделируют лишь приближенно, причем ограниченный объем основания под сооружениями. Небольшим проектным организациям затруднительно их приобрести, освоить и проверить результаты расчета. Им нужны более простые и доступные формулы, полученные более строгим в теоретическом отношении решением и позволяющие проверить сбой программы простым тестовым расчетом. В предлагаемой статье получена формула для определения среднего горизонтального перемещения прямоугольной площадки нагружения от равномерно распределенной касательной нагрузки, направленной параллельно оси X.

В работе [2] рассматривалась задача по определению перемещений произвольной точки упругого полупространства от нагружения прямоугольной площадки равномерно распределенной касательной нагрузкой, направленной параллельно оси X:

$$\Delta X = \frac{\tau_x (1+\mu)}{2\pi E} \times$$

$$\times \int_{Y_1}^{Y_2}\int_{X_2}^{X_1}\left[\frac{1}{r}+\frac{x^2}{r^3}+(1-2\mu)\left[\frac{1}{r+z}-\frac{x^2}{r(z+r)}\right]\right]dxdy.$$

В результате выполнения интегральных преобразований получена формула в виде конечного интеграла

$$\Delta X = \frac{(1+\mu)\tau_x}{2\pi \mathrm{E}}\left[X_1 \ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_1^2+Y_2^2+Z^2}}{Y_1+\sqrt{X_1^2+Y_1^2+Z^2}}\right)-\right.$$

$$\left. - X_2 \ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_2^2+Y_2^2+Z^2}}{Y_1+\sqrt{X_2^2+Y_1^2+Z^2}}\right)+\right.$$

$$+2\left[Y_2\ln\left(\frac{X_1+\sqrt{X_1^2+Y_2^2+Z^2}}{X_2+\sqrt{X_2^2+Y_2^2+Z^2}}\right)-\right.$$

$$-Y_1\ln\left(\frac{X_1+\sqrt{X_1^2+Y_1^2+Z^2}}{X_2+\sqrt{X_2^2+Y_1^2+Z^2}}\right)-$$

$$-Z\left(\operatorname{arctg}\frac{Y_2X_1}{Z\sqrt{X_1^2+Y_2^2+Z^2}}-\right.$$

$$\left.-\operatorname{arctg}\frac{Y_1X_1}{Z\sqrt{X_1^2+Y_1^2+Z^2}}\right)+$$

$$+Z\left(\operatorname{arctg}\frac{Y_2X_2}{Z\sqrt{X_2^2+Y_2^2+Z^2}}-\right.$$

$$\left.\left.-\operatorname{arctg}\frac{Y_1X_2}{Z\sqrt{X_2^2+Y_1^2+Z^2}}\right)\right]+$$

$$+(1-2\mu)\times\left[X_1\ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_1^2+Y_2^2+Z^2}}{Y_1+\sqrt{X_1^2+Y_1^2+Z^2}}\right)-\right.$$

$$-X_2\ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_2^2+Y_2^2+Z^2}}{Y_1+\sqrt{X_2^2+Y_1^2+Z^2}}\right)+$$

$$+Z\left[\operatorname{arctg}\frac{Y_2Z}{X_1\sqrt{X_1^2+Y_2^2+Z^2}}-\right.$$

$$-\operatorname{arctg}\frac{Y_1Z}{X_1\sqrt{X_1^2+Y_1^2+Z^2}}-$$

$$-\operatorname{arctg}\frac{Y_2Z}{X_2\sqrt{X_2^2+Y_2^2+Z^2}}+$$

$$\left.+\operatorname{arctg}\frac{Y_1Z}{X_2\sqrt{X_2^2+Y_1^2+Z^2}}\right]+$$

$$\left.+Z\left(-\operatorname{arctg}\frac{Y_2}{X_1}+\operatorname{arctg}\frac{Y_1}{X_1}+\operatorname{arctg}\frac{Y_2}{X_2}-\operatorname{arctg}\frac{Y_1}{X_2}\right)\right]\Bigg].$$

При $Z = 0$ представленная выше формула принимает следующий вид:

$$\Delta X=\frac{(1+\mu)\tau_x}{2\pi E}\left[X_1\ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_1^2+Y_2^2}}{Y_1+\sqrt{X_1^2+Y_1^2}}\right)-\right.$$

$$-X_2\ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_2^2+Y_2^2}}{Y_1+\sqrt{X_2^2+Y_1^2}}\right)+$$

$$+2\left[Y_2\ln\left(\frac{X_1+\sqrt{X_1^2+Y_2^2}}{X_2+\sqrt{X_2^2+Y_2^2}}\right)-\right.$$

$$\left.\left.-Y_1\ln\left(\frac{X_1+\sqrt{X_1^2+Y_1^2}}{X_2+\sqrt{X_2^2+Y_1^2}}\right)\right]+\right.$$

$$+(1-2\mu)\times\left[X_1\ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_1^2+Y_2^2}}{Y_1+\sqrt{X_1^2+Y_1^2}}\right)-\right.$$

$$\left.\left.-X_2\ln\left(\frac{Y_2+\sqrt{X_2^2+Y_2^2}}{Y_1+\sqrt{X_2^2+Y_1^2}}\right)\right]\right].$$

Эта формула позволяет рассчитать перемещения в произвольной точке под прямоугольной площадкой. Переменные X_1, X_2, Y_1, Y_2 определяют положение точки относительно сторон площадки, где вычисляются перемещения (см. рис. 1).

Воспользовавшись представленной выше формулой, можно получить среднее горизонтальное перемещение под жестким прямоугольным фундаментом от равномерно распределенной касательной нагрузки τ_x, направленной параллельно оси X:

$$X_{\text{ср}}=\frac{1}{AB}\iint_S\Delta X dxdy.$$

Выразим X_1, X_2, Y_1 и Y_2 через x, y, a и b (см. рис. 1):

$$X_1 = a - x;\ X_2 = -(a + x);\ Y_2 = b - y;$$

$$Y_1 = -(b + y).$$

Введем эти переменные под интеграл:

$$\Delta X_{\text{ср}}=\frac{(1+\mu)\tau_x}{2AB\pi E}\times$$

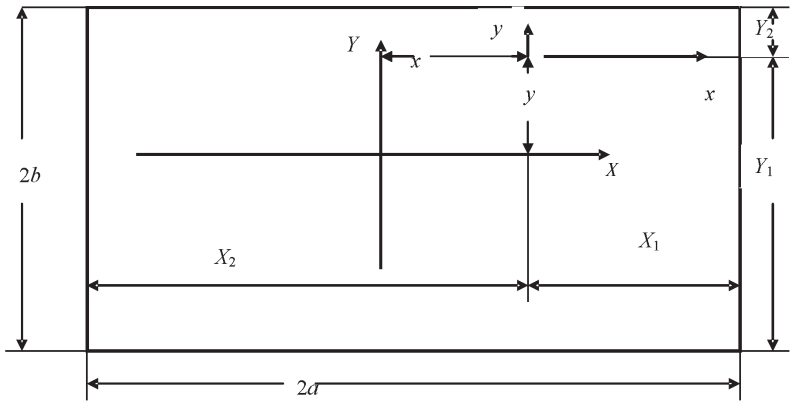


Схема площадки нагружения

$$\times\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left[2(a-x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}\right)+\right.$$

$$+2(a+x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)+$$

$$+2\left[(b+y)\ln\left(\frac{a-x+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(a+x)+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}\right)+\right.$$

$$\left.+(b+y)\ln\left(\frac{a-x+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}{-(a+x)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)\right]+$$

$$+\left[\frac{(1-2\mu)\tau_x}{2\pi E}-\frac{(1+\mu)\tau_x}{2\pi E}\right]\times$$

$$\times\left[(a-x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}\right)+\right.$$

$$\left.+(a+x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)\right]dxdy=$$

$$=\frac{(1+\mu)\tau_x}{AB\pi E}\times$$

$$\times\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left[(a-x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}\right)+\right.$$

$$+(a+x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)$$

$$+(b-y)\ln\left(\frac{a-x+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(a+x)+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}\right)+$$

$$+(b+y)\ln\left(\frac{a-x+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}{-(a+x)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)+$$

$$+\frac{3\mu\tau_x}{2\pi E}\left[(a-x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}\right)+\right.$$

$$\left.\left.+(a+x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)\right]\right]dxdy.$$

Конечные интегралы получены в работе [3]:

$$\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left[(a-x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}\right)\right]dxdy=$$

$$= \frac{16}{3}a^3 - \frac{8}{3}b^3 - 4a^2\sqrt{4a^2+4b^2} + \frac{1}{3}\left(4a^2+4b^2\right)^{3/2} +$$

$$+ 4a^2 b \ln\left(\frac{2b+\sqrt{4a^2+4b^2}}{-2b+\sqrt{4a^2+4b^2}}\right);$$

$$\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}(a+x)\ln\left(\frac{b-y+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}{-(b+y)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)dxdy =$$

$$= \frac{16}{3}a^3 - \frac{8}{3}b^3 + \frac{1}{3}\left(4a^2+4b^2\right)^{3/2} - 4a^2\sqrt{4a^2+4b^2} +$$

$$+ 4a^2 b \ln\left(\frac{2b+\sqrt{4a^2+4b^2}}{-2b+\sqrt{4a^2+4b^2}}\right);$$

$$\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}(b-y)\ln\left(\frac{a-x+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}}{-(a+x)+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}}\right)dxdy =$$

$$-\frac{8}{3}a^3 + \frac{16}{3}b^3 + \frac{1}{3}\left(4a^2+4b^2\right)^{3/2} -$$

$$-4b^2\sqrt{4a^2+4b^2} + 4ab^2\ln\left(\frac{2a+\sqrt{4a^2+4b^2}}{-2a+\sqrt{4a^2+4b^2}}\right);$$

$$\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}(b+y)\ln\left(\frac{a-x+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}}{-(a+x)+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}}\right)dxdy =$$

$$-\frac{8}{3}a^3 + \frac{16}{3}b^3 + \frac{1}{3}\left(4a^2+4b^2\right)^{3/2} -$$

$$-4b^2\sqrt{4a^2+4b^2} + 4ab^2\ln\left(\frac{2a+\sqrt{4a^2+4b^2}}{-2a+\sqrt{4a^2+4b^2}}\right).$$

Просуммировав, получим для площадки нагружения со сторонами $A = 2a$, $B = 2b$.

$$\Delta X_{\text{ср}} = \frac{(1+\mu)\tau_x}{\pi E}\left[A\ln\left(\frac{B+\sqrt{A^2+B^2}}{-B+\sqrt{A^2+B^2}}\right)+\right.$$

$$+ B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{-A+\sqrt{A^2+B^2}}\right)+$$

$$+\frac{2}{3AB}\left[A^3+B^3-\left(\sqrt{A^2+B^2}\right)^3\right]+$$

$$+\frac{3\mu\tau_x}{AB2\pi E}\left[\frac{4}{3}B^3 - \frac{2}{3}A^3 - 2B^2\sqrt{A^2+B^2} + \left(A^2+B^2\right)^{\frac{2}{3}} +\right.$$

$$\left.\left.+B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{-A+\sqrt{A^2+B^2}}\right)\right]\right] =$$

$$= \frac{(1+\mu)\tau_x}{\pi E}\left[A\ln\left(\frac{B+\sqrt{A^2+B^2}}{-B+\sqrt{A^2+B^2}}\right)+\right.$$

$$+B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{-A+\sqrt{A^2+B^2}}\right)+$$

$$+\frac{2}{3AB}\left[A^3+B^3-\left(\sqrt{A^2+B^2}\right)^3\right]+$$

$$+\frac{\mu\tau_x}{AB\pi E}\left[2B^3 - A^3 - 3B^2\sqrt{A^2+B^2} + \left(A^2+B^2\right)^{\frac{2}{3}} +\right.$$

$$\left.\left.+\frac{3}{2}B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{-A+\sqrt{A^2+B^2}}\right)\right]\right] =$$

$$= \frac{(1+\mu)\tau_x}{\pi E}\left[A\ln\left(\frac{B+\sqrt{A^2+B^2}}{-B+\sqrt{A^2+B^2}}\right)+\right.$$

$$+B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{-A+\sqrt{A^2+B^2}}\right)+$$

$$+\frac{2}{3AB}\left[A^3+B^3-\left(\sqrt{A^2+B^2}\right)^3\right]+$$

$$+\frac{2\mu\tau_x}{\pi E}\left[\frac{\sqrt{A^2+B^2}\left(2B^2-A^2\right)-\left(2B^3-A^3\right)}{3AB}+\right.$$

$$\left.\left.+B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{-A+\sqrt{A^2+B^2}}\right)\right]\right].$$

Полученная формула для средних горизонтальных перемещений после незначительных преобразований, представленных в [3], приводится к виду

$$\Delta X_{\text{ср}} = \left(1-\mu^2\right)\frac{2\tau_x}{\pi E}\left[A\ln\frac{B+\sqrt{B^2+A^2}}{A} + \right.$$

$$\left. + B\ln\frac{A+\sqrt{B^2+A^2}}{B} - \frac{\left(A^2+B^2\right)^{3/2}-\left(A^3+B^3\right)}{3AB}\right] +$$

$$+\mu\left[B\ln\left(\frac{A+\sqrt{A^2+B^2}}{B}\right) - \right.$$

$$\left. - \frac{\sqrt{A^2+B^2}\left(2B^2-A^2\right)-\left(2B^3-A^3\right)}{3AB}\right]$$

Формула среднего перемещения под площадкой, нагруженной равномерно распределенной касательной нагрузкой, которая направлена параллельно оси *X*, совпадает с решением, полученным Ф. Фогтом [1]. Совпадение средних горизонтальных перемещений позволяет сделать вывод о правильности формулы для определения перемещений в произвольной точке под прямоугольной площадкой нагружения.

В статье показано, как в расчетных формулах перемещений и напряжений под прямоугольной площадкой, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, можно перейти от подвижных декартовых систем координат к неподвижным координатам. Расчеты, произведенные по формулам, представленным в работе [2], говорят о том, что ограниченный объем моделируемого основания под сооружениями, принимаемый ориентировочно, может привести к существенным ошибкам. Лучше воспользоваться конечными формулами вертикальных и горизонтальных напряжений [2], определить глубину, где напряжения будут близкими к нулю, и назначить по ним объем моделируемого основания. За пределами фундамента сооружений напряжения лучше определять также по указанным формулам по причине того, что численные методы не соответствуют строгому решению объемной задачи теории упругости.

Для правильного проведения фундаментных работ нужно знать, какие напряжения в месте строительства нового объекта возникли от ранее построенных сооружений. Разрушение старых сооружений вызывает ослабление напряжений под оставшимися домами, приводя к неравномерным осадкам под ними, что в свою очередь приводит к многочисленным трещинам в них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фогт, Ф.** О расчете деформации фундаментов [Текст] / Ф. Фогт; ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. / ОППНТИ НТБ, Перевод № 911.— 1973.

2. **Наумов, И.В.** Определение напряженно-деформированного состояния упругого полупространства от произвольной нагрузки [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Иван Васильевич Наумов.— 2009.— 122 с.

3. **Наумов, И.В.** Средняя осадка упругого полупространства под прямоугольной областью нагружения [Текст] / И.В. Наумов // Научно-тех. ведомости СПбГПУ.— 2009. № 4 (89). Т. 2.— С.163–172.

УДК 681.5

С.О. Барышников, С.А. Куликов

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В СУДОРЕМОНТЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

Промышленные роботы и манипуляторы находят широкое применение на отечественных судостроительных и судоремонтных предприятиях. Они используются для выполнения сложных технологических операций, обеспечения высококачественной тепловой резки металлов, про-

изводства сварочных работ, осуществления сборочных и тяжелых рутинных операций при ремонте и сборке судовых механизмов и машин, реализации технологических процессов в агрессивных средах и др.

Компьютерное управление промышленными роботами и манипуляторами связано с реализацией траекторных процессов и изменением пространственно-временных координат, в которых осуществляется перемещение их рабочих органов, в том числе при выполнении операций по смене технологической оснастки и устройств захвата [1]. Операторы, осуществляющие управление робототехническим комплексом, для достижения высокой точности выполнения технологических операций должны производить калибровку для обеспечения соответствия координат точки (x, y) робота на рабочей плоскости координатам (p, q) компьютерной системы [2]. При выборе очередной рабочей области в базисе (x, y) требуется "перенастраивать" координаты и приводить их в соответствие с координатами в базисе (p, q). Назначение новых координат необходимо производить в случаях, когда требуется прецизионное управление приводами звеньев робота, а также при появлении ошибок вследствие изменения нагрузок и увеличения зазоров в сопрягающихся деталях исполнительных механизмов.

Для задания осей координат в базисе рабочего пространства робота выберем три точки (x_0, y_0), (x_1, y_1) и (x_2, y_2) таким образом, чтобы каждая пара точек (x_0, y_0), (x_1, y_1) и (x_0, y_0), (x_2, y_2) образовывала прямоугольную систему координат, в которой должны располагаться все точки траектории движения робота. Поскольку каждой точке (x, y) траектории движения робота должна соответствовать точка (p, q) компьютерного управляющего комплекса, обеспечивающего управление приводами звеньев и вывод траекторного процесса на дисплей, то задаваемые координатные оси должны быть представлены своим (p, q)-эквивалентом. В компьютерном базисе можно задать оси прямоугольных координат с высокой точностью так, что точкам в базисе робота будут соответствовать [2]:

$(x_0, y_0) \leftrightarrow (0,0)$ — начало координат;

$(x_1, y_1) \leftrightarrow (l_1, 0)$ — расстояние от начала координат по оси x;

$(x_2, y_2) \leftrightarrow (0, l_2)$ — расстояние от начала координат по оси y.

Для однородных координат в различных базисах по трем приведенным выше парам точек может быть установлена матрица преобразования $\mathbf{K}$, обеспечивающая линейную связь для множеств (x, y) и (p, q) с помощью соотношения

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} p \\ q \\ 1 \end{bmatrix},$$

где

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Элементы матрицы $\mathbf{K}$ определяются в результате решения уравнений

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \qquad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \qquad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ l_2 \\ 1 \end{bmatrix}. \qquad (4)$$

Нетрудно видеть, что условия (2), (3) и (4) выполняются однозначно, если

$$K_{13} = x_0, \quad K_{23} = y_0, \quad K_{33} = 1;$$

$$K_{21} = (y_1 - K_{13})/l_1 = (x_1 - x_0)/l_1;$$

$$K_{31} = (1 - K_{33})/l_1 = 0;$$

$$K_{12} = (x_2 - K_{13})/l_2 = (x_2 - x_0)/l_2;$$

$$K_{22} = (y_2 - K_{23})/l_2 = (y_2 - y_0)/l_2;$$

$$K_{32} = (1 - K_{33})/l_2 = 0.$$

Матрица преобразования $\mathbf{K}$ имеет вид

$$K = \begin{bmatrix} (x_1 - x_0)/l_1 & (x_2 - x_0)/l_2 & x_0 \\ (y_1 - y_0)/l_1 & (y_2 - y_0)/l_2 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

Заметим, что (5) является матрицей полного ранга, поэтому возможно вычисление (p, q) по измеренным (x, y) и наоборот. Согласно (1) получим

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{K}^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}. \qquad (6)$$

Однако в "жесткой" системе уравнений при наличии погрешностей в процессе измерений (x_i, y_i) полностью сохраняется эта погрешность в матрице **K**. Она без коррекции будет линейно преобразовываться согласно (6). Вместе с тем при наличии дополнительных измерений в точках (x, y) и определении эквивалентных координат в базисе (p, q) можно получить переопределенную систему уравнений для оценки элементов матрицы **K** и таким образом минимизировать вектор ошибки.

Рассмотрим процедуру оценки. Предположим, что элементы матрицы **K** необходимо получить по m парам измерений координат в базисах управляющего компьютера (p, q) и робота (x, y). Введем матрицы размерности $3\times m$:

$$\mathbf{PQ} = \begin{bmatrix} p(1) & p(2) & \dots & p(m) \\ q(1) & q(2) & \dots & q(m) \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{XY} = y \begin{bmatrix} x(1) & x(2) & \dots & x(m) \\ q(1) & y(2) & \dots & y(m) \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}; \qquad (7)$$

Тогда оценка элементов **K**, обеспечивающая минимизацию среднеквадратической ошибки измерений, может быть произведена с помощью соотношения

$$\mathbf{K}' = \left(\mathbf{PQ} \cdot \mathbf{PQ}'\right)^{-1} \cdot \mathbf{PQ}' \cdot \mathbf{XY}' \qquad (8)$$

По оценке матрицы преобразования координат (8) нетрудно получить "модельные" координаты точек в базисе (x, y):

$$\mathbf{XY}_m = \mathbf{K} \cdot \mathbf{PQ}, \qquad (9)$$

а затем по уравнению (9) найти $3\times m$-мерную матрицу остатков в терминах МНК

$$R = \mathbf{XY} - \mathbf{XY}_m. \qquad (10)$$

Заметим, что элементы третьей строки матрицы R равны нулю. Квадратические меры ошибки обладают важным свойством облегчать последующий математический анализ и имеют практическое преимущество, поскольку приписывают большим ошибкам больший вес, чем малым. Однако в целом ряде случаев требуются другие формы амплитудного взвешивания [3].

Обобщенная задача аппроксимации по критерию минимума среднего абсолютного значения остатков может быть сформулирована следующим образом. По заданным измерениям $(\mathbf{XY})_i$, $i = 1, \dots, m$, требуется оценить элементы матрицы $\mathbf{K}_{abs}$ размерности 3×3, при которых обеспечивается минимум значения res*22*, определяемого согласно выражению

$$\text{res}22 = \text{sum}(\text{sum}(\text{abs}(\mathbf{Z} - \mathbf{K}_{abs} \cdot \mathbf{PQ}1))). \qquad (11)$$

Входящие в формулу (11) матрицы **Z** и **PQ**1 формируются следующим образом. Сначала определяются суммы абсолютных значений столбцов матрицы **R** по уравнению

$$\text{res}1 = \text{sum}(\text{abs}(\mathbf{XY} - \mathbf{K} \cdot \mathbf{PQ})). \qquad (12)$$

Затем с помощью функции sort среды MatLAB производится сортировка $1 \times m$-мерного вектора res1 в порядке возрастания абсолютных значений разностей. В результате согласно синтаксису функция

$$[D, I] = \text{sort}(\text{res}1) \qquad (13)$$

возвращает вектор D упорядоченных элементов и массив индексов I, позволяющих восстановить структуру исходного вектора. Для формирования матриц **Z** и **PQ**1 используются соответственно исходные значения **XY** и **PQ**, сортировка которых выполняется в соответствующем базисе согласно полученному вектору I.

Заметим, что среднеквадратическая оценка по (8) отвечает определению среднего квадрата множества измерений, в то время как оценка по критерию (11) соответствует нахождению среднего амплитудного значения множества измерений. Использование среднего амплитудного значения в процедуре оценки состоит в определении 3×3-матрицы нулевых остатков (число переменных состояния) и $3\times(m-3)$ ненулевых остатков (m — число измерений). При этом предполагается, что каждое измерение может подвергаться воздействию шума Гаусса. Использование весовых факторов изменяет дисперсию шума измерений, так что в целом система измерений может рассматриваться как имеющая шумовую со-

ставляющую, представляемую распределением Гаусса со смешанной дисперсией. Для распределений Гаусса со смешанными дисперсиями, а также для негауссовских распределений средняя амплитудная оценка дает хорошие практические результаты. Это утверждение основывается на целом ряде работ, где проблема минимизации линейного критерия качества решалась с помощью симплекс-метода, являющегося основным методом поиска оптимума в линейном программировании [1, 3]. Предлагаемый алгоритм не содержит итеративных процедур и основывается на обнулении числа остатков, равных рангу матрицы **XY** и имеющих минимальные значения. При этом оптимальная гиперплоскость проходит через 3×3 точек измеряемого множества.

Для реализации алгоритма сначала выполним "вырезки" из матриц **Z** и **PQ**1:

$$\mathbf{Z}1 = Z(1{:}r,1{:}r), \quad \mathbf{PQ}2 = \mathbf{PQ}1(1{:}r,1{:}r),$$

где $r = 3$.

Затем произведем оценку матрицы преобразования координат по критерию минимума суммы абсолютной ошибки:

$$\mathbf{K}_{abs} = \mathbf{Z}1 \cdot (\mathbf{PQ}2)^{-1} \qquad (14)$$

Модельные значения матрицы измерений в базисе (x, y):

$$\mathbf{XY}_{m1} = \mathbf{K}_{abs} \cdot \mathbf{PQ}1, \qquad (15)$$

а матрица абсолютных ошибок имеет вид

$$\mathbf{R}_{model} = \mathrm{abs}(\mathbf{Z} - \mathbf{XY}_{m1}). \qquad (16)$$

Приведем пример. Оценим элементы $\mathbf{K}_{abs}$ для следующих измерений.

Координаты точек в базисе (p, q), согласно уравнению (7):

$$\mathbf{PO} = \begin{bmatrix} 1{,}0040 & 7{,}7680 & 7{,}7680 & 7{,}7680 & 6{,}3205 & 6{,}4478 & 7{,}1250 \\ 5{,}0989 & 8{,}4231 & 10{,}7594 & 5{,}6625 & 3{,}0702 & 15{,}0030 & 14{,}9540 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix}.$$

Координаты точек в базисе (x, y):

$$\mathbf{XY} = \begin{bmatrix} 185{,}4 & 14{,}3 & 14{,}8 & 50{,}4 & 46{,}6 & 213{,}1 & 32{,}1 \\ 464{,}3 & 377{,}7 & 318{,}2 & 448{,}5 & 514{,}5 & 212{,}2 & 211{,}5 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix}.$$

Используя формулу (8), выполним оценку элементов матрицы преобразования координат в терминах МНК. В результате (в полном формате) будем иметь

$$\mathbf{K}' = 10^2 \times \begin{bmatrix} -0{,}254060345168360 & 0{,}002257749258516 & 2{,}097297688469922 \\ -0{,}002755168762797 & -0{,}254820620742431 & 5{,}945102097274188 \\ 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}0 \end{bmatrix}.$$

Модельные координаты точек в базисе (x, y) согласно (9) имеют значения

$$\mathbf{XY}_m = \begin{bmatrix} 185{,}3733 & 14{,}2774 & 14{,}8049 & 50{,}4294 & 46{,}6099 & 213{,}1171 & 32{,}0880 \\ 464{,}3031 & 377{,}7320 & 318{,}1983 & 448{,}5766 & 514{,}4987 & 212{,}2028 & 211{,}4884 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix},$$

Матрица остатков **R** и вектор res1 вычисляются по уравнениям (10) и (12)

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0{,}0267 & 0{,}0226 & -0{,}0049 & -0{,}0294 & -0{,}0099 & -0{,}0171 & 0{,}0120 \\ -0{,}0031 & -0{,}0320 & 0{,}0017 & 0{,}0234 & 0{,}0013 & -0{,}0028 & 0{,}0116 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix}.$$

res1 = [0,0298 0,0546 0,0066 0,0527 0,0112 0,0199 0,0236].

Сумма абсолютных значений вектора res1, определенных по МНК, равна

$$\mathrm{res11} = 0{,}1985.$$

В результате сортировки, реализованной согласно (13), получены векторы

D = [0,0066 0,0112 0,0199 0,0236 0,0298 0,0527 0,0546];

I = [3 5 6 7 1 4 2].

Матрицы Z и PQ1 получены с помощью функций среды MatLAB:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 14{,}8000 & 46{,}6000 & 213{,}1000 & 32{,}1000 & 185{,}4000 & 50{,}4000 & 14{,}3000 \\ 318{,}2000 & 514{,}5000 & 212{,}2000 & 211{,}5000 & 464{,}3000 & 448{,}5000 & 377{,}7000 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{PQ}1 = \begin{bmatrix} 7{,}7680 & 6{,}4478 & 0{,}0 & 7{,}1250 & 1{,}0040 & 6{,}3205 & 7{,}7680 \\ 10{,}7594 & 3{,}0702 & 15{,}0030 & 14{,}9540 & 5{,}0989 & 5{,}6625 & 8{,}4231 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix}.$$

Нетрудно видеть, что "вырезки" **Z**1 и **PQ**2 для **XY** ранга $r = 3$ представляются следующими квадратными матрицами:

$$\mathbf{Z}1 = \begin{bmatrix} 14{,}8000 & 46{,}6000 & 213{,}1000 \\ 318{,}2000 & 514{,}5000 & 212{,}2000 \\ 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{PQ}2 = \begin{bmatrix} 7{,}7640 & 6{,}4478 & 0{,}0 \\ 10{,}7594 & 3{,}0702 & 15{,}0030 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \end{bmatrix};$$

Оценку элементов матрицы K_{abs}, произведенную по формуле (14), можно записать так:

$$\mathbf{K}_{\text{abs}} = \begin{bmatrix} -25,4043 & 0,2261 & 209,7074 \\ -0,2750 & -25,4821 & 594,5080 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}.$$

Результаты моделирования матрицы измерений по уравнению (15):

$$\mathbf{XY}_{m1} = \begin{bmatrix} 14,8000 & 46,6000 & 213,1000 & 32,0835 & 185,3545 & 50,4201 & 14,2717 \\ 318,2000 & 514,5000 & 212,2000 & 211,4896 & 464,3013 & 448,4777 & 377,7338 \\ 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix}.$$

Матрица абсолютных значений ошибок равна

$$\mathbf{R}_{\text{model}} = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0165 & 0,0455 & 0,0201 & 0,0283 \\ 0,0000 & 0,0 & 0,0000 & 0,0104 & 0,0013 & 0,0223 & 0,0338 \\ 0,0 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0 & 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix};$$

сумма ее столбцов

$$\text{res2} = [0,0000 \;\; 0,0000 \;\; 0,0000 \;\; 0,0270 \;\; 0,0467 \;\; 0,0424 \;\; 0,0621].$$

Наконец, сумма элементов res2, представляющая собой минимум критерия (11), численно равна

$$\text{res22} = 0,1783.$$

Полученное значение меньше оценки res11 = = 0,1985, что свидетельствует об эффективности представленного алгоритма в сравнении с МНК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Королев, В.И.** Оценка параметров, моделирование динамических систем и электрических цепей в среде MatLAB: учеб. пособие [Текст] / В.И. Королев, В.В. Сахаров, О.В. Шергина.— СПб.: Изд-во СПГУВК, 2006.— 272 с.

2. **Schroer, B.J.** Calibration of robot used in high precision operations [Текст] / B.J. Schroer, A. Rezapour // Robotics and Autonomous Systems.— 1988. Vol. 4, № 2.— P. 131–143.

3. **Soliman, S.A.** A new technique for curve fitting based on minimum absolute deviations [Текст] / S.A. Soliman, G.S. Christensen, A. Rouhi // Computational Statistics & Data Analysis.1988.— Vol 6, № 4.— P.341–351.

УДК 539.4.011.1:611.018.4

А.С. Аврунин, Б.Е. Мельников, Л.К. Паршин, Р.М. Тихилов, И.И. Шубняков

О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ЖЕСТКОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ

Костная ткань — биологический композит, являющийся главным компонентом элементов скелета млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, земноводных, рыб. Кости — весьма жесткие и прочные несущие элементы организма, роль которых аналогична конструкционным элементам машин и сооружений. Одновременно с этим кости, будучи элементом живого организма, имеют высокий уровень обменных процессов, обеспечивающих перестройку их локальной архитектуры соответственно изменению вектора преобладающих нагрузок [1].

Один из основных элементов костной ткани — гидроксиапатит (вариант фосфата кальция) [2, 3]. Аналогичная минеральная структура встречается в земной коре. Это типично хрупкий материал, который, как правило, обладает пределом прочности на сжатие, в несколько раз превосходящим предел прочности на растяжение [4–8]. К хрупким материалам можно отнести и костную ткань, ибо она разрушается при невысоких значениях относительной деформации в 0,5–4,5 % [8]. Однако для дальнейшего обсуждения необходимо подчеркнуть, что пределы прочности костных элементов на растяжение (55–146 МПа) и сжатие (106–215 МПа) в среднем имеют один порядок [8], а именно 133 и 205 МПа соответственно [9]. Таким образом, костная ткань существенно отличается от гидроксиапатита по механическим характеристикам прочности.

Другое существенное отличие выявляется при сравнении модулей упругости. У природного гидроксиапатита его значение (40–90, в сред-

нем 65 ГПа) в 3–5 раз превышает модуль упругости костной ткани (10–20, в среднем 15 ГПа) [8].

Вышеизложенное стало основой рассматриваемой в настоящей работе гипотезы о том, что в живой природе формируется механизм, заметно изменяющий механические свойства минерального массива, включенного в композитную костную структуру.

Целью исследований была разработка теоретически обоснованной наноуровневой модели механизма, определяющего жесткость и прочность костной ткани.

Отметим, что структура единого минерального массива костей скелета складывается в процессе синтеза костной ткани. Поэтому необходимо кратко остановиться на биологических аспектах рассматриваемой проблемы.

Биологические основы физико-механической модели

Этапность формирования костной ткани является ее принципиальной особенностью. Первоначально создается органический фибриллярный каркас, состоящий из коллагеновых и неколлагеновых белков. Этот каркас — матрица, которая определяет пространственные взаимоотношения осаждающихся на ней кристаллитов гидроксиапатита [2, 3, 10].

Структурные особенности иерархической организации кости. Коллагеновый каркас представляет собой многоуровневую, иерархически организованную конструкцию. Элементы конструкции на всех уровнях устроены винтообразно. Низший (молекулярный) уровень — это длинная винтообразная молекула. На втором уровне несколько молекул коллагена свиваются в микрофибриллу (аналогично канату) и т. д. Всего рассматриваются семь уровней организации кости [2, 3, 10]. Кристаллиты гидроксиапатита, осаждаясь на коллагеновую матрицу и в последующем объединяясь в единый минеральный монолит, повторяют всю ее винтовую иерархическую организацию [10, 11].

Особенности объединения кристаллитов гидроксиапатита. К важнейшим особенностям минеральных структур относятся следующие:

кристаллиты имеют весьма малые размеры (толщина, ширина и длина в среднем 4×8×14 нм) [2, 3, 12];

кристаллиты разделены тончайшим адсорбированым на них гидратным слоем, содержащим ионы фосфата и кальция [2, 3, 12].

Необходимо подчеркнуть, что по мере минерализации органической матрицы кости кристаллиты объединяются в конгломераты. Внутри конгломерата можно выделить копланарные объединения, в которых кристаллиты соединяются "торец в торец", "бок в бок". Их кристаллические решетки не объединяются [10, 12]. На рис. 1 представлена идеализированная схема минерального конгломерата.

Теперь, основываясь на приведенных выше биологических особенностях структуры костной ткани, перейдем к описанию предлагаемой физико-механической модели этой структуры.

Физико-механическая модель костной ткани

Элементарный модуль модели. Рассмотрим одиночный кристаллит, окруженный только тем гидратным слоем, который адсорбирован поверхностью этого кристаллита. Толщину этой водной пленки принимаем равной t. На рис. 1 этот элементарный объем выделен штриховыми линиями, а затем показан отдельно на рис. 2.

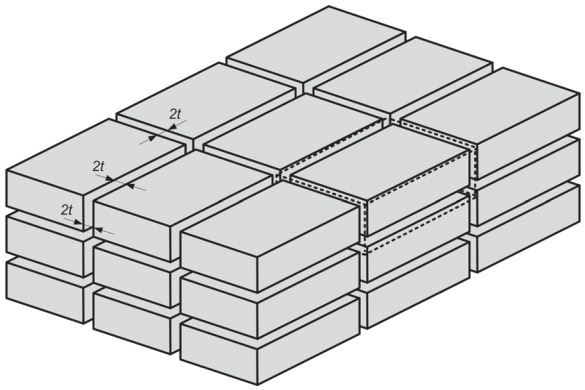


Рис. 1. Фрагмент конгломерата кристаллитов (штриховыми линиями выделен один кристаллит с адсорбированной его поверхностью гидратной пленкой; толщина пленки, разделяющей два соседних кристаллита, — $2t$)

Особенности гидратного слоя. Ионы фосфата и кальция образуют в растворе конфигурацию, которая аналогична пространственному распределению ионов в кристаллической решетке апатита. Толщина этого гидратного слоя ($2t$) составляет в среднем 1,3 нм (порядка 6–10 диаметров молекулы воды) [12]. Этот слой обеспечивает объединение отдельных кристаллитов в единый минеральный массив за счет сил адсорбции, интенсивность которых весьма велика

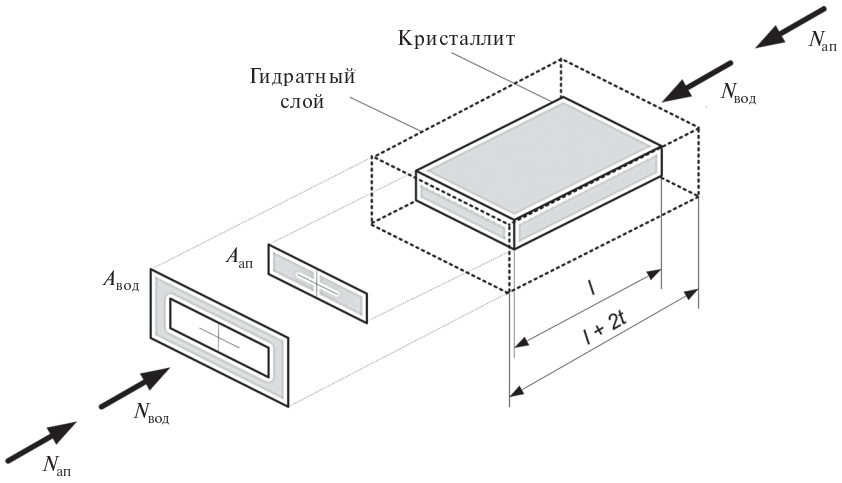


Рис. 2. Элементарный объем костной ткани ($A_{ап}$ — площадь сечения кристаллита; l — длина кристаллита; $N_{ап}$ — сила, действующая на кристаллит; $A_{вод}$ — площадь сечения продольного водного слоя; t — толщина гидратного слоя, относящегося к одному кристаллиту; (l +2t) — длина продольного водного слоя; $N_{вод}$ — сила, действующая на продольный водный слой)

благодаря указанной выше чрезвычайно малой толщине гидратной пленки [13].

Водная пленка в данной модели проявляет себя как структура с некоторыми свойствами твердого тела. Благодаря этому минеральный конгломерат не демонстрирует существенных вязких деформаций при обычных нагрузках. Поэтому выделенный элементарный объем можно рассматривать в качестве основного модуля модели, определяющей основные механические свойства костной ткани.

Сопоставление деформаций модели и эквивалентного объема костной ткани. Рассматриваемая модель представляет собой стержневую конструкцию, включающую два параллельных стержня. Основу первого стержня составляет кристаллит гидроксиапатита длиной l, с площадью сечения $A_{ап}$ и модулем упругости $E_{ап}$. Второй стержень — это своеобразная водная трубка с площадью сечения $A_{вод}$, модулем упругости $E_{вод}$ и длиной (l + 2t). Первый стержень — составной: здесь следует дополнительно учесть работающую последовательно с кристаллитом поперечную водную прослойку, которая имеет длину 2t, площадь $A_{ап}$, модуль упругости $E_{вод}$.

Продольная сила N, сжимающая (или растягивающая) оба стержня модели, может быть представлена в виде суммы сил, действующих на каждый из них:

$$N = N_{ап} + N_{вод}.$$

Приравнивая деформации первого и второго стержней под действием этих сил, находим, что силой $N_{вод}$ можно пренебречь по сравнению с силой $N_{ап}$. Поэтому для упрощения последующих выкладок примем

$$N \approx N_{ап}.$$

Составим выражение для деформации первого (составного) стержня под действием силы N [7]:

$$\Delta l = \frac{Nl}{E_{ап}A_{ап}} + \frac{N2t}{E_{вод}A_{ап}}. \qquad (1)$$

К ней приравняем деформацию эффективного (условно однородного) стержня костной ткани тех же размеров с модулем упругости $E_{к\,т}$ и получим следующее соотношение:

$$\frac{Nl}{E_{ап}A_{ап}} + \frac{N2t}{E_{вод}A_{ап}} = \frac{N(l+2t)}{E_{к\,т}(A_{ап}+A_{вод})}. \qquad (2)$$

Уравнение (2) удовлетворяется при подстановке в него средних значений всех параметров, известных к настоящему времени: l = 14 нм; 2t = 1,3 нм [12]; $E_{кт}$ = 15 ГПа [8, 9]; $E_{ап}$ = 65 ГПа [8]; $E_{вод}$ = 2,3 ГПа [14]. Кроме того, используем средние значения толщины и ширины кристаллита гидроксиапатита: a = 4 нм, b = 8 нм [12]. Таким образом, согласно предлагаемой модели модуль упругости костной ткани $E_{к\,т}$ в 3–5 раз (в среднем в 4 раза) меньше модуля упругости гидроксиапатита $E_{ап}$, именно за счет податливости межкристаллитных водных нанослоев в минеральном монолите.

Использование модели для объяснения влияния эффектов винтовой организации костной ткани на ее жесткость. Как указано выше, все элементы кости от нано- до макроуровня структурированы винтообразно [2, 3, 10]. Благодаря этому обстоятельству оси кристаллитов расположены под некоторым углом φ к направлению продольных усилий N в кости (рис. 3).

В результате в поперечных сечениях нашей модели возникают касательные усилия, характеризуемые касательными напряжениями. Касательные усилия вызывают деформацию сдвига. Угол сдвига γ (рис. 4) связан с касательным напряжением τ известным образом [7]:

$$\gamma = \tau / G, \qquad (3)$$

где G — модуль сдвига.

Модуль сдвига водной пленки $G_{\text{вод}}$ существенно меньше модуля сдвига гидроксиапатита $G_{\text{ап}}$. Поэтому в нашей модели можно пренебречь деформацией сдвига минерального стержня и принять во внимание лишь деформацию сдвига водной пленки. На рис. 4 абсолютная деформация этого элемента модели обозначена символом S, а ее проекция на направление продольного усилия N в кости — через Δ. Значение деформации Δ имеет один порядок с деформацией Δl, вычисляемой по формуле (1). Следовательно, увеличивается деформация модели при одной и той же нагрузке, что означает возрастание податливости костной ткани, то есть уменьшение ее эффективного модуля упругости $E_{\text{к т}}$. Эти соображения не учитываются приведенным выше уравнением деформаций (2). Поэтому требуется составить более сложное уравнение деформаций, соответствующее новой, более совершенной теоретической модели. Но здесь возникает другая проблема: новое уравнение не будет противоречить экспериментальным данным лишь в случае, если в него будет подставлено более высокое значение модуля упругости воды $E_{\text{вод}}$, нежели принятое нами выше значение модуля объемного сжатия свободной воды. В доступной литературе мы не нашли рекомендаций для оценки не только величин $E_{\text{вод}}$ и $G_{\text{вод}}$, но даже для их соотношения применительно к водной пленке толщиной 0,5–1,5 нм.

Моделирование наноуровневого механизма элементарного повреждения кости. Водная пленка имеет низкий предел прочности на сдвиг (срез) по сравнению с пределом прочности на отрыв. Касательное напряжение τ в водной пленке может превзойти предел прочности на сдвиг (срез). В этом случае появляется возможность перемещения одного кристаллита относительно другого по водной прослойке, что можно классифицировать как акт элементарного повреждения костной ткани.

Подчеркнем, что значение касательного напряжения τ не зависит от того, находится элемент в зоне растяжения или сжатия кости. Поэтому критическая для кости ситуация возникает тогда, когда величина τ в любом малом объеме превышает порог прочности. Именно это обстоятельство и определяет практически равную вероятность возникновения элементарных повреждений в растянутой и в сжатой области кости. В результате пределы прочности костной ткани на растяжение и сжатие оказываются мало отличающимися друг от друга. Здесь имеются в виду эксперименты, проводимые на образцах,

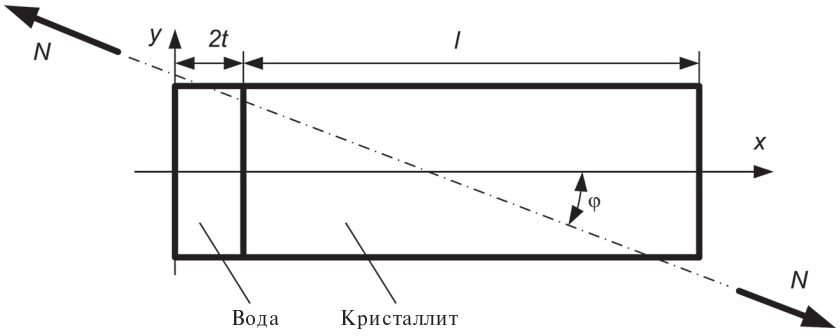


Рис. 3. Несовпадение продольной оси кристаллита с продольным усилием в кости (N — продольное усилие в локальном объеме кости, окружающем отдельный кристаллит; φ — угол несовпадения усилия N с продольной осью x кристаллита)

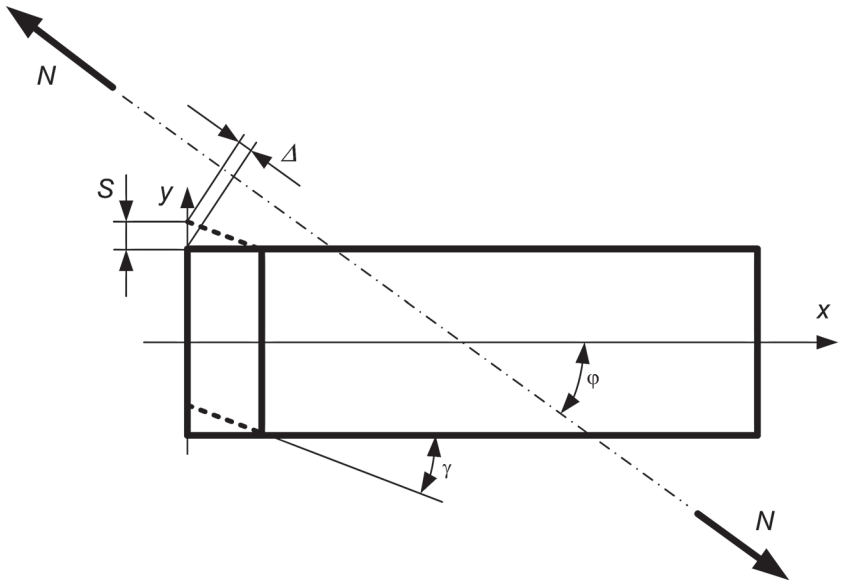


Рис. 4. Проекция абсолютного сдвига водной прослойки на направление продольного усилия в кости (φ — угол сдвига гидратного слоя; S — абсолютный сдвиг гидратного слоя; Δ — проекция абсолютного сдвига S на направление продольного усилия N в локальном объеме кости)

вырезанных из кости [8, 9]. Можно провести аналогию с равенством пределов текучести на растяжение и сжатие у металлов [7].

Моделирование наноуровневого механизма развития старческой хрупкости костей. С течением времени (при старении) в кристаллитах гидроксиапатита, а также в насыщенном растворе гидратного нанослоя происходят замены ионов фосфата на ионы карбоната [12, 15]. Несмотря на близость по химическим свойствам, такие замены оказываются неэквивалентными по силам адсорбции: они уменьшаются. Соответственно снижаются значения модуля сдвига и предела прочности на сдвиг (срез) гидратного слоя. В конечном счете это является одним из основных факторов развития хрупкости костей при старении.

Новая теоретическая модель позволяет утверждать, что гидратный слой обеспечивает:

целостность поликристаллического массива кости;

снижение в 3–5 раз модуля упругости костной ткани по сравнению с модулем упругости гидроксиапатита;

акт элементарного разрушения костной ткани при критической нагрузке;

практическое равенство пределов прочности костной ткани на сжатие и растяжение;

снижение характеристик прочности костной ткани при старении.

Высказанные выше предположения о механических свойствах гидратного слоя требуют экспериментальной проверки. Тем не менее предлагаемая модель не противоречит сведениям о структуре костной ткани и ее механических свойствах, а также основам кристаллографии, физической и коллоидной химии. Необходимость проведения экспериментов вызвана не только возникающими теоретическими проблемами, но также и тем, что данная модель может оказаться полезной при создании новых искусственных материалов для применения в медицине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Frost, H.M.** New targets for the studies of biomechanical, endocrinologic, genetic and pharmaceutical effects on bones: bone's "nephron equivalents", muscle, neuromuscular physiology [Текст] / H.M. Frost // Journal of Musculoskeletal Research. — 2000. Vol. 4. № 2.— P. 67–84.

2. **Аврунин, А.С.** Лекция по остеологии. Многоуровневый характер структуры минерального

матрикса и механизмы его формирования [Текст] / А.С. Аврунин, Р.М. Тихилов, А.Б. Аболин, И.Г. Щербак // Гений ортопедии. — 2005. — № 2. — С. 89–94.

3. **Аврунин, А.С.** Уровни организации минерального матрикса костной ткани и механизмы, определяющие параметры их формирования (аналитический обзор) [Текст] / А.С. Аврунин, Р.М. Тихилов, А.Б. Аболин, И.Г. Щербак // Морфология. — 2005. Т. 127, № 2. — С. 78–82.

4. **Турчанинов, И.А.** Комплексное исследование физических свойств горных пород [Текст] / И.А. Турчанинов, Р.В. Медведев. — Л.: Недра, 1973. — 400 с.

5. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород [Текст] / Под ред. акад. Н.В. Мельникова. — М.: Недра, 1975. — 276 с.

6. **Стрюбель, Г.** Кристаллография [Текст] / Г. Стрюбель, Д.Х. Юыммер. — М.: Недра, 1987. — 276 с.

7. **Писаренко, Г.С.** Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. — Киев: Наукова думка, 1975. — 704 с.

8. **Lawson, A.C.** T.Collagen-calcium-phosphate composites [Текст] / A.C. Lawson, J. Czernuszka // Proc. Inst. Mech. Engrs. — 1998. — Vol. 212, part H. — P. 413–425.

9. **Currey, J.D.** Mechanical properties of vertebrate hard tissues [Текст] / J.D. Currey // Inst. Mech. Engrs. — 1998. — Vol. 212, part H. — P. 399–411.

10. **Денисов-Никольский, Ю.И.** Ультраструктурная организация минерального компонента пластинчатой костной ткани у людей зрелого и старческого возраста [Текст] / Ю.И. Денисов-Никольский, Б.А. Жилкин, А.А. Докторов, И.В Матвейчук // Морфология. — 2002. — Т. 122. Вып. 5. — С. 79–83.

11. **Gamss, B.** Bone sialoprotein [Текст] / B. Gamss, R.H. Kim, J. Sedek // Clin. Rev. Oral. Biol. Med. — 1999. — Vol. 10. № 1. — P. 79–98.

12. **Ньюман, У.** Ньюман М. Минеральный обмен кости [Текст] / У. Ньюман. — М.: Иностранная литература, 1961. — 270 с.

13. Фридрихсберг, Д.С. Курс коллоидной химии [Текст] / Д.С. Фридрихсберг. — СПб.: Химия, 1995. — 400 с.

14. Физические величины: справочник [Текст] / Под ред. И.С. Григорьева и Е.З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.

15. **Докторов, А.А.** Структурная организация минеральной фазы костной ткани [Текст] / А.А. Докторов // Биомедицинские технологии. — 1999. В. 12. — С. 42–52.

УДК 539

О.В. Антонова, А.И. Боровков

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДПЯТНИКОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Гидроэнергетика обеспечивает около 63 % возобновляемой энергии во всем мире, что составляет 19 % всей мировой электроэнергии. Лидерами по выработке энергии на единицу населения сейчас являются Норвегия, Исландия и Канада, а наиболее активное строительство гидроэлектростанций (ГЭС) ведет Китай. В России гидроэнергетическая отрасль также активно развивается. На территории нашей страны работает около ста мощных ГЭС, суммарная мощность которых составляет 45 млн кВт и дает 21 % от общего объема вырабатываемой энергии, что, учитывая богатые природные ресурсы, не слишком много.

Российская гидроэнергетика имеет богатую историю и сложившиеся традиции по проектированию, строительству, монтажу и обслуживанию оборудования ГЭС. Основы развития были заложены еще в советское время, когда был разработан и утвержден план электрификации страны (ГОЭЛРО), содержавший в том числе и установки по развитию гидроэнергетики. Одной из первых мощных советских гидроэлектростанций стала Днепровская ГЭС в Запорожье. К 70-м годам XX века Советский Союз по установленной мощности уступал только американской гидроэнергетике. В те годы строительство велось на многих крупных реках страны, таких, как Днепр, Дон, Волга, Свирь и др. К концу 70-х были построены самые большие ГЭС в мире, действующие до сих пор: Саяно-

Шушенская, Красноярская, Братская, Усть-Илимская, Нурекская и Волжская.

Мощность ГЭС определяется мощностью установленного гидрогенератора (генератора электрического тока, который приводится в действие гидротурбиной). Гидрогенераторы различают по положению оси ротора (вертикальные и горизонтальные), по мощности турбины (малой, средней и большой мощности), по частоте вращения (тихоходные и быстроходные).

При проектировании гидрогенераторов особое внимание уделяют креплению вращающихся частей гидроагрегата и охлаждению обмоток ротора и статора. Различают подвесные и зонтичные гидрогенераторы (по расположению и конструкции опорного подшипника-подпятника). В подвесном гидрогенераторе опорный подшипник расположен выше ротора генератора, на верхней крестовине агрегата. В зонтичном — подпятник располагается под ротором генератора, на нижней крестовине или на крышке турбины. Подпятник передает усилие от массы вращающихся частей гидрогенератора на строительные конструкции агрегатного блока здания ГЭС [1]. Таким образом, подпятник воспринимает большую часть нагрузки, которая складывается из веса вращающихся частей и реакции воды на рабочее колесо турбины, а потому является одним из наиболее значимых узлов гидрогенератора. Очень важно еще на этапе проектирования правильно оценить несущую способность подпятника и описать его гидродинамическое состояние.

Поскольку проведение натурных испытаний не всегда возможно, а финансовые затраты достаточно велики, сейчас наряду с классическими подходами (эксперимент, инженерные методики) все чаще используются современные программные системы вычислительной механики и гидродинамики, которые позволяют существенно сократить временные и денежные затраты на проведение исследований, а также получить необходимые оценки работоспособности конструкции еще на этапе проектирования. Такой подход позволяет сократить затраты в процессе производства и избежать аварийных ситуаций в течение всего срока эксплуатации оборудования.

В статье приведены результаты анализа гидродинамического состояния нереверсивного подпятника гидрогенератора, полученные на основе применения программной системы вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD) — ANSYS/CFX. Также определены углы установки колодки подпятника в потоке жидкой смазки, соответствующие положению равновесия.

Объект исследования

Рассматривается конфигурация подпятника из 8 сегментов. В дальнейшем учитывается циклическая симметрия конструкции. Основные результаты представлены для одного сегмента подпятника. На рис. 1 дана схема расположения сегментов и 3D CAD-модель сборки сегмента и его накладки.

Подпятник состоит из двух основных частей — вращающейся (пята, или диск подпятника) и неподвижной (собственно подпятника). При скольжении вращающейся части по неподвижной работа сил трения полностью превращается в тепло, поэтому для надежной и эффективной работы подпятника необходимо минимизировать силы трения и выделяющееся тепло. Для этого требуется обеспечить между трущимися поверхностями смазку, т. е. жидкостное трение, что

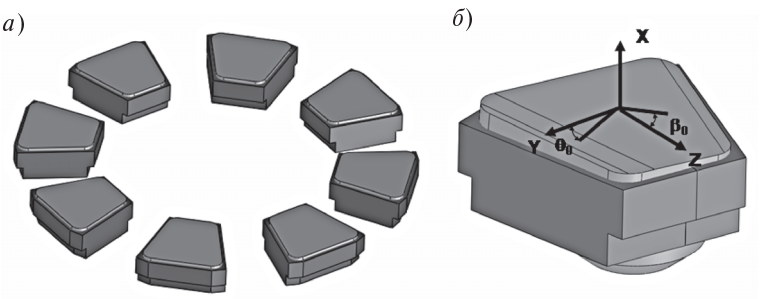


Рис. 1. Схема расположения сегментов (*а*) и 3-D CAD-модель (*б*) сборки сегмента и его накладки

и является основной задачей при проектировании данного узла. Образование масляной пленки и ее сохранение в процессе работы обеспечивается вращением подпятника. Расчет и теория работы таких подпятников на самосмазке изложены в работах [1, 2] и могут быть применены к подпятникам, у которых неподвижная часть состоит из отдельных сегментов, установленных на опорах. Такие опоры позволяют каждому сегменту поворачиваться в потоке жидкой смазки, образуя при этом угол с поверхностью диска подпятника. Для того чтобы обеспечить большую несущую способность конструкции, опору сдвигают относительно оси сегмента в направлении вращения на некоторую величину, называемую эксцентриситетом. Обычно величина эксцентриситета составляет 5–8 % от длины сегмента. Такие подпятники называют подпятниками на жесткой винтовой опоре с самоустанавливающимися сегментами, они применяются на большинстве действующих гидроэлектростанций.

В процессе течения жидкости через обойму колодки сегмент устанавливается под углом к диску подпятника, образуя так называемый масляный клин. Жидкость, протекающая через масляный клин, создает давление на поверхности диска, позволяющее ему не соприкасаться с подпятником при нормальной работе. Минимальное расстояние (минимальная толщина смазочного слоя — $h_{\min} \approx 50 \cdot 10^{-6}$ м) возникает между диском подпятника и выходной кромкой накладки сегмента, причем его величина обычно составляет сотые и тысячные доли миллиметра. Таким образом, масляный клин можно рассматривать как тонкую пленку. Однако использование гидродинамической теории смазки неприменимо для определения величины зазора, задачу следует решать с позиций общей гидродинамики.

Отметим, что при моделировании накладки сегмента детально промоделирована геометрия входной и выходной кромок. Их учет обусловлен необходимостью корректного моделирования процесса образования масляного клина. Геометрические характеристики возникающего масляного клина между сегментом и диском подпятника определяют несущую способность подпятника в целом. Кроме этого на несущую способность влияют углы наклона колодки подпятника в потоке жидкой смазки — тангенциальный и радиальный, величина эксцентриситета и минимальная толщина смазочного слоя. Тангенциальный угол наклона определяет поворот колодки относительно оси Z и обозначается θ. Радиальный угол наклона β определяет поворот колодки относительно оси Y (см. рис.1). В работе предложена методика определения углов наклона колодки в потоке жидкой смазки с контролем условия равновесия. Минимальная толщина смазочного слоя в нулевом приближении задается согласно инженерной методике, а затем изменяется в зависимости от изменения углов наклона. При этом геометрические параметры входной и выходной кромок накладки сегмента, а также эксцентриситет заданы и в процессе моделирования не изменяются. Задана и проектная величина грузоподъемности подпятника, которую необходимо обеспечить.

Определение углов положения колодки подпятника в потоке жидкой смазки

Существует ряд справочников [3, 4], в которых приводятся формулы для определения углов установки сегментов подпятника и минимальной толщины смазочного слоя. Эти процедуры основаны на полуэмпирических зависимостях и содержат ряд коэффициентов, которые необходимо определять в ходе выполнения сложных и дорогостоящих экспериментов.

В нашем исследовании углы установки колодки подпятника и минимальная толщина смазочного слоя определяются по результатам решения серии задач гидродинамики.

Предполагая жесткость подпятника и стальных частей таковой, что в процессе работы конструкция подпятника не испытывает значительных деформаций, пренебрежем формоизменением частей конструкции и рассмотрим работу сегмента подпятника.

В процессе работы на сегмент, расположенный в обойме, действуют следующие силы: сила веса P, возникающая от наличия эксцентриситета, и стремящаяся увеличить угол установки подпятника, и сила F от гидродинамического давления $p = p(x, y, z)$, в общем случае неравномерно распределенного по рабочей поверхности подпятника, стремящаяся уменьшить угол установки сегмента (см. рис 2).

Угол установки сегмента определяется с учетом выполнения условия равновесия моментов, а гидродинамическое давление, распределенное

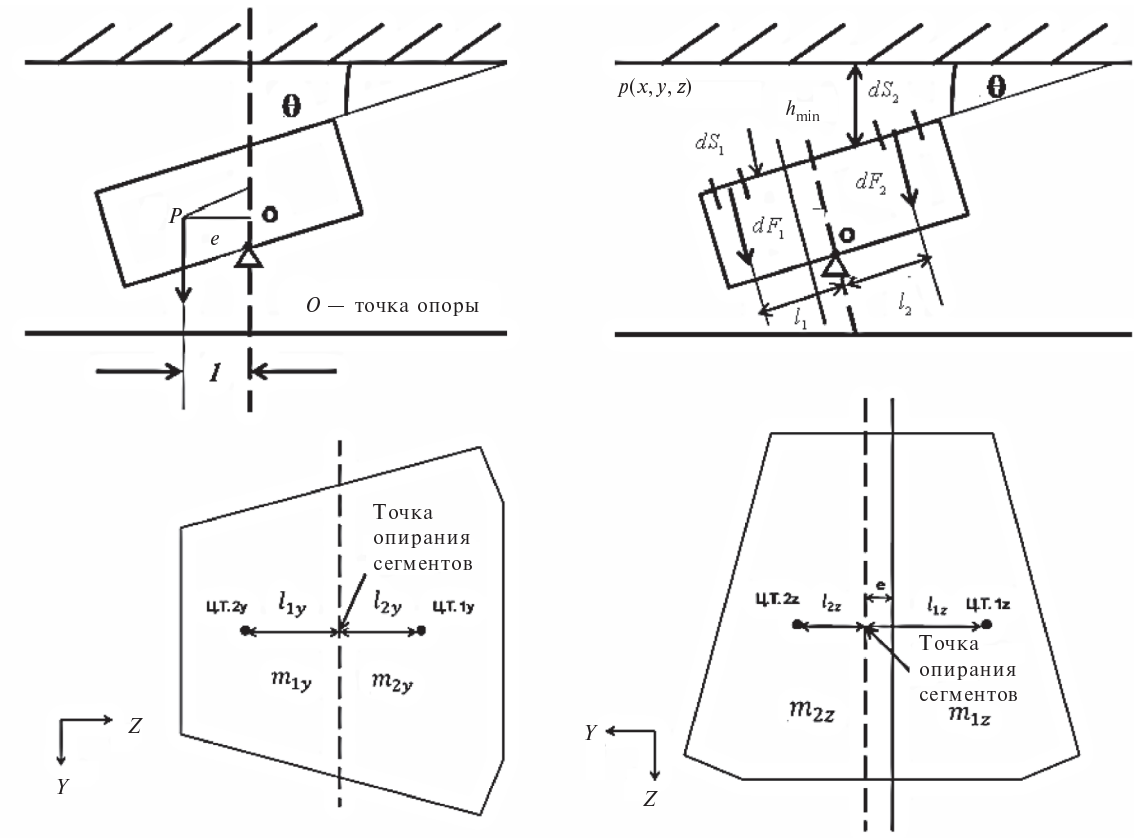


Рис. 2. Схема определения опрокидывающего момента

по поверхности сегмента, в свою очередь также позволяет вычислить несущую способность подпятника при данном расстоянии между выходной кромкой подпятника и поверхностью его диска.

Опрокидывающий момент от собственного веса относительно точки касания О выражается формулой

$$M_{\text{o}}^{\text{вес}} = P\,e\,\cos\alpha. \qquad (1)$$

Опрокидывающий момент относительно точки касания О от действия гидродинамического давления найдется в соответствии с соотношениями

$$dF = p(x,y,z)dS; \quad m_1 = dF_1 l_1; \quad m_2 = dF_2 l_2; \qquad (2)$$

$$M_{\text{o}}^{\text{давл}} = \int_S l_1 dF_1 - \int_{\bar{S}} l_2 dF_2, \qquad (3)$$

где dF — усилие, действующее на площадку dS от давления $p(x,y,z)$; m_1 — момент от усилия, действующего на элемент области S_1; m_2 — момент от усилия, действующего на элемент области S_2.

Уравнение равновесия моментов:

$$M_{\text{o}}^{\text{вес}} + M_{\text{o}}^{\text{давл}} = 0. \qquad (4)$$

Распределение гидродинамического давления является функцией положения подпятника. Таким образом, получается замкнутая система уравнений, зависящая от параметров положения подпятника.

Зафиксировав параметры положения подпятника, мы можем определить усилия, действующие на него, и, пользуясь уравнением равновесия под действием вышеперечисленных внешних сил, проверить, будет ли данная система самоуравновешена. Если система окажется уравновешенной, то можно вычислить несущую способность подпятника и, сравнив ее с проектной, сделать вывод о соответствии параметров положения подпятника реальным данным.

Предлагаемый алгоритм не требует рассмотрения задачи связанного анализа с условиями сопряжения на границе твердого тела и жидкости, он позволяет итерационно определить параметры положения подпятника в потоке жидкости.

Расчет несущей способности подпятника с учетом центробежных сил с помощью программной системы ANSYS/CFX

Расчетные исследования несущей способности подпятника выполнены методом конечных объемов при помощи программной системы CFD-анализа ANSYS/CFX. Для проведения расчетов используются гидродинамические модели рабочей области подпятника, заполненной жидкой смазкой. Так как основным фактором, влияющим на несущую способность подпятника, является геометрия масляного клина, то при моделировании особое внимание уделено корректному описанию геометрии рабочей области в зоне этого клина. При проведении расчетов используется гидродинамическая модель, включающая масляный клин и прилегающую к нему область между рабочей поверхностью колодки и диском подпятника (рис. 3, *а*). При построении геометрической модели учитывается разнотолщинность накладки, расположенной на рабочей поверхности колодки.

Построение конечно-объемных сеток для выбранной расчетной области проводилось в специализированном программном комплексе ANSYS ICEM CFD. В работе применялись только структурированные гексаэдральные сетки. Типовая конечно-объемная модель состоит из 996 006 расчетных ячеек. Характерный размер ячейки в зоне масляного клина (рис. 3, *б*) составляет $h_{\min}/30$, где $h_{\min}$ – минимальная толщина смазочного слоя. В данном исследовании характерный размер ячейки в зоне масляного клина $-1{,}9\cdot10^{-6}$ м.

Поскольку рассматривается 1/8 часть конструкции, на плоскостях симметрии расчетной области ставится условие периодичности — задается равенство давления и компонентов вектора скорости. На поверхности пяты и вала задана постоянная угловая скорость, соответствующая частоте вращения вала 50 1/с. На поверхности колодки и внешнего корпуса заданы условия прилипания (равенство нулю вектора скорости V). На нижней грани расчетной области задано постоянное статическое давление $p = 0$.

Решение 3D задач гидродинамики проводилось в изотермической постановке. Свойства жидкой смазки задавались постоянными и соответствующими температуре 50 °С. В этом случае уравнения Навье—Стокса, описывающие поведение жидкости, выглядят следующим образом [5]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V\cdot\nabla)V = -\frac{1}{\rho}\operatorname{grad}P + \nu\nabla^2 V.$$

Для получения замкнутой системы уравнений необходимо добавить уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho V) = 0,$$

где $\nu = \mu/\rho$ — кинематическая вязкость; ν — динамическая вязкость; ρ — плотность жидкости; V — вектор скорости, P — давление.

Методика расчета гидродинамического состояния опорных подшипников гидрогенераторов

В работе предложен следующий алгоритм:

1. Строим конечно-объемную модель с нулевыми углами поворота. Минимальную толщину смазочного слоя определим с помощью

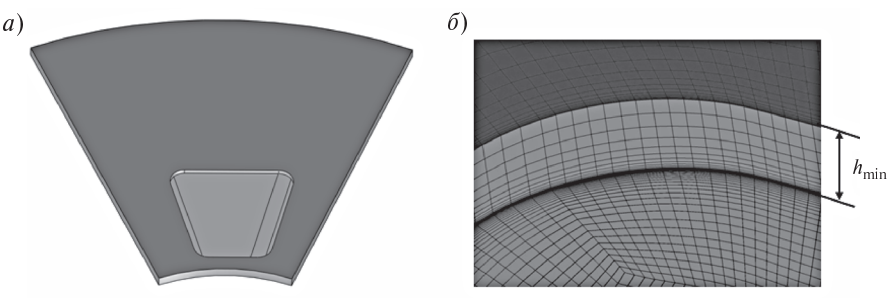


Рис. 3. Расчетная область и фрагмент конечно-объемной модели в зоне масляного клина

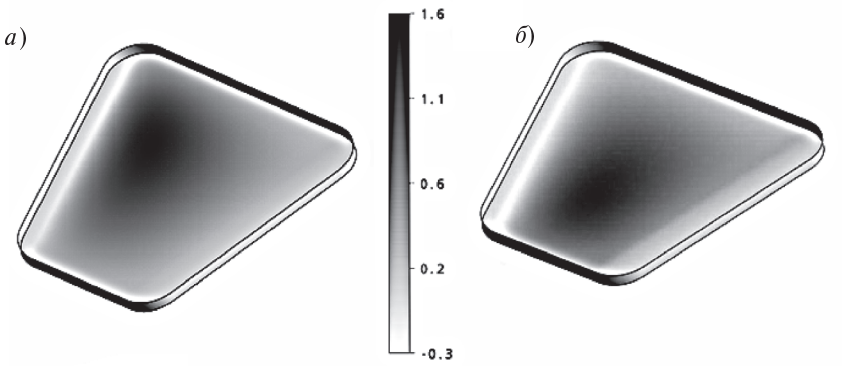


Рис. 4. Распределение давления по поверхности сегмента

инженерной методики [3] (для рассматриваемой конфигурации подпятника $h_{min} = 0{,}58 \cdot 10^{-6}$ м). Это значение и задаем для модели с нулевыми углами поворота колодки. Для моделей с повернутой колодкой минимальная толщина будет меньше и ее значение зависит от угла поворота колодки.

2. Для анализа выполнения условий равновесия определим моменты относительно точки опоры, действующие на колодку в поле сил тяжести.

3. Решим серию 3D задач гидродинамики для различных возможных положений колодки. По результатам гидродинамического расчета каждой задачи определим моменты относительно осей Y и Z, проходящих через точку опоры колодки, и сравним с моментами от силы тяжести. Если условие равновесия не выполняется, решаем следующую задачу. Когда условие равновесия будет выполнено, из полученных пространственных распределений давления по поверхности колодки с учетом циклической симметрии определим осевую силу, соответствующую грузоподъемности подпятника в целом.

На рис. 4 приведено распределение давления по поверхности сегмента (МПа): *а* — при минимальной толщине масляного слоя $h_{min} = 58 \cdot 10^{-6}$ м и углах, которые не удовлетворяют условию равновесия, *б* — при минимальной толщине масляного слоя $h_{min} = 28 \cdot 10^{-6}$ м и углах, удовлетворяющих условию равновесия. Из полученных результатов следует, что точка максимума давления находится в зоне минимальной толщины масляного слоя. При этом в области выходной кромки давление резко снижается, что обусловлено ее геометрией. Смещение пятна давления к внешней границе колодки объясняется действием центробежных сил. Как видно из рис. 4, при выполнении условия равновесия моментов, смещения пятна давления нет.

Построены гидродинамические модели рабочей области подпятника, заполненной жидкой смазкой, включая масляный клин и прилегающую к нему область между рабочей поверхностью колодки и диском подпятника.

Определены моменты относительно точки опоры, действующие на колодку в поле сил тяжести.

Решена серия 3D задач гидродинамики для различных значений минимальной толщины масляного слоя и углов наклона колодки подпятника в потоке жидкой смазки.

Предложен алгоритм и разработана методика анализа гидродинамического стояния подпятников гидрогенератора, при помощи которой определены минимальная толщина смазочного слоя, тангенциальный и радиальный угол наклона, определяющие положение равновесия колодки подпятника в потоке жидкой смазки и обеспечивающие проектное значение грузоподъемности конструкции. В равновесном положении значение составляет $h_{min} = 29 \cdot 10^{-6}$ м. На основании этого можно сделать вывод, что в отличие от инженерной методики, которая не учитывает условие равновесия и дает завышенное значение $h_{min} = 58 \cdot 10^{-6}$ м, численное моделирование позволяет получить более точное значение толщины масляного клина и при этом выполнить условие равновесия моментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров, А.Е.** Подпятники гидроагрегатов [Текст] / А.Е. Александров.— Л.: Энергия, 1975.

2. **Домбровский, В.В.** Проектирование гидрогенераторов. Часть 2: конструкция и механические расчеты [Текст] / В.В. Домбровский, М.Ф. Детинко, А.С. Еремеев [и др.].— Л.: Энергия, 1968

3. **Воскресенский, В.А.** Расчет и проектирование опор скольжения [Текст]: Справочник / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. — М.: Машиностроение, 1980. — 224 с.

4. Machinery handbook [Текст].— Industrial press Inc. New York. 2000. 26th edition. 2640 p.

5. **Лойцянский, Л.Г.** Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г. Лойцянский.— М., 1987. — 840 с.

УДК 621.433:665.725.001.573

А.И. Цаплин, С.В. Бочкарев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДАЧИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДВИГАТЕЛЬ

Сжиженный природный газ (СПГ) — эффективное альтернативное топливо для применения на транспорте [1]. По сравнению с керосином, широко применяемым в авиации, СПГ имеет более высокие показатели по теплотворной способности, полноте сгорания и другим характеристикам. Стоимость СПГ ниже, чем стоимость авиационного керосина, сырьевая база получения практически не ограничена (потенциальная доля России в мировых запасах по природному газу составляет 60 %, в то время как по нефти — 7 %). СПГ — криогенный продукт, получаемый из природного газа с преобладающим содержанием метана путем его очистки и сжижения. Количество метана в природном газе колеблется в зависимости от месторождения от 70 до 99 %.

В авиации, где наблюдается постоянное увеличение расхода топлива, применение СПГ позволяет решать не только экономические, но и экологические проблемы (снижение вредных выбросов в верхних слоях атмосферы и тропосферы).

Метан, основная составляющая СПГ, относится к группе горючих веществ, способных образовывать с воздухом при концентрации в объемных долях от 5 до 15 % взрывоопасные смеси с температурой воспламенения не менее 450 °С [2, 3]. Плотность жидкого метана почти в два раза меньше, чем у керосина. В сочетании с низкой температурой кипения (–161,5 °С в нормальных условиях) это создает определенные проблемы при проектировании элементов двигателя. Из-за неизбежной разности температур между криогенным топливом и окружающей средой происходят процессы теплообмена в баках, трубопроводах самолета, приводящие к образованию газообразной фазы и повышению давления в процессе хранения и транспортирования СПГ по трубопроводам. При неконтролируемом росте давления возможно разрушение элементов трубопровода. Применение современной теплоизоляции трубопроводов не исключает возможность утечки СПГ с образованием взрывоопасной смеси в ограниченном пространстве, а лишь уменьшает скорость нарастания давления при кипении. Возникают проблемы безопасности, которые требуют теоретического и экспериментального разрешения на уровне проектирования, создания инфраструктуры автоматизированного контроля, технологической дисциплины эксплуатации двигателя с криогенным топливом.

Целью настоящей статьи является разработка адекватной математической модели и инженерной методики расчета, позволяющей прогнозировать рост давления в магистрали питания двигателя самолета с криогенным топливом при конкретных условиях теплоизоляции.

Постановка задачи. На рис. 1 представлен фрагмент трубопровода длиной L с внутренним диаметром d и слоем изоляции диаметром D.

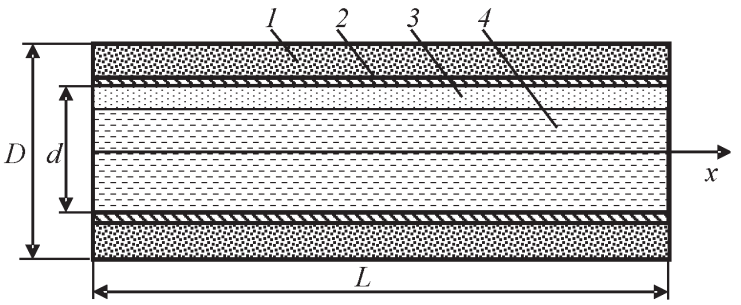


Рис. 1. Расчетная схема трубопровода:
1 — теплоизоляция, *2* — труба, *3* — газовая подушка, *4* — жидкость

Жидкий метан при температуре кипения T_0 течет в направлении оси x с массовым секундным расходом G. Через слой изоляции от окружающей среды с температурой $T_с$ подводится удельный тепловой поток q_l, Вт/м, так что общая мощность подводимой теплоты на всей длине трубопровода составляет $\Phi = q_l L$.

Подвод тепла через стенку трубопровода приводит к образованию в нем газообразной фазы метана массой $m_г$ в соответствии с уравнением теплового баланса

$$\Phi = K_l \left(T_с - T_0\right) L = Q\frac{dm_г}{d\tau}, \qquad (1)$$

где K_l — коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку, Вт/(м·К), учитывающий свойства материалов изоляции и трубопровода, а также режимы течения метана и наружного теплообмена [4, 5]; Q — удельная теплота испарения, Дж/кг; τ — время, с.

Интегрирование уравнения (1) дает при постоянной мощности подводимой теплоты линейный рост массы газообразного метана

$$m_г = \frac{\Phi\tau}{Q}. \qquad (2)$$

Будем считать, что образовавшийся в трубопроводе газообразный метан подчиняется уравнению состояния идеального газа

$$p = \frac{m_г}{\mu}\frac{RT_0}{V}, \qquad (3)$$

где p — давление; R — универсальная газовая постоянная; μ — масса моля метана; $V = \pi d^2 L/4$ — объем трубопровода. Подстановка в (3) уравнения (2) дает линейный рост давления в трубопроводе:

$$p = \frac{RT_0}{\mu V}\frac{\Phi}{Q}\tau. \qquad (4)$$

При заданном массовом секундном расходе G метана время его нахождения в трубопроводе длиной L и диаметром d в предположении незначительной массы газообразного метана по сравнению с массой жидкого метана ($m_ж >> m_г$) составляет

$$\tau = \frac{\rho_ж SL}{G}, \qquad (5)$$

где $S = \pi d^2/4$ — площадь поперечного сечения трубы; $\rho_ж$ — плотность жидкого метана.

Коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку определяется по формуле [4]

$$K_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{нар} D} + \frac{1}{2\lambda_{из}}\ln\frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_{вн} d}}, \qquad (6)$$

где $\alpha_{нар}$, $\alpha_{вн}$ — коэффициенты теплоотдачи соответственно на наружной и внутренней поверхностях трубопровода; $\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции.

При турбулентном режиме течения метана в трубопроводе теплоотдача может быть описана уравнением М.А. Михеева [4]

$$\overline{\mathrm{Nu}}_{пот} = 0,021\,\mathrm{Re}_{пот}^{0,8}\,\mathrm{Pr}_{пот}^{0,43}\left(\mathrm{Pr}_{пот}/\mathrm{Pr}_{ст}\right)^{0,25}, \qquad (7)$$

где $\overline{\mathrm{Nu}} = \alpha_{вн} d/\lambda_ж$ — среднее число Нуссельта; $\mathrm{Re} = ud/\nu_ж$ — число Рейнольдса; $\mathrm{Pr} = \nu_ж/a_ж$ — число Прандтля; $u = 4G/(\rho_ж \pi d2)$ — средняя скорость потока метана; $\nu_ж$, $a_ж = \lambda_ж/(\rho_ж \cdot c_ж)$ — коэффициенты кинематической вязкости и температуропроводности жидкого метана; $\lambda_ж$, $\rho_ж$, $c_ж$ — соответственно коэффициент теплопроводности,

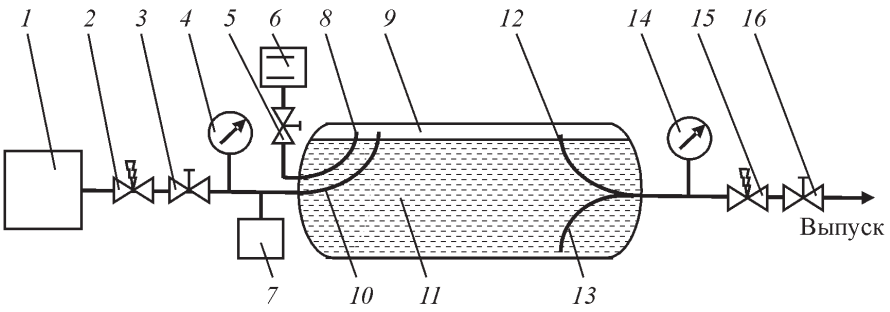


Рис. 2. Схема стенда для проведения эксперимента:
1 — заправочная емкость; *2*, *15* — электропневмоклапаны; *3*, *16* — вентили; *4*, *14* — манометры; *5* — вентиль с ручным управлением; *6* — предохранительная мембрана; *7* — датчик давления; *8* — трубка для дренажа; *9* — криобак; *10* — трубка для заполнения сжиженным газом; *11* — сжиженный газ; *12* — датчик предельного наполнения; *13* — трубка для слива сжиженного газа

плотность и удельная массовая теплоемкость жидкого метана.

Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности трубопровода зависит от режима течения и может быть найден по формуле

$$\alpha_{вн} = \overline{Nu}_{пот}\lambda_{ж}/d. \qquad (8)$$

Полученные соотношения описывают рост давления в закрытом трубопроводе при заданном расходе жидкого метана в зависимости от свойств теплоизоляции и условий внешнего теплообмена.

Описание эксперимента. Проверка адекватности математической модели роста давления в сжиженном газе проводилась на стенде, схема которого представлена на рис. 2.

Датчик предельного заполнения *12* служит для определения окончания момента заправки, соответствующего наполнению криобака. Трубка *8* применяется для отвода (дренажа) из криобака испарившегося газа. Для предотвращения опасного увеличения давления в криобаке применялась технологическая линия, состоящая из датчиков давления *7*, вентиля *5* и мембраны *6*. Трубка *13* использовалась для слива сжиженного газа из криобака. Пневмоэлектроклапаны *2*, *15* установлены для дистанционного управления системой.

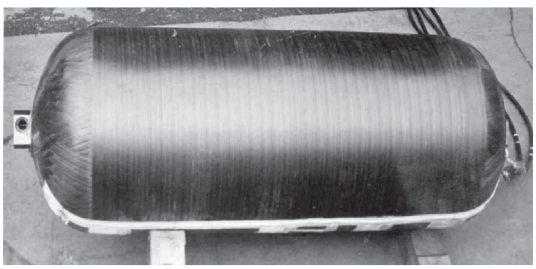


Рис. 3. Внешний вид криобака с наклеенными датчиками

Криобак, внешний вид которого представлен на рис. 3, изготовлен из стали и обмотан органопластиком. В качестве теплоизоляционного материала использовалось муллитокремнеземистое волокно. Во время испытаний при атмосферном внешнем давлении и температуре окружающей среды 20±5 °С бак помещался в алюминиевый кожух.

Методика проведения эксперимента предполагает подготовку системы измерений к испытаниям, проверку установки на герметичность, предварительное охлаждение криобака жидким метаном до равновесного состояния и, наконец, его заполнение. Измерительная информация от датчиков температуры, давления и деформации регистрировалась телеметрической станцией с микропроцессором.

На рис. 4 представлены результаты эксперимента, из которых видно, что теплоприток от окружающего воздуха к теплоизолированному криобаку вызывает повышение давления в нем через 10 часов от первоначального 1 атм. до 18 атм. Расчетный анализ роста давления по формуле (4) при исходных данных, представленных в табл. 1, подтверждает адекватность теоретического прогноза в указанном интервале давлений.

Результаты расчетов. Рассмотрим теплообмен в магистрали питания двигателя самолета, трубопровод которой изолирован пенополиуретаном. При исходных данных, представленных в табл. 2, режим течения СПГ в магистрали турбулентный ($Re_{пот} = 0{,}42 \cdot 10^6$). В соответствии с уравнением (7) число Нуссельта $Nu_{пот} \approx 830$, а коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности трубопровода $\alpha_{вн} \approx 2880$ Вт/(м^2·К) значительно превышает коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубопровода, который оценивается значением $\alpha_{нар} \approx 5$ Вт/(м^2·К). В этих условиях коэффициент теплопередачи (6) $K_l \approx 0{,}084$ Вт/(м·К), а удельный тепловой поток на один погонный метр теплоизолированного трубопровода составляет $\Phi/L \approx 47{,}7$ Вт/м.

В аварийном режиме при остановке подачи питания СПГ в двигатель подводимый тепловой поток для всей магистрали составит $\Phi \approx 1{,}9$ кВт. Расчетное давление в трубопроводе объемом $V = \pi d^2 L/4$, которое в соответствии с уравнением (4) увеличивается по линейному закону, возрастет в этих условиях вдвое уже через 16 мин.

Предложенная математическая модель адекватно описывает рост давления в теплоизолированном трубопроводе с сжиженным природным газом в диапазоне от 1 до 18 атм. и может оказаться полезной при проектировании тепловой изоляции, режимов течения СПГ в конкретных условиях, прогнозировании давления в магистрали в аварийных режимах.

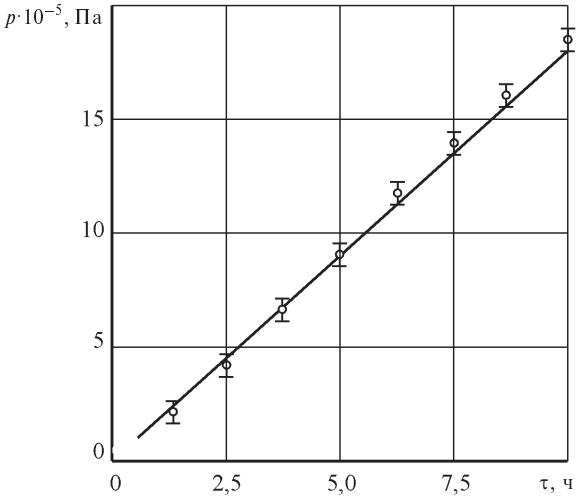


Рис. 4. Рост давления в баке объемом 0,26 м^3 с сжиженным природным газом при подводимом тепловом потоке Ф = 115 Вт (линия — расчет по формуле (4), точки — эксперимент)

Таблица 1

Характеристики сжиженного природного газа в условиях эксперимента

Параметр	Размерность	Численное значение
Объем криобака, V	м^3	0,76
Плотность газообразного метана, $\rho_г$	кг/м^3	82,10
Плотность жидкого метана, $\rho_ж$	кг/м^3	422
Удельная теплота парообразования, Q	кДж/кг	511
Температура кипения, T_0	К	111,7
Подводимый тепловой поток, Ф	Вт	115
Масса моля метана, μ	кг/кмоль	0,016
Универсальная газовая постоянная, R	Дж/(моль·К)	8,314

Таблица 2

Характеристики теплообмена в трубопроводе с сжиженным природным газом

Параметр	Размерность	Численное значение
Внутренний диаметр трубопровода, d	м	0,06
Внешний диаметр трубопровода, D	м	0,11

Окончание табл. 2

Параметр	Размерность	Численное значение
Длина магистрали трубопровода, L	м	40
Массовый секундный расход, G	кг/с	2
Теплоемкость жидкого метана, $c_ж$	кДж/(кг·К)	3,41
Коэффициент теплопроводности жидкого метана, $\lambda_ж$	Вт/(м·К)	0,207
Коэффициент температуропроводности жидкого метана, $a_ж$	$м^2/с$	$0{,}14 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент кинематической вязкости жидкого метана, $\nu_ж$	$м^2/с$	$0{,}24 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент теплопроводности теплоизоляции, $\lambda_{из}$	Вт/(м·К)	0,03
Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубопровода, $\alpha_{нар}$	$Вт/(м^2 \cdot К)$	5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Архаров, А.М.** Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов [Текст] / А.М. Архаров, И.Д. Кунис; под ред. И.В. Бармина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 252 с.

2. **Варгафтик, Н.Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физмат, 1972. — 720 с.

3. **Загорученко, В.А.** Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана [Текст] / В.А. Загорученко, А.М. Журавлев.— М.: Изд-во Госстандарта СССР, 1969. — 236 с.

4. **Исаченко, В.П.** Теплопередача [Текст]: учебник для вузов. Изд. 3 / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел.— М.: Энергия, 1975. — 488 с.

5. **Цаплин, А.И.** Теплофизика в металлургии: учеб. пособие [Текст] / А.И. Цаплин. — Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. — 230 с.

УДК 338.28

Ю.Р. Нурулин,
И.В. Скворцова, Д.Ю. Нурулин

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ В ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Открытость по отношению к инновациям во всем мире рассматривается как важнейший фактор обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны, региона и отдельных компаний. Основателем инновационной теории по праву считается И. Шумпетер, который в известной работе «Теория экономического развития» (1911) обосновал положение о том, что динамика и постоянные колебания служат причиной поступательного развития производства товаров и услуг. Анализируя причины этих колебаний, И. Шумпетер впервые выделил и дал характеристику основных факторов, обеспечивающих развитие производства. Он первым сделал попытку проанализировать причины и возможности возникновения инноваций, показав при этом, что источником отмеченных изменений и конъюнктурных колебаний является динамичный предприниматель, т. е. инноватор. В дальнейшем развитием инновационной теории, изучением сущности инновационной деятельности и ее закономерностей занимались Ла Пьере, П. Витфилд, К. Найт и другие ученые; они давали различные формулировки понятия «инновация». Особое место среди этих формулировок занимает определение, предложенное П. Друкером: инновации — это особый инструмент предпринимателей, средство, с помощью которого они используют изменения как возможность осуществить новый вид бизнеса или услуг.

Следует отметить достаточно большое число работ, посвященных терминологической проблематике инновационной теории, и постоянное увеличение числа исследований в этой области как в России, так и за рубежом. Несмотря на это, существует проблема выработки понятийного и категориального аппарата в инновационной сфере. В ряде работ основная категория инновационной теории рассматривается прежде всего с позиций создания и внедрения конкретных видов техники, технологии, других новых продуктов. При этом в ряде случаев допускается отождествление научных, научно-технических, инновационных и производственных аспектов деятельности, что не всегда верно. Включение в состав инновационной деятельности работ, связанных с получением новых знаний или сбытом произведенного товара, распространяет инновационную деятельность на весь процесс научно-технического прогресса, что размывает значимость этого понятия для целей управления. Необходимо выделять инновационный процесс в общем течении научно-технического прогресса и учитывать его взаимосвязь с научным и производственным процессами. В рамках данного подхода значительно проще и нагляднее исследовать количественные и качественные параметры инноваций, определить экономический и другие виды эффекта от их практического использования, т. е. рассматривать инновационную деятельность как объект управления с присущими ему свойствами [1].

По своей сути инновационная деятельность есть разновидность бизнеса. Она подчиняется своим собственным законам, которые отличаются от законов развития научного процесса. Цели науки и бизнеса, а значит, показатели оценки результатов в науке и бизнесе — различны. Источники и механизмы финансирования науки и бизнеса также различны. Наконец, требования

к квалификации и компетенциям научных сотрудников и бизнесменов опять же различны.

Цель научного процесса — получение научно-технических достижений: теорий, открытий, изобретений, технологий, ноу-хау (know-how), новых технических средств производства, информационных систем и т. п. Эти достижения появляются в результате фундаментальных и прикладных научных исследований и разработок, выполняемых академическими организациями, научно-исследовательскими институтами, вузами, проектными и технологическими бюро и другими организациями.

Наука во всем мире — это стратегический приоритет государства, и для управления наукой используются в основном нерыночные механизмы, тогда как эффективное управление инновационными и производственными процессами возможно только на основе рыночных методов.

Цель производственного процесса — выпуск товаров или услуг, направленных на удовлетворение потребностей общества и пользующихся спросом у потребителя. Именно производственный процесс в конечном итоге определяет то, насколько развито общество и как эффективно оно использует свои ресурсы, в том числе и интеллектуальные, задействованные в научном процессе.

Новые товары появляются в результате развития производственного процесса. Инновационные товары также выпускаются промышленными предприятиями, которые используют достижения науки. Очевидна неразрывная связь рассмотренных выше процессов: нет научно-технических достижений — нечего будет использовать для производства новых товаров и услуг. Вместе с тем научный, инновационный и производственный процессы существенно различаются по целевым функциям, методам и средствам реализации, и их не следует смешивать [2, 3].

Косвенным подтверждением данного положения может служить методология открытых инноваций, получившая распространение в последнее время. Термин «открытые инновации» (Open Innovation) в научный оборот ввел Генри Чесбро (Henry Chesbrough). В своей книге «Открытые инновации. Новый путь создания и использования технологий» (2003) он предложил парадигму инновационного развития, которая предполагает как реализацию собственных разработок компании, так и широчайшее использование внешних идей, технологий и know-how. Таким образом, согласно теории открытых инноваций компания может добиться успехов в инновационном бизнесе, не занимаясь самостоятельными глубокими научными разработками, лишь за счет использования «чужих» знаний.

Следует отметить, что идея использования «чужих» знаний и разработок не является абсолютно новой. Основой знаменитого «технологического чуда» Японии после Второй мировой войны был упор именно на привлечение в страну внешних научных разработок в виде лицензий, технологий и know-how. В наши дни успехи экономики Китая также во многом обеспечены использованием зарубежных разработок, хотя при этом не всегда соблюдаются авторские права. Наконец, еще в 90-х годах прошлого века В.Г. Колосов, который одним из первых российских ученых использовал термин «инновация», в своих работах отмечал «любовь к чужим знаниям» как неотъемлемую черту инноватора.

Основная заслуга Г. Чесборо состоит в системном осмыслении данного подхода, выработке на его основе стратегии и технологий управления наукоемким бизнесом, а также обосновании эффективности открытых инноваций не только по отношению к потребителям, но и к разработчикам новых знаний и технологий.

В зарубежной литературе ведется достаточно много дискуссий на тему открытых инноваций, их применимости для различных условий, приводятся как положительные, так и отрицательные примеры использования этого подхода в бизнесе. Возникает вопрос, насколько эта идеология применима в условиях высшей школы, как к ней надо относиться ученым вузов?

Многие основные положения идеологии открытых инноваций на первый взгляд противоречат устоявшимся принципам развития высшей школы.

Российское образование заслуженно гордится своими учеными, развитие вузовских научных школ — один из стратегических приоритетов. В то же время идеология открытых инноваций опирается на тезис о том, что далеко не все талантливые люди работают в нашей компании, необходимо находить способы взаимодействия с талантливыми людьми как в нашей компании, так и за ее пределами.

Логика развития инновации в пределах ее жизненного цикла предполагает выполнение комплекса исследований от поисковых НИР до

пилотных инновационных проектов, при этом большинство элементов действующей инновационной системы в высшей школе направлены в первую очередь на поддержку авторов идей и открытий, а не на тех, кто профессионально внедряет эти идеи в производство. Между тем открытые инновации предполагают, что в инновационном продукте значительную часть ценностей могут создавать внешние НИОКР, а внутренние разработки необходимы лишь для освоения внешних результатов.

Аналогичные противоречия относятся к вопросам контроля и защиты прав интеллектуальной собственности, научного приоритета исследователей, первенства вывода инновации на рынок и т. д. Эти противоречия свидетельствуют о том, что современная инновационная система высшей школы в основном базируется на принципах закрытых инноваций, будучи следствием механического распространения принципов управления традиционной для высшей школы научной деятельностью на деятельность инновационную. Признание эффективности открытых инноваций как методологии управления инновационной деятельностью неизбежно приведет к необходимости повышения роли инновационного процесса в высшей школе, переводу его на один уровень значимости с образовательным и научным процессами. Это в свою очередь потребует разработки новой стратегии, методов, инструментов и форм развития инновационной деятельности вуза.

С позиций управления инновационной деятельностью особое место среди вузов занимают политехнические университеты, для которых характерна широта спектра научных исследований, покрывающих, как правило, целый ряд приоритетных направлений развития науки и техники Российской Федерации, а также критических технологий. Интеграция в рамках одного вуза научных разработок из различных предметных областей приводит к известному феномену превращения количества в качество, обеспечивая уникальные возможности для инновационной деятельности. Методология открытых инноваций обеспечит политехническому университету дополнительный приток идей и разработок для получения синергетического эффекта.

С другой стороны, при таком подходе качественно иными могут стать и трудности, с которыми приходится сталкиваться при управлении инновационной деятельностью в университете. Следовательно, необходим дополнительный анализ стратегии инновационной деятельности на основе методологии открытых инноваций в рамках политехнического университета.

Известным элементом методологической базы разработки стратегии является SWOT-анализ. Воспользуемся этим инструментом для изучения политехнического вуза как объекта управления с позиций открытых инноваций. Основные этапы SWOT-анализа:

описание внутренних и внешних факторов, оказывающих наибольшее воздействие на поведение объекта анализа, с выявлением сильных и слабых его сторон, а также возможностей и угроз со стороны внешнего окружения;

анализ взаимосвязей выявленных факторов;

разработка (корректировка) системы стратегических целей с учетом особенностей объекта анализа и его окружения.

Совокупность факторов $P = \{p_1, ..., p_n\}$, оказывающих влияние на эффективность E инновационной деятельности политехнического университета, можно разделить на две группы:

инвариантные факторы $P_I = \{p_{I1}, ..., p_{Ik}\}$, обусловленные институциональными особенностями политехнического университета и свойствами национальной инновационной системы;

специфические факторы $P_S = \{p_{s1}, ..., p_{Sl}\}$, обусловленные индивидуальными особенностями конкретного вуза и свойствами региональной инновационной системы, в рамках которой действует этот вуз.

Таким образом, в общем случае $E = F(P_I, P_S)$. Предмет дальнейшего рассмотрения — анализ зависимости $E = f_I(P_I)$, результаты которого приведены в табл. 1–4.

Результатом SWOT-анализа будет система стратегических целей политехнического университета в области управления инновационной деятельностью $Z_I = \{z\}$. Эти цели можно разделить на две основные группы в соответствии с их приоритетностью:

группа целей наивысшего приоритета $Z_H = \{Z_{SO}, Z_{WT}\}$ (реализация возможностей методологии открытых инноваций на основе сильных сторон политехнического университета и использование методологии открытых инноваций для предотвращения основных угроз, обусловленных особенностями (слабыми сторонами) политехнического университета);

Таблица 1

Факторы инновационной деятельности политехнического университета

Внутренние факторы	
Сильные стороны	Слабые стороны
*S*1. Высокая степень соответствия научно-инновационной деятельности вуза федеральным и региональным приоритетам инновационного развития. *S*2. Функциональная полнота научных исследований, генерирующих новые знания, необходимые для комплексных инноваций. *S*3. Функциональная полнота образовательных направлений, обеспечивающая набор компетенций, необходимых для кадрового сопровождения различных этапов жизненного цикла инноваций. *S*4. Лабораторная и научно-технологическая база, включая уникальное оборудование, поддерживающая начальные этапы наукоемких инноваций	*W*1. Невозможность концентрации всех ресурсов на одном, пусть даже очень перспективном, научно-инновационном направлении. *W*2. Дополнительные сложности в принятии управленческих решений, связанных с развитием научно-инновационных направлений из различных предметных областей. *W*3. Существенная зависимость результативности научных исследований и инновационной деятельности от степени соответствия научно-лабораторной базы мировому уровню при высокой стоимости этой базы. *W*4. Низкая подготовленность научных сотрудников вузов к решению задач коммерциализации научных результатов. *W*5. Разобщенность ученых и специалистов, работающих в различных предметных областях. *W*6. Нацеленность существующей системы оценки результативности деятельности ученых вуза на использование собственных научных результатов
Внешние факторы	
Возможности	Угрозы
*O*1. Диверсификация источников финансирования вуза за счет коммерциализации научных результатов, которые соответствуют приоритетам инновационной экономики. *O*2. Высокий спрос на специалистов, обладающих набором компетенций для реализации наукоемких инноваций. *O*3. Высокий коммерческий потенциал комплексных наукоемких инноваций. *O*4. Развитие нормативно-правовой базы инновационной деятельности государственных университетов. *O*5. Интеграционные процессы в экономике, включая развитие международного сотрудничества. *O*6. Стратегия построения инновационной экономики, основанной на знаниях	*T*1. Относительно низкий престиж инженерных специальностей, необходимых для создания инновационной экономики. *T*2. Быстрое моральное старение научно-лабораторной базы, необходимой для инновационной деятельности. *T*3. Проблемы воспроизводства кадрового потенциала вуза и связанное с этим сокращение числа ведущих научных школ. *T*4. Высокая конкуренция со стороны зарубежных университетов и инновационных структур. *T*5. Сокращение объемов централизованного финансирования вузов, особенно в условиях финансового кризиса. *T*6. Снижение возможностей охраны интеллектуальной собственности от конкурентов путем ее утаивания и хранения в секрете

Таблица 2

Взаимосвязь факторов инновационной деятельности политехнического университета

Сильные стороны — Возможности		Сильные стороны — Угрозы	
*S*1	*O*1; *O*6	*S*1	*T*1; *T*5
*S*2	*O*3; *O*5	*S*2	*T*4; *T*5
*S*3	*O*2	*S*3	*T*1; *T*3
*S*4	*O*4; *O*5, *O*6	*S*4	*T*2

Окончание табл. 2

Слабые стороны — Возможности		Угрозы — Слабые стороны	
*W*1	*O*1; *O*5; *O*6	*T*1	W3
*W*2	*O*4	T2	W1; W3
*W*3	*O*1; *O*5	*T*3	*W*4; *W*5
*W*4	*O*2	*T*4	*W*1; *W*3
*W*5	*O*5; *O*6	*T*5	*W*5; *W*3

Таблица 3

Стратегические цели политехнического университета в области инновационной деятельности

Реализация возможностей инновационного развития на основе сильных сторон политехнического университета	Предотвращение основных угроз, обусловленных особенностями политехнического университета
*S*1-*O*1, *O*6. Совершенствование внутренних организационных механизмов участия научно-инновационных подразделений вуза в федеральных и региональных инновационных программах по приоритетным направлениям развития науки и техники, а также критическим технологиям путем реализации бизнес-моделей открытых инноваций. *S*2-*O*3, *O*5. Создание эффективной системы коммерциализации научных результатов в составе сложных наукоемких инноваций с использованием различных научных школ вуза и внешних научных достижений. *S*3-*O*2. Развитие системы многоуровневых связей вуза с реальным сектором экономики на основе взаимодействия с выпускниками вуза и с использованием технологии открытых инноваций. *S*4-*O*4, *O*6. Создание системы дочерних малых инновационных фирм, реализующих высокотехнологичные инновации с использованием научно-лабораторной базы вуза и с широким привлечением внешних разработок	*T*1-*W*3. Развитие механизмов вовлечения студентов в высокотехнологичные научно-инновационные разработки на основе открытых инноваций, в том числе в рамках собственного бизнеса. *T*2-*W*1, *W*3. Развитие открытой системы внутреннего и внешнего сетевого взаимодействия научно-инновационных подразделений вуза, обладающих уникальным оборудованием и технологиями. *T*3-*W*4, *W*5. Создание системы поддержки коммерциализации научных результатов ученых вуза и внешних научных достижений, интегрированной с образовательными процессами вуза. *T*4, *T*6-*W*2, *W*4, *W*5, *W*6. Повышение конкурентоспособности системы управления инновационной деятельностью путем создания специализированных подразделений вуза, ориентированных на коммерциализацию научных результатов на основе методологии открытых инноваций. *T*5-*W*3, *W*4. Создание в вузе благоприятного инновационного климата, включая меры организационно-методической поддержки открытых высокотехнологичных инноваций

Таблица 4

Вспомогательные стратегические цели политехнического университета в области инновационной деятельности

Развитие слабых сторон на основе имеющихся возможностей	Использование сильных сторон для предотвращения имеющихся угроз
*W*1–*O*1. Развитие вузом корпоративной кластерной инновационной политики, учитывающей федеральные и региональные приоритеты. *W*2–*O*2. Развитие системы управления вузом с учетом ФЗ № 217 и других новых нормативно-правовых актов. *W*3–*O*3, *O*6. Развитие научно-лабораторной базы вуза с использованием международных, национальных, отраслевых и региональных механизмов и программ. *W*5–*O*5. Развитие внутренних и внешних механизмов сетевого взаимодействия подразделений вуза	*T*1-*S*4. Развитие внутренних и внешних механизмов коллективного использования уникального оборудования. *T*2-*S*1. Повышение эффективности участия вуза в национальных проектах. *T*3-*S*2. Развитие системы выявления и поддержки научных школ ученых вуза. *T*5-*S*1. Повышение эффективности участия вуза в региональных инновационных программах

группа вспомогательных целей $Z_V = \{Z_{WO}, Z_{ST}\}$ (развитие слабых сторон на основе имеющихся возможностей и использование сильных сторон для предотвращения имеющихся угроз).

Для выделения этих групп проведен анализ корреляции факторов, принадлежащих различным ячейкам табл. 1 Его результаты — в табл. 2.

На основе табл. 2 сформирована группа стратегических целей и задач наивысшего приоритета Z_H (табл. 3).

Аналогичным образом формируется группа вспомогательных стратегических целей вуза Z_V (табл. 4).

Аналогично анализируется зависимость $E = f_2(P_S)$, учитывающая особенности конкретного вуза. Сформированная таким образом система стратегических целей должна лечь в основу построения корпоративной инновационной системы политехнического вуза.

Таким образом, приведенные результаты анализа показывают, что открытые инновации могут служить методологической базой для построения эффективной системы управления инновационной деятельностью политехнического университета. Сбалансированное сочетание комплекса собственных научных исследований и привлекаемых научных знаний мирового сообщества позволит максимально полно использовать научно-инновационный потенциал вуза и обеспечит его глобальную конкурентоспособность. Для СПбГПУ как политехнического вуза, получившего статус «Национальный исследовательский университет» и реализующего масштабную программу развития научных исследований, открытые инновации должны стать основой построения корпоративной инновационной системы, ориентированной на коммерциализацию получаемых научных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Нурулин, Ю.Р.** Автоматизированное управление наукоемкими инновационными проектами [Текст] / Ю.Р. Нурулин.— СПб.: Политехника, 1998.— 241 с.

2. **Федоров, М.П.** Развитие инновационной инфраструктуры СПбГПУ [Текст] / М.П. Федоров, А.Я. Башкарев, Ю.Р. Нурулин; ред. В.Г. Колосов, И.Л. Туккель // Инновации в науке, образовании и производстве. Сб. тр. СПбГТУ № 492.— СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004.— С.7–9.

3. **Башкарев, А.Я.** Управление процессами коммерциализации научных результатов вуза / [Текст] / А.Я. Башкарев, Д.Ю. Нурулин, С.А. Пташкин // Известия Волгоградского ГТУ: Межвуз. сб. науч. ст. № 6 (54).— Волгоград: ВолгГТУ. 2009.— С. 83–87.

УДК 338.46

Е.Б. Виноградова, Е.Б. Мудрова

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Несмотря на предпринимаемые в последние годы меры, ситуация с научно-педагогическими кадрами (НПК) в высшей школе нашей страны остается сложной [2, 3]. Так, удалось снизить показатель среднего возраста профессорско-преподавательского состава (ППС) вузов, обеспечив за счет стимулирующих механизмов управления бо́льший приток молодежи в вузы — заметим, активной, но наименее квалифицированной группы НПК. А вот уход из вузов защитившейся молодежи остановить пока не удается. Не разрешена и проблема сокращения абсолютной численности базовых квалификационно-возрастных групп НПК и уменьшения их удельного веса в общей структуре кадров преподавателей.

Авторы статьи поставили цель проанализировать ситуацию с воспроизводством и обеспе-

чением “условно оптимальной” структуры научно-педагогических кадров на примере ведущего политехнического вуза. В статье кратко представлены методика и результаты исследования. Динамика изменения численности НПК (рис. 1) свидетельствует о многолетнем снижении численности сотрудников наиболее продуктивных возрастных групп (30–60 лет).

Исследование проводилось в рамках системно-целевого подхода с помощью методов структуризации целей и организационного моделирования с использованием имитационно-динамической модели [2, 3]. Последовательность этапов исследования и прогнозирования системы управления научно-педагогическими кадрами представлена на рис. 2.

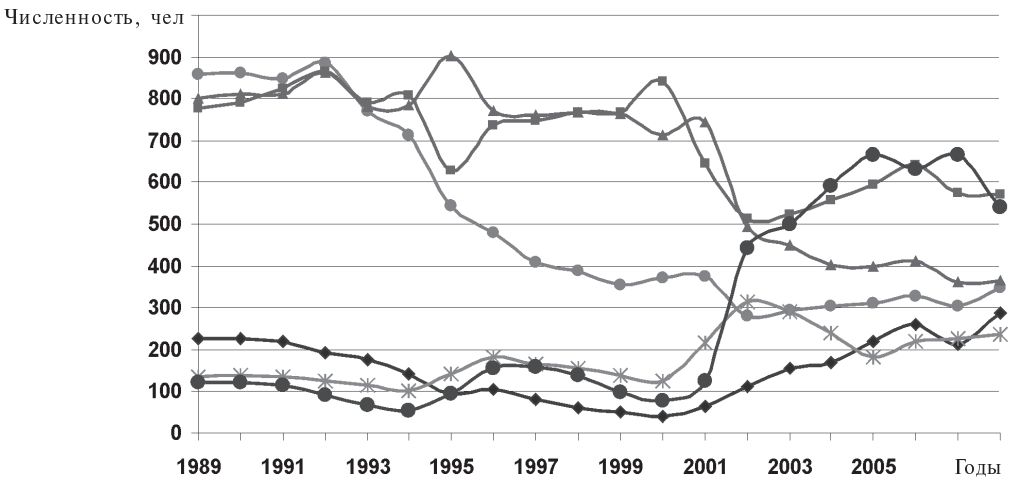


Рис. 1. Численность научно-педагогических кадров ГОУ СПбГПУ:
— до 29 лет; — 30–40 лет; — 41–50 лет;
— 51–60 лет; — 61–65 лет; — старше 65 лет



Рис. 2. Этапы исследования и прогнозирования системы управления научно-педагогическими кадрами

Этап 1 — анализ функций системы управления научно-педагогическими кадрами. В соответствии с установленной для вуза целью развития определяются цели подсистемы управления ее научно-педагогическими кадрами. Система управления должна обеспечить такое состояние НПК, которое позволит реализовывать, как минимум, основные функции: удовлетворение экономической потребности государства в профессионально подготовленных кадрах с высшим образованием (госзадание); обеспечение текущих внутренних потребностей вуза — подготовку НПК в аспирантуре, чтобы компенсировать естественную убыль НПК вуза; совершенствование системы управления НПК — подготовку НПК в аспирантуре таким образом, чтобы дать возможность вузу расширить перечень специальностей высшего профессионального образования; обеспечение социальной потребности общества — возможности получения следующей ступени образовательного уровня с полной компенсацией затрат на обучение.

Этап 2 — анализ факторов, влияющих на систему научно-педагогических кадров (движение, ротацию, формирование); их можно разделить на четыре группы:

факторы государственного значения, обеспечивающие необходимую численность НПК для поддержания научного и педагогического потенциала страны;

факторы социального значения, обеспечивающие достойные условия труда НПК, поддержание соответствующего социального статуса данной профессиональной группы вуза;

внутрисистемные факторы, обеспечивающие возможность профессионального развития НПК (здесь же рассматриваются финансовые возможности вуза);

управленческие факторы, создающие условия формирования внутрикорпоративной политики управления трудовыми ресурсами.

Этап 3 — моделирование воспроизводства и движения научно-педагогических кадров вуза. Задача моделирования параметров обеспечения потребностей крупного ведущего политехнического вуза в научно-педагогических кадрах решалась с помощью имитационного динамического моделирования. Концептуально модель [1] состоит из трех подсистем: аспирантуры, НПК и сформированной на ее основе подсистемы научных руководителей (НР). Подсистемы взаимосвязаны и влияют друг на друга. В составе описания имитационной динамической модели (ИДМ) выделены:

содержательная характеристика имитационно-динамической модели без конкретизации его объекта; структура, фрагменты и взаимодействие элементов модели;

количество подготавливаемых специалистов, процессы движения контингента аспирантов и докторантов по курсам обучения в нормативно определенные сроки, условия пополнения НПК вуза выпускниками собственной аспирантуры и докторантуры, динамика численности профессорско-преподавательского состава, допущения, учитываемые при моделировании движения НПК;

математическое описание модели, состоящее из 33 уравнений.

Особенности построения и возможности модели следующие:

1. Принимаемые управленческие решения в кадровой политике вуза отражаются изменением коэффициентов прихода НПК из внешней среды и ухода в нее. Влияние организационно-экономических механизмов на параметры движения НПК отражается умножением соответствующего коэффициента на коэффициент влияния. При ускорении процесса коэффициент влияния будет больше единицы, если происходит замедление процесса, то — меньше единицы.

2. На работу в вуз в первую очередь принимаются выпускники аспирантуры, которые при прочих равных условиях имеют преимущество перед претендентами из внешней среды.

3. Структура приема на научно-преподавательские должности соответствует сложившейся структуре научно-педагогических кадров вуза.

4. Все научно-педагогические сотрудники, защитившие за шаг моделирования диссертации соответствующего уровня, остаются в вузе, но переходят в другую категорию. Их уход из вуза во внешнюю среду учитывается как увольнение из соответствующей группы научно-педагогических кадров.

5. Уход преподавателей во внешнюю среду определяется исходя из сложившихся для каждой из трех групп тенденций. Количество преподавателей, уволившихся за шаг моделирования (период времени от J до K), рассчитывается как произведение численности преподавателей группы в момент времени J на коэффициент ухода из данной группы.

6. Коэффициент прихода преподавателей из внешней среды и коэффициент ухода определялись на основании данных статистических наблюдений за несколько лет и экспертных оценок.

Модель позволила исследовать динамику изменения численности потенциальных научных руководителей в вузе в зависимости от структуры и численности НПК. В ней учитываются зависимости между параметрами кадровой системы вуза, увязываются показатели структуры и численности НПК вуза с экзогенно вводимыми показателями (общей потребностью в преподавателях и научных работниках, планом приема в аспирантуру и т. д.). ИДМ позволила рассмотреть процессы воспроизводства преподавательских и научных кадров, динамические условия и ограничения, при которых будет функционировать вуз.

Не приводя всех результатов и расчетов исследования, полученных путем моделирования воспроизводства и движения научно-педагогических кадров на примере Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, сформулируем лишь основные выводы.

Проведенный анализ модуля "аспирантура" показал:

в настоящее время количество научных руководителей предельно по отношению к общему количеству аспирантов;

при сохранении общего количества аспирантов падает количество бюджетных и повышается количество коммерческих аспирантов. Коэффициент выпуска коммерческих аспирантов с защитой — менее 1 %, следовательно, коммерческая аспирантура выполняет лишь социальный заказ общества на процесс обучения, но не дает положительный результат достижения соответствующего квалификационного уровня выпускников;

бюджетная аспирантура, если рассматривать ее как экономическую потребность государства, имеет резерв приема аспирантов по численности и по группам специальностей при соответствующем сокращении количества коммерческих аспирантов;

выпуск из аспирантуры обеспечивает первичную потребность в научно-педагогических кадрах в возрастных группах до 29 лет и 30–40 лет. Однако на данный момент тренд кривой "выпуск с защитой" — отрицательный, а тренд кривой "выпуск без защиты" — положительный.

Таким образом, аспирантура сегодня свое предназначение выполняет, но при сохранении существующих тенденций по приему и выпуску из аспирантуры ситуация будет ухудшаться, и уменьшение отсева из аспирантуры (локальное воздействие на число выпускников) только отсрочит эффект на 5–7 лет.

Для изменения прогнозируемой ситуации необходимо внешнее воздействие, направленное на изменение приема в бюджетную аспирантуру для его стабилизации или увеличения. Уменьшение отсева из аспирантуры лишь оттягивает последствия, возникающие при уменьшении числа аспирантов, а увеличение количества бюджетных мест в аспирантуре позволит изменить ситуацию в лучшую сторону.

Анализ результатов моделирования по подсистеме "научно-педагогические кадры без ученой степени" привел к следующим выводам:

общее количество преподавателей и ассистентов уменьшилось, при этом их количество в возрастной группе до 29 лет увеличилось за счет совмещения ставок аспирантами, что может рассматриваться как положительный результат, так как дает начальный педагогический опыт;

количество старших преподавателей без степени выросло, при этом сократилось количество старших преподавателей со степенью.

В целом ситуация может рассматриваться как нормально стабильная. Благодаря грамотной кадровой политике руководителей университета количество преподавателей в возрастных группах до 29 лет и 30–40 лет растет, что при защите диссертации обеспечивает естественный переток в следующую группу — доценты, а также дает перспективу сохранения уровня преподавания в вузе и развития кадрового потенциала.

Анализ ретроспективных данных для моделирования изменений в группе научно-педагогических кадров "доцентов" показал, что в стабильной ситуации предыдущих лет количество доцентов в возрастных группах 41–50 лет и 51–60 лет было примерно одинаково и превышало в два с половиной раза количество доцентов в возрастной группе 30–40 лет. Основанием для этого служило то, что группа 51–60 лет пополнялась за счет естественного возрастного перетока из предыдущей группы, а группа 41–50 лет пополнялась как за счет перетока из предыдущей возрастной группы, так и за счет старших преподавателей уже имеющих степень кандидата наук и за счет прихода извне.

В настоящее время ситуация кардинально отличается от стабильного состояния предыду-

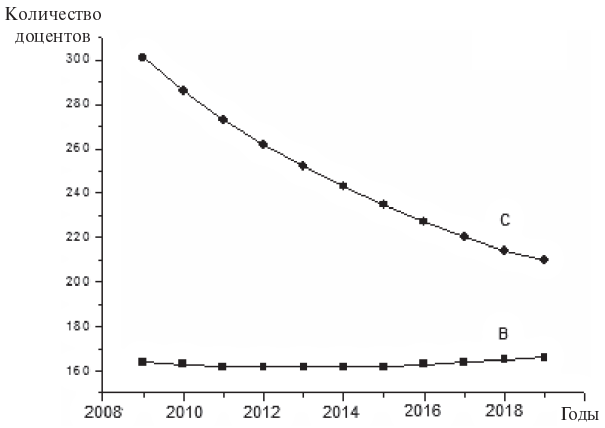


Рис. 3. Прогноз численности доцентов в возрастных группах *B* (41–50 лет) и *C* (51–60 лет) при сохранении текущих тенденций:
—■— *B*, —●— *C*

щих лет. Количество доцентов в возрастной группе 41–50 лет резко упало и стало примерно равным по численности группе 30–40 лет. Это означает, что группа 41–50 лет пополняется только за счет возрастного перехода из предыдущей группы. Практически отсутствуют переток старших преподавателей со степенью в данную группу и приток преподавателей извне. При сохранении такой тенденции в скором времени начнет уменьшаться и количество доцентов в следующей возрастной группе, так как динамика численности группы станет отрицательной.

Результаты моделирования изменений в группе научно-педагогических кадров "доцентов"

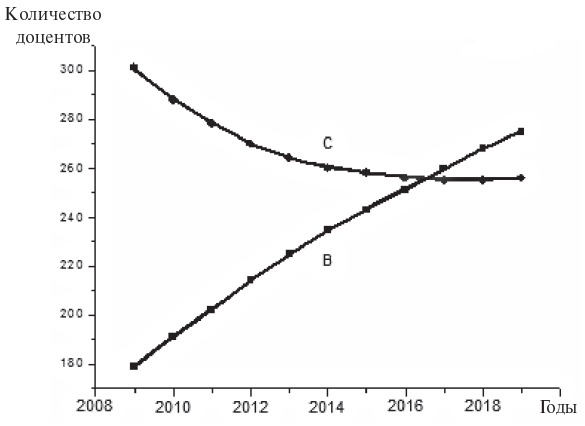


Рис. 4. Прогноз численности доцентов в возрастных группах *B* (41–50 лет) и *C* (51–60 лет) в случае принятия активизирующих управленческих мер
—■— B, —●— C

при сохранении существующих тенденций представлены на рис. 3.

Анализ приведенной модельной численности доцентов говорит о перспективе уменьшения общего количества доцентов, т. е. о снижении общего уровня квалификации НПК, так как в структуре НПК именно данная группа имеет наибольший удельный вес.

Ситуацию можно исправить, если увеличить приток кандидатов наук в возрастную группу 41–50 лет. Это можно сделать, увеличив количество защит старшими преподавателями и привлекая на работу преподавателей данной квалификации и возраста извне. Результаты моделирования состояния данных групп доцентов при двукратном увеличении притока кандидатов наук в возрастную группу 41–50 лет по сравнению с естественным возрастным переходом из предыдущей группы 30–40 лет представлены на рис. 4.

Ситуация в этой группе НПК нестабильная. Увеличение коэффициента привлекательности может стабилизировать ситуацию и улучшить динамику развития группы. Деканы и заведующие кафедрами должны обратить внимание на выявленный аспект, прилагая больше усилий для укрепления данной возрастной группы ППС. Тем более, что проводимая руководителями университета кадровая политика предоставляет такие возможности.

Подсистема научно-педагогических кадров "профессоров". В возрастных группах до 65 лет все нормально по абсолютным показателям численности профессоров и соответствует стандартной ситуации, но относительные показатели численности снизились за счет резкого возрастания количества профессоров в старших возрастных группах

Подсистема "научные руководители". Ситуация нормально стабильная. В перспективе есть небольшой резерв увеличения общей численности аспирантуры (примерно 100 человек).

Результаты моделирования состояния научно-педагогических кадров университета показывают, что продуманная кадровая политика позволяет решить задачи формирования и развития кадрового потенциала вуза. На первом этапе руководителями решена проблема привлечения и закрепления молодых людей в стенах университета. На втором этапе необходимо сосредоточиться на улучшении кадровой ситуации в средней возрастной группе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев, Ю.С.** Экономика и организация управления вузом: учебник [Текст] / Ю.С. Васильев, В.В. Глухов, М.П. Федоров.— СПб.: "Лань", 2004.— 608.

2. **Башкарев, А.Я.** Мониторинг возможностей высшей школы в обеспечении предприятий и организаций научными кадрами по приоритетным направлениям науки и высоким технологиям [Текст] / А.Я. Башкарев, Е.Б. Виноградова, Е.Б. Мудрова [и др.]; СПбГПУ // Отчет по НИР. — 2005. — 145 с. Рег. № 01.2.007 01588, инв.№ 02.2.007 00594. — М.: ВНТИЦ, 2007.

3. **Виноградова, Е.Б.** Научные кадры — важный ресурс инновационного развития России [Текст]: монография / Е.Б. Виноградова.— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.

4. **Садовников, А.** Высшей школе нужна "свежая" кровь [Текст] / А. Садовников // Парламентская газета.— 22.07.2005.

5. **Федько, В.П.** Маркетинговые аспекты методологии формирования системы подготовки научных кадров [Текст] / В.П. Федько, В.А. Бондаренко // Маркетинг в России и за рубежом.— 2005. № 4.

УДК 378.147.88

В.А. Казаков, Р.З. Бареева, М.К. Сайфетдинова

РОЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ СПАСАТЕЛЕЙ

Качество работы любой службы основано на профессионализме и компетентности ее исполнителей, что в свою очередь связано с качеством их профессиональной подготовки в вузе. В профессиональной деятельности спасателей особое место занимает их готовность проявить свою компетентность в условиях высокой опасности для жизнедеятельности человека.

Поскольку современные квалификационные требования к инженерам по специальности "Защита в чрезвычайных ситуациях" содержат указания не столько на необходимость знаний о причинах чрезвычайных ситуаций (ЧС) и технических средствах их разрешения, сколько на последовательность и четкость действий, требующих хорошо развитых способностей к организации спасательных мероприятий (интеллектуально-личностные особенности — аналитические, прогностические, координационные, командноуправленческие и др.), то обнаруживается противоречие между объективной необходимостью обеспечить высокий уровень готовности будущих спасателей к профессиональному саморегулированию как комплексу профессионально значимых качеств и недостаточным вниманием к его достижению в процессе прохождения различного вида практик в вузе. Профессиональное саморегулирование — это целенаправленный процесс, определенный профессиональными и социально-экономическими особенностями определенного этапа развития трудовой деятельности, отражающий уровень готовности личности реализовать усвоенные основы управления собой, направленность на самореализацию личности в конкретном виде труда [1].

Один из актуальных вопросов подготовки спасателей (специальность "Защита в чрезвычайных ситуациях", квалификация инженер) в процессе обучения — организация и проведение практик по профессиональной деятельности и формирование профессионального саморегулирования. Для прохождения практики отводится определенное время и объем работы согласно учебному плану на основе государственного образовательного стандарта, при этом реализуется их кафедральный вариант.

На кафедре должен назначаться ответственный за практику преподаватель, который подбирает студенческий актив для реализации студенческого самоуправления как одного из факторов, формирующих готовность к профессиональному саморегулированию у будущих инженеров по предупреждению чрезвычайных ситуаций. Прохож-

дению практики должна предшествовать четкая работа по ее планированию. Выбор мест прохождения практики нужно согласовывать с представителями подразделений МЧС (Главное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) по региону/области и т. п.) , участие которых непосредственно в педагогическом процессе вуза крайне важно.

Необходимое условие — обеспечение совместного руководства практикой со стороны как кафедры, так и представителей МЧС. Поэтому необходим график руководства практикой со стороны преподавателей и специалистов МЧС. Очень важное мероприятие — проведение конференций по подведению итогов практики после ее завершения. Конференция должна проходить при активном участии всех студентов курса. На заседаниях Ученого совета факультета в течение года выдвигаются предложения и рекомендации по повышению эффективности данного вида обучения, а итоги методической работы необходимо подводить на научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава вуза. Представленная структура планирования обеспечивает четкую организацию ее проведения.

Производственная практика — это форма самостоятельного приобретения студентами профессиональных знаний и умений с помощью преподавателей и специалистов МЧС после аудиторного изучения соответствующего комплекса специальных дисциплин.

Организация практики ведется по трем направлениям. Во-первых, осуществляется естественная и личностно значимая педагогическая коррекция формирования готовности студентов к профессиональному саморегулированию; во-вторых, осуществляется сотрудничество с подразделениями регионального МЧС. В-третьих, преподавателями совместно со студентами, ведется работа, направленная на получение в условиях профессиональной деятельности соответствующих знаний и умений.

Всю организационную работу по проведению производственной практики можно разделить на три этапа: 1) подготовительный; 2) изучение содержания деятельности специалистов МЧС различного профиля; 3) заключительный.

Все направления и этапы взаимосвязаны и требуют проведения большой работы. Студенты, специалисты и преподаватели — вот основные субъекты процесса производственного обучения. Только в тесной взаимосвязи они могут обеспечить формирование готовности студентов к профессиональному саморегулированию.

Подготовка студентов к прохождению практики заключается в распределении их по подразделениям и конкретным рабочим местам, а также в разъяснении программы практики (ознакомление со структурой отчета и формой личной тетради, заполняемой на месте прохождения практики и подписываемой ее руководителем со стороны предприятия). Все студенты распределяются по подразделениям в учебно-тренировочные группы. Большая часть студентов должны работать на штатных должностях, стажерами.

Следует обратить внимание на комплектование профессиональных групп. Необходимо исключить использование студентов в работах, не соответствующих профессиональной деятельности [2].

Перед практикой студентам читаются лекции по охране труда во время прохождения ими производственной практики. Особо обращается внимание на то, что студенты должны знать и какие умения они должны проявить в соответствии с квалификационной характеристикой. На кафедре разработаны подробные квалификационные характеристики. Мы считаем, что специалист МЧС должен знать не только квалификационную характеристику специалиста, но и владеть нормативно-правовыми основами своей профессиональной деятельности. В подготовительный период преподаватели составляют графики консультаций студентов непосредственно в ситуации профессионального действия для продуктивного профессионального сопровождения.

На подготовительном этапе перед прохождением практики и этапе изучения содержания деятельности специалистов МЧС различного профиля необходимо ознакомить студентов с основными законодательными актами, регулирующими права и обязанности спасателей в процессе выполнения профессиональных действий при ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также с конституционными нормами, защищающими честь, достоинство и права граждан РФ.

Нормативно-правовой базой охраны труда спасателей является Конституция РФ, Основы законодательства РФ об охране труда, законодательные и нормативные документы по охране труда спасателей.

Основы законодательства РФ об охране труда приняты Постановлением Верховного Совета РФ от 6 августа 1993 года № 5601-1. Они уста-

навливают гарантии права трудящихся на охрану труда, обеспечивают единый порядок регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками на предприятиях, в учреждениях, организациях всех форм собственности независимо от сферы хозяйственной деятельности или ведомственной подчиненности и направлены на создание условий труда, отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности или в связи с ней.

Учитывая специфику аварийно-спасательных работ, Государственная Дума 14 июля 1995 г. (Постановление № 998-1 ГД) принят Федеральный закон "Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей". Он определяет общие организационно-правовые и экономические основы создания и деятельности аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований на территории РФ, регулирует отношения в этой области между органами государственной власти, местного самоуправления, а также предприятиями, учреждениями, организациями, крестьянскими (фермерскими) хозяйствами, иными юридическими лицами независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, общественными объединениями, должностными лицами и гражданами РФ.

Законом установлены права, обязанности и ответственность спасателей, определены основы государственной политики в области правовой и социальной защиты спасателей, других граждан РФ, принимающих участие в ликвидации последствий ЧС природного и техногенного характера, и членов их семей.

Студенты знакомятся с требованиями к состоянию здоровья, физической и профессиональной подготовки личного состава аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований Министерства обороны РФ, других войск и воинских формирований, а также гарантиями социальной защиты спасателей.

Привлечение аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований Министерства обороны РФ, других войск и воинских формирований к ликвидации последствий ЧС осуществляется в соответствии с законодательством РФ.

Практиканты должны знать, что граждане Российской Федерации приобретают статус спасателей на основании решения соответствующих аттестационных комиссий по результатам медицинского освидетельствования, выполнения нормативов по физической подготовке и обучения по программам подготовки спасителей [3].

В ходе проведения работ по ликвидации последствий ЧС спасатели подчиняются только руководителям аварийно-спасательных служб или формирований, в составе которых проводят указанные работы. Никто не имеет права принуждать спасателя к выполнению задач и работ, не относящихся к обязанностям, возложенным на него трудовым договором (контрактом).

В ходе проведения работ по ликвидации последствий ЧС спасатели имеют право на следующее:

полную и достоверную информацию, необходимую для выполнения ими своих обязанностей;

беспрепятственный проход на территорию и производственные объекты организаций, в жилые помещения для проведения работ по ликвидации последствий ЧС;

требовать от всех лиц, находящихся в зонах ЧС, соблюдения установленных мер безопасности;

экипировку и оснащение в соответствии с технологией проведения аварийно-спасательных работ;

использование для спасения людей и в случае крайней необходимости в порядке, установленном законодательством РФ, средств связи, транспорта, имущества и иных материальных средств организаций, находящихся в зонах ЧС.

Спасатели, принимавшие участие в проведении работ по ликвидации последствий ЧС, имеют право:

на бесплатную медицинскую и психологическую реабилитацию на базе медицинских учреждений и реабилитационных центров в порядке, устанавливаемом Правительством РФ;

на совершенствование своих теоретических знаний и профессионального мастерства в рабочее время в установленном порядке;

на обеспечение питанием при несении дежурства с оплатой расходов за счет средств, выделяемых на содержание аварийно-спасательных служб и формирований.

Спасатели профессиональных аварийно-спасательных служб и формирований, пострадавшие в ходе исполнения обязанностей, возложенных на них трудовым договором (контрактом), а также иные спасатели, пострадавшие в ходе проведения работ по ликвидации последствий ЧС, имеют право на бесплатное медицинское обслуживание и выплаты в размере среднемесячной заработной платы по основному месту работы. Спасатели име-

ют право на льготное пенсионное обеспечение в соответствии с законодательством РФ.

Спасатели обязаны:

быть в готовности к участию в проведении работ по ликвидации последствий ЧС, совершенствовать свою физическую, специальную, медицинскую, психологическую подготовку;

совершенствовать навыки действий в составе аварийно-спасательных формирований;

неукоснительно соблюдать технологию проведения аварийно-спасательных работ;

активно вести поиск пострадавших, принимать меры по их спасению, оказывать им первую медицинскую и другие виды помощи;

неукоснительно выполнять приказы, отдаваемые в ходе проведения работ по ликвидации последствий ЧС руководителями аварийно-спасательных служб и формирований, в составе которых спасатели принимают участие в проведении указанных работ;

разъяснять гражданам правила безопасного поведения в целях недопущения ЧС и порядок действий в случае их возникновения.

Обязанности спасателей профессиональных аварийно-спасательных служб и формирований по безопасной организации труда определяются также нормативными, директивными, инструктивными документами, соответствующими уставами, постановлениями и трудовым договором (контрактом).

Основной деятельности аварийно-спасательных служб и формирований, а также других спасателей являются следующие принципы [4]:

гуманизма и милосердия, предусматривающий приоритетность задач спасения жизни и сохранения здоровья людей, защиты природной среды при возникновении ЧС;

единоначалия руководства;

оправданного риска и обеспечения безопасности при проведении аварийно-спасательных и неотложных работ;

постоянной готовности к оперативному реагированию на ЧС и проведению работ по их ликвидации.

Наряду с законодательными актами охрана труда спасателей осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технических документов. К ним относятся:

стандарты Системы безопасности труда (ССБТ) и стандарты Системы безопасности в чрезвычайных ситуациях (ССБЧС), утвержденные комитетом РФ по стандартизации, метрологии и сертификации;

отраслевые стандарты (ОСТ), утвержденные соответствующими центральными органами федеральной исполнительной власти;

стандарты предприятий (СТП), утвержденные предприятиями;

санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы, утверждаемые Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора РФ;

правила устройства и безопасной эксплуатации, правила безопасности (пожарной, ядерной, радиационной, лазерной, биологической, технической, взрыво- и электробезопасности), утвержденные соответствующими федеральными надзорами РФ;

правила и инструкции по охране труда, утверждаемые соответствующими центральными органами федеральной исполнительной власти (типовые) или предприятием;

организационно-методические документы (положения, методические указания, утвержденные соответствующими центральными органами федеральной исполнительной власти).

Для аварийно-спасательных работ характерно наличие факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы спасателей, поэтому они требуют специальной подготовки, экипировки и оснащения. Особенности статуса спасателей определяются возложенными на них обязанностями в проведении работ по ликвидации последствий ЧС и связанной с этим угрозой их жизни и здоровью. Спасатель должен обладать навыками безопасных приемов выполнения самых различных работ и операций, использования машин, механизмов, приспособлений, средств защиты при работе в условиях воздействия опасных и вредных факторов. Все это и определяет необходимую нормативную базу безопасной организации аварийно-спасательных работ.

Качество прохождения практики в значительной мере зависит от руководителей и специалистов соответствующего подразделения МЧС. Руководители некоторых подразделений МЧС не понимают значения практики и на студентов смотрят как на рабочую силу, которую можно использовать на любых работах. Следует создавать группы в форме основных стажерских подразделений, которые влияют на процесс формирования готовности отдельного студента к профессиональному

саморегулированию. Студенты-практиканты должны быть активными участниками производственного процесса. Студентов надо учить на примере деятельности лучших специалистов.

Особую роль в исследуемом процессе играет распределение студентов по местам практики. Важное значение коллектив преподавателей должен придавать содержанию практики. Сотрудники кафедры должны разработать план-график прохождения практики, определить взаимосвязь между практикой, курсовыми и дипломным проектами и разработать подробное содержание производственной практики. Все эти материалы должны быть представлены в виде планшетов (в форме наглядной агитации и/или в виде технических средств обучения). Студенты ими руководствуются при прохождении практики. Обеспечение содержания практики и его выполнение зависит от руководителя и специалистов МЧС. Все это определяется их заинтересованностью в подготовке качественных специалистов.

В содержании практики необходимо обратить внимание на анализ деятельности технической и командно-управленческой службы МЧС. Необходимо стремится, чтобы студенты поняли основные элементы этих служб (кадры, техника, конкретная ситуация оказания помощи). Только взаимосвязь этих элементов может дать дополнительный результат.

При прохождении практики необходимо акцентировать внимание на изучение кадров, так как основная работа специалистов МЧС различного профиля — это коллективная работа по оказанию помощи населению.

Преподаватели кафедры должны проводить большую работу со студентами и в заключительный период организации практики оформлению и защите отчетов.

С целью правильного использования времени практики необходимо разработать структуру и содержание занятий со студентами, в числе которых должны быть:

лекции — получение знаний по теории деятельности специалистов МЧС;

лабораторные и практические работы — приобретение знаний и умений по использованию технических средств; методов расчета по проведению спасательных мероприятий.

Результат прохождения практики следует подвергнуть анализу на уровне научного исследования.

Качество организации практик (учебная, производственная, преддипломная), между которыми должна быть взаимосвязь, влияет на успех подготовки высококвалифицированных специалистов, готовых к проявлению профессионального саморегулирования. Для эффективного формирования готовности студентов к проявлению профессионального саморегулирования по время прохождения практик необходимо:

добиться положительного отношения специалистов МЧС к студентам-практикантам, а также более полных и объективных характеристик на студентов-практикантов; повысить активность студентов в направлении профессиональной социализации и самовоспитания; наиболее рационально комплектовать группы студентов-практикантов в период практики; внедрять задачный подход к процессу педагогического сопровождения студентов на производственной практике [5]; требовать знания нормативно-правовой базы охраны труда спасателей, основ законодательства РФ об охране труда, законодательные и нормативные документы об охране труда.

Любая практика должна быть целенаправленной по профилю подготавливаемого специалиста.

Анализ имеющихся исследований позволяет сделать вывод о преобладании традиционной дидактической направленности оценивания результатов деятельности студентов на производственной практике. Это дополняется тем, что подразделения МЧС часто не в состоянии обеспечить те требования и условия, которые должны соблюдаться при прохождении практики. Зачастую в этих структурах отсутствует современное оборудование, и поэтому студент не получает полной информации о содержании будущей профессиональной деятельности и опыта. Квалифицированное прохождение производственной практики целиком зависит от возможностей самого подразделения МЧС и его взаимосвязи с процессом профессиональной подготовки студентов в вузе. Система оценки результатов деятельности студентов в процессе производственной практики складывается из оценки использования возможностей как производства, так и студента, а также оценки знаний, полученных при прохождении практики студентом, в том числе и на основе его отчета.

Производственная практика студентов — особый вид подготовки специалиста. Каждый выпускник должен знать, в качестве какого специалиста он может работать. В связи с этим он должен овладеть всеми необходимыми для работы умениями. Прежде всего умениями профессионального саморегулирования.

Результаты проведенной исследовательской работы свидетельствуют: несмотря на наличие кафедральных программ по организации практик, существующая система производственной подготовки специалиста в методическом отношении несовершенна. Во-первых, нет последовательной подготовки специалиста по уровням квалификации. Во-вторых, отсутствует четкая целенаправленная подготовка по профилю специальности. А эта линия должна быть очень отчетливой в каждой практике. Не наблюдается связующего звена между всеми практиками, в том числе и преддипломной. А такое звено должно быть. Должен быть комплексный план производственного обучения студентов, комплексный план производственной подготовки, предусматривающий сквозную непрерывную квалификационную подготовку. Комплексный план может быть представлен в виде отдельного методического пособия, а также отражаться в руководстве по организации самостоятельной работы студентов.

Формирование у студентов профессионального саморегулирования взаимосвязано с личностными основами самопознания и самореализации. Эффективный уровень профессионального управления собой возможен при соотнесении природных основ саморегулирования со всей совокупностью определяющих и корректирующих условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сохранов, В.В.** Формирование у учащейся молодежи опыта саморегуляции поведения [Текст] / В.В. Сохранов, А.П. Шумилин, Н.Н. Коньков. — Пенза; Херсон, 1992. — 120 с.

2. **Коломинский, Я.Л.** Психология взаимоотношений в малых группах (общие и возрастные особенности) [Текст]: учеб. пособие / Я.Л. Коломинский. — Минск: ТетраСистемс, 2000. — 432 с.

3. **Постановление правительства РФ** от 22.11.1997, № 1479 "Об аттестации аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований и спасателей".

4. **ФЗ "Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей"** №151-ФЗ (ред.07.05.2009).

5. **Спирин, Л.Ф.** Анализ учебно-воспитательных ситуаций и решение педагогических задач [Текст] / Л.Ф. Спирин, М.А. Степинский, М.Л. Фрумкин. — Ярославль, 1974. — 121 с.

УДК 947.084.8

А.Н.Кашеваров

О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В СОВРЕМЕННОЙ ПУБЛИЦИСТИКЕ И НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ ЦЕРКОВНОЙ ЖИЗНИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Тема Великой Отечественной войны поистине неисчерпаема как объект научных исследований, в то же время она постоянно подвергается различного рода фальсификациям и нередко связана с попытками переписать историю или же приукрасить ее. С 1990-х годов комплекс основных проблем внешней и внутренней жизни Русской православной церкви (далее — РПЦ) в такое сложное и ответственное время, как Великая Отечественная война, стал предметом специального и интенсивного изучения отечественных историков. Однако результаты этого изучения далеко не всегда находят адекватное отражение в современной публицистике и научно-популярных изданиях, касающихся положения и деятельности РПЦ в 1941–1945 гг. Особо

следует выделить две тенденции, которые требуют критического анализа и осмысления с точки зрения соответствия их исторической действительности.

Первая тенденция при освещении религиозной жизни на оккупированной территории — представлять преимущественно в положительном свете церковную политику немецких оккупантов, прежде всего их военной администрации, действия которой в этом вопросе безоговорочно оцениваются как направленные лишь на религиозное возрождение на захваченной в годы войны территории Советского Союза. Тем самым делаются попытки поставить под сомнение правильность позиции Московской патриархии, руководство которой с первого дня войны призвало народ к защите Родины и тем самым поддержало атеистическое государство. Наиболее полно подобные взгляды нашли отражение в сборнике проповедей и публицистических выступлений петербургского протоиерея Г. Митрофанова, названном «Трагедия России: «запретные» темы истории России XX века» (СПб., 2009).

Немцы действительно позволили открывать храмы, руководствуясь при этом следующими задачами, изложенными в циркуляре Главного управления имперской безопасности от 16 августа 1941 года: пропаганда идеи, что новый режим несет религиозную свободу; дробление («атомизация») различных конфессий и церквей во избежание их возможной консолидации для борьбы с Германией и установление, не гнушаясь ни какими средствами и методами воздействия, полного над ними контроля, а также использование церковных организаций для помощи военной администрации на оккупированной территории. Примечательно, что в директиве Главного управления имперской безопасности от 31 октября 1941 года уже проявлялась озабоченность массовым всплеском религиозности и впервые были указаны долгосрочные цели религиозной политики гитлеровской Германии в отношении православия — в случае победы его стали бы уничтожать, насаждая «новую религию», лишенную основных христианских догматов. В этом документе подчеркивалось, что в нем содержатся личные указания Гитлера. «Нашим интересам, — говорил Гитлер на совещании высших чинов третьего рейха 11 апреля 1942 года, — соответствует такое положение, при котором каждая русская деревня имела бы собственную секту, где развивались бы свои особые представления о Боге. Даже если в этом случае в отдельных деревнях возникнут шаманские культы, подобно негритянским или американо-индейским, то мы могли бы это только приветствовать, ибо это лишь увеличило бы количество факторов, дробящих русское пространство на мелкие единицы» [13, с. 172]. Из этих указаний понятно, что разрешение открывать церкви на оккупированной территории было лишь временной тактической уступкой, допущенной прежде всего в пропагандистских целях. Особая предосторожность рекомендовалась в отношении Русской православной церкви как носительницы враждебной Германии русской национальной идеи.

Если в 1941–1942 годах отдельные представители германской администрации и офицеры вермахта положительно относились и даже помогали открытию храмов, то в 1943–1944 годах подобное уже исключалось. Были полностью запрещены поддержка со стороны вермахта или германской администрации открытия церквей, а также участие военного персонала в богослужениях в этих храмах [13, с. 150–186].

Между тем протоиерей Г. Митрофанов в отмеченном выше сборнике своих проповедей и публицистических выступлений пишет: «Именно администрация, состоящая из офицеров вермахта, нередко благожелательно настроенных к перспективе религиозного возрождения на оккупированных территориях, оказывала наибольшее содействие стихийно и широко проявлявшемуся среди населения стремлению восстанавливать церковную жизнь, прежде всего посредством открытия храмов. Так, например, уже через две недели после взятия в июле 1941 года германскими войсками Смоленска был ликвидирован атеистический музей, располагавшийся в смоленском Успенском соборе. А 10 августа в возвращенном Русской православной церкви соборе в день памяти Смоленской иконы Божией Матери, именуемой «Одигитрия», был отслужен молебен перед найденным накануне немецкими солдатами и установленным в соборе чудотворным списком этой иконы, перед которым в 1812 году молился на Бородинском поле генерал-фельдмаршал М.И. Кутузов» [8, с. 103–104].

Однако картина церковной жизни на Смоленщине в годы оккупации была не столь уж светлой, как рисует ее Г. Митрофанов. Открытие храмов проходило под контролем оккупан-

тов, которым это ничего не стоило. В сентябре 1941 года вышло распоряжение немецкого командования, согласно которому все материальные затраты на содержание культовых зданий ложились на плечи местного населения. Оккупанты ограничились лишь демонстративной передачей верующим некоторых церковных ценностей. Во-вторых, немцы рассчитывали использовать церковный амвон как место для проведения своей пропаганды. Они инициировали темы проповедей против партизан и евреев, а впоследствии давали указания священнослужителям популяризировать власовское движение как освободительное. В-третьих, это была хорошо задуманная контрпропагандистская акция. Немецкие плакаты и листовки на церковную тему, выпущенные в первые дни оккупации, строились в основном на контрасте, с активным использованием фотоматериалов. На одном листе изображались красноармейцы, выносящие церковную утварь из храма, и германские солдаты, помогающие жителям тушить их подожженные дома.

В октябре 1941 года священникам в оккупированном Смоленске было предписано явиться в комендатуру для заполнения анкеты с десятками вопросов, в том числе об отношении к советской власти. Представитель военной администрации требовал от священников, чтобы они разъясняли пастве — все истинно православные должны доносить германским властям о любых действиях против «нового порядка». Кроме того, священникам в категорической форме рекомендовалось: 1) выявлять партизан и лиц, связанных с ними; 2) среди прихожан выявлять лиц, недовольных немецкими порядками, и тех, кто настроен против немцев; 3) опираться на тех, кто был репрессирован советской властью. Службы в смоленских церквях могли начаться только с разрешения и по расписанию, утвержденному немецким комендантом города. Это делалось каждый месяц. Кроме того, немецкая комендатура утвердила должность своего представителя при смоленском соборе. Без его присутствия богослужения не начинались.

Немцы требовали также, чтобы каждый орган коллаборационистской печати имел религиозную тематику. В смоленской газете «Новый путь» ее вел протоиерей Николай Шиловский. После уничтожения нацистами и их пособниками евреев, согнанных в смоленское гетто, он опубликовал статью «Непримиримые враги», в которой пытался представить евреев как «врагов Христовой веры». Подобные материалы должны были, по мнению нацистов, объяснить причины физического уничтожения узников смоленского гетто. Со страниц коллаборационистской печати и в проповедях священники, сотрудничавшие с оккупантами, неоднократно выступали с призывами всячески содействовать германским властям. В 1943 году вышло несколько листовок-обращений к партизанам за подписью епископа Смоленского и Брянского Стефана (Севбо). Он призывал народных мстителей перейти на сторону оккупантов. В листовке особо подчеркивалось, что в противном случае Божья кара, которая постигнет ослушников этого призыва, будет страшной. Это обращение появилось тогда, когда Смоленщина находилась под оккупацией уже более полутора лет, а миллионы наших сограждан погибли от рук гитлеровцев и их пособников.

С подходом частей Красной Армии священники-коллаборационисты бежали вместе с оккупантами, впоследствии большинство их вступили в юрисдикцию Русской зарубежной церкви и «духовно окормляли» различные военные коллаборационистские формирования: Русский охранный корпус под командованием Штейфона, воевавший на Балканах против югославских партизан, а затем прикрывавший отход немцев из Греции; так называемую Русскую народную освободительную армию под командованием Б. Каминского (РОНА), после того как она была перебазирована с оккупированной части СССР на Запад и принимала активное участие в подавлении Варшавского восстания (впоследствии остатки бригады Б. Каминского влились во власовскую РОА) и т. п. Священники этих и подобных им формирований поддерживали различные акции, направленные на идеологическую и морально-психологическую поддержку созданных с разрешения вермахта воинских частей. Так, они служили напутственные молебны, освящали походные полковые церкви, принимали участие в военных парадах, призывали советских военнопленных вступать в эти воинские части.

Не выдерживают исторической критики и другие положения книги Г. Митрофанова. Так, он без всяких ссылок утверждает, что «согласно планам сталинского руководства к концу 1942 года в стране должны были исчезнуть лю-

бые формы организованной религиозной жизни» [8, с.101].

Однако источники и современная научная литература свидетельствуют о том, что с 1939 года прямое наступление на Церковь было приостановлено [15, с. 95–118]. После присоединения Прибалтики, Западной Украины, Западной Белоруссии и Бессарабии сталинское руководство вынуждено было временно пойти на это, чтобы притушить там антисоветские настроения, связанные, в частности, с представлениями о Советской власти как непримиримо враждебной всякой религии и церкви. Важную роль начинала играть вторая мировая война. Советское руководство объективно было заинтересовано теперь в укреплении единства нации, а не в разделяющих ее нападках на верующих со стороны воинствующего атеизма. 11 ноября 1939 года Политбюро ЦК ВКП(б) постановило «признать нецелесообразным впредь практику органов НКВД СССР в части арестов служителей церкви, преследований верующих» [1, с. 8]. Несмотря на появившуюся осторожность в политике по отношению к Церкви и в 1939–1941 годах по-прежнему приоритетной задачей считалось строительство безрелигиозного общества, хотя никаких конкретных сроков в этом процессе власти не устанавливали.

Весьма примечательна позиция, занятая протоиереем Г. Митрофановым в оценке коллаборационизма в Великой Отечественной войне. Так называемую Русскую освободительную армию генерала Власова он рассматривает как «вооруженные силы антикоммунистического российского правительства в изгнании» (?) [8, с. 137]. Само власовское движение, по мнению протоиерея, носило массовый и самостоятельный характер. Такую оценку власовского движения Митрофанов сам же и опровергает, признав, что «последующие события складывались таким образом, что начинание генерала А.А. Власова не получило дальнейшего развития... Разгром фашистской Германии сделал невозможным дальнейшее существование вооруженных сил КОНР» [8, с. 139]. Иными словами, успех власовского дела всецело зависел от побед и поражений нацистской Германии, цели которой в этой войне по отношению к народам СССР широко известны. Таким образом, о самостоятельности этого движения не может быть и речи.

Великую Отечественную войну протоиерей Г. Митрофанов оценивает лишь как военный конфликт двух тоталитарных режимов, не делая различий между СССР и нацистской Германией [8, с. 100–109]. Примечательно, что в ходе обсуждения книги Г. Митрофанова в сети Интернета один из сторонников его идей (зарубежный священник) предложил российским историкам отказаться от термина «Великая Отечественная война 1941–1945 годов», заменив его следующим: «советско-германская война».

Между тем подобные оценки противоречит официальной позиции Московской патриархии, к клиру которой принадлежит о. Георгий. Официально в годы Великой Отечественной войны руководство Московской патриархии неоднократно выступало с резким осуждением коллаборационистов. В январе 1942-го Патриарший местоблюститель митрополит Сергий (Страгородский) в специальном обращении к православным людям на временно оккупированной немцами территории напомнил, чтобы они, находясь в плену врага, не забывали, что они — русские, и сознательно или по недомыслию не оказались предателями своей Родины. Одновременно Сергий призывал содействовать партизанскому движению: «Помните, что всякая услуга, оказанная партизану, есть заслуга перед Родиной и лишний шаг к нашему собственному освобождению от фашистского плена» [12, с. 7]. Состоявшийся 8 сентября 1943 года Архиерейский собор, избравший Патриархом Московским и всея Руси митрополита Сергия, принял зачитанное им постановление о том, что «всякий виновный в измене общецерковному делу и перешедший на сторону фашизма как противник Креста Господня да числится отлученным <имеется в виду от Церкви — *А.К.*>, епископ или клирик — лишенным сана» [4, с. 16].

Принципиально не изменилась позиция церковного руководства и в современных условиях. Патриарх Кирилл в своем выступлении в помещении Архангельского драмтеатра им. М.В. Ломоносова 23 августа 2009 года особо подчеркнул, что нацизм — это режим человеконенавистничества, сталинизм — это репрессивный режим, их нельзя смешивать, нельзя ставить на один уровень нацизм и сталинизм. Западные демократии вошли в коалицию со Сталиным против Гитлера, а не с Гитлером про-

тив Сталина. Ревизия истории Великой Отечественной войны неприемлема.

В отличие от священноначалия Московской патриархии, руководство Русской православной церкви за рубежом (далее — РПЦЗ) и ныне, как и в годы второй мировой войны, продолжает положительно оценивать власовское движение. Характерно, что когда протоиерей Г. Митрофанов опубликовал свою книгу проповедей и публицистических выступлений, в которой всячески оправдывает генерала Власова и его сподвижников, 8 сентября 2009 года Архиерейский синод опубликовал свой официальный положительный отзыв на эту книгу, а 9 сентября выразил признательность Митрофанову за такую публикацию. Обращение Синода РПЦЗ к власовской теме и к теме коллаборационизма вообще, даже, можно сказать, настойчивое акцентирование этого вопроса — на заседании Зарубежного синода было принято и опубликовано в печати целых два документа, посвященных книге Митрофанова и Власову, — идет вразрез с устным соглашением, достигнутым в ходе переговорного процесса о воссоединении с «зарубежниками», этот вопрос не поднимать. Слишком по-разному на него смотрели и смотрят духовенство и верующие двух объединившихся частей Русской церкви. Хотя, несомненно, за выступлением Зарубежного синода стоит множество человеческих трагедий, в том числе и судьбы людей, попавших в плен. Но если бы здесь была поставлена точка. К сожалению, произошло другое: прозвучал призыв признать выбор Власова единственно правильным, а его самого — по сути, настоящим героем прошедшей войны. Более того, признать его героем грядущей России, а коллаборационизм не только возможным, но и единственным правильным путем служения России.

Истоки такой позиции Зарубежного синода связаны со следующими обстоятельствами. Во-первых, в годы второй мировой войны священнослужители Русской зарубежной церкви в своем большинстве отражали настроения той части русских эмигрантов, которые с нападением гитлеровской Германии на Советский Союз связывали надежду на крушение большевизма. Эти надежды выразились в целом ряде официальных заявлений и проповедях зарубежных священнослужителей. Например, в пасхальном послании 1942 года глава РПЦЗ митрополит Анастасий (Грибановский) писал: «Настал день, ожидаемый русским народом, и он подлинно как бы воскресает из мертвых там, где мужественный германский меч успел рассечь его оковы» [13, с. 51]. Вместе с тем Анастасий, находясь в Югославии, где развернулась ожесточенная борьба с оккупантами, воздерживался от прямых заявлений в поддержку Германии. Однако он и другие руководители зарубежной церкви всячески поддержали генерала Власова, открыто призывавшего к новой гражданской войне, которая, по его мнению, приведет к гибели большевизма. Эти призывы охотно печатала церковная пресса «зарубежников». Осознанно или неосознанно, но духовенство Русской зарубежной церкви исповедовало порочный принцип: никакая цена не будет слишком большой для России за победу над большевиками. Несмотря на такую позицию, германские власти относились к Зарубежной церкви настороженно и в целом недоброжелательно. Опасаясь возрождения «русизма», они не допускали ее священнослужителей на оккупированную территорию СССР.

Во-вторых, сама Русская зарубежная церковь вышла из кризиса, вызванного второй мировой войной, во многом потому, что активно вела пастырскую и миссионерскую работу среди русских в лагерях перемещенных лиц, многие из которых были в прошлом власовцами, а также теми, кто так или иначе сотрудничал с немцами. Впоследствии они составили активную часть паствы Зарубежной церкви. В-третьих, целый ряд из них стал священнослужителями РПЦЗ, а духовники и священники коллаборационистских военных и полувоенных формирований уже в послевоенное время стали видными и влиятельными деятели Зарубежной церкви, членами ее Архиерейского синода, например архиепископ Никон (Рклицкий), который в 1942–1945 годах был главным священником русского охранного корпуса в Сербии.

В стремлении Зарубежного синода представить Власова настоящим героем прошедшей войны есть один уязвимый с церковной точки зрения пункт. Власова нельзя назвать православным христианином. По свидетельству протопресвитера Александра Киселева, которого называют духовником РОА, Власов не исповедовался и не причащался, а это главный критерий, ощущает человек себя православным или нет.

Выход в свет книги протоиерея Г. Митрофанова, вызвавшей острую полемику в СМИ

и Интернете, и поддержка этой книги со стороны Зарубежного синода до известной степени является следствием того, что Русская зарубежная церковь пошла на объединение с Московской патриархией со своей идеологией, в которой оправдание коллаборационизма составляет важную часть, и она от этой части не только не отказывается, но, к сожалению, нашла среди клира Московской патриархии своих пропагандистов. В какой-то степени это напоминает ситуацию 1990-х годов, сложившуюся после того, как 16 мая 1990 года Архиерейский синод Зарубежной церкви принял постановление об учреждении своих приходов и епархий на канонической территории Московской патриархии, то есть в России. Либеральная пресса стала писать о конце консервативной и пронизанной «кэгэбистскими агентами» Московской патриархии, которую должна сменить свободная Православная Церковь — из катакомб и подполья поднимутся тысячи подлинно верующих и священников и объединятся с Зарубежной церковью. Но из катакомб вышли не тысячи убежденных православных христиан, сохранивших традиционную церковную культуру, а представители подпольных общин с нередко деградировавшей церковной практикой и искаженным религиозным сознанием. Сами же «зарубежники» потом от таких маргиналов и отказались. Иными словами, действия части руководства Зарубежной церкви и их иллюзорная надежда, впоследствии обратившаяся в миф, что в советских условиях подлинная Церковь сохранилась только в подполье и теперь она воссоединится с Зарубежной, а Московской патриархии наступит конец, дала толчок соответствующим выступлениям в российской печати и публицистике.

Другая тенденция, характерная в первую очередь для ряда научно-популярных изданий, — это тиражирование всякого рода легенд, объясняющих все крупнейшие победы советских войск — под Москвой, Сталинградом, Курском и других — помощью небесных сил. Одна из них гласит: «Зимой 1941 года изрядно смутившийся Сталин вспомнил свое единственное, хотя и незаконченное, образование — Тбилисскую духовную семинарию и призвал к себе в Кремль духовенство для молебна о даровании победы; тогда же чудотворная Тихвинская икона Божией матери из Алексеевской церкви в Тихвине была на самолете обнесена вокруг Москвы и Москву от врага спасла» [10, с. 16]. Однако эта легенда никак не опирается на реальные события. Так, упоминаемая в ней икона Тихвинской Божией матери оказалась на оккупированной немцами территории и уже поэтому ее не могли на самолете обносить вокруг столицы.

Подобного рода легенды из церковной публицистики и периодики некритично переносятся порой и в научные издания. Так, в одном из них речь идет о том, что «уже 7 ноября 1941 года, сразу после знаменитого парада на Красной площади, там состоялся молебен — случай беспрецедентный для советской истории» [6, с. 321]. И — следует добавить к этому — мифологический.

В научно-популярной книге «За веру и отечество», изданной в Самаре к 50-летию Победы, ее автор В. Якунин, ссылаясь на статью Б. Костина «За други своя», опубликованную в одном из номеров «Журнала Московской патриархии» [7, с.26], пишет: «До сего дня многие исследователи Великой Отечественной войны тщетно пытаются ответить на вопрос: «Так почему же немцы не смогли взять Ленинград осенью сорок первого, ведь они же были на его окраине» ...потому-то и не суждено им было пройти по Питеру победным маршем, что встретили перед собой непреодолимую преграду. Той преградой был круг, который очертил перстом на карте митрополит Ленинградский Алексий, а затем облетел на самолете по этому кругу и окропил его святой водой. Подойдя к городу, немецкие танки встали, словно вкопанные, и ни на метр не продвинулись вперед, хотя им путь был открыт» [16, с. 90–91]. Между тем никаких свидетельств о каких либо полетах на самолете митрополита Алексия (Симанского) вокруг блокадного города да еще с окроплением его святой водой нет. Однако доподлинно известно о его деятельности в военный период следующее.

По предложению митрополита Алексия все десять приходов города начали 23 июня 1941 года сбор пожертвований в Фонд обороны и советский Красный Крест. Правящий архиерей поддержал желание верующих отдать на эти цели большую часть доходов храмов и все запасные суммы. Всего на нужды обороны благодаря такому подходу было собрано в 1941–1944 годах 13 млн руб. Сам митрополит и его сестра А. Погожева передали свою дачу на станции Сиверская под детский дом для детей погибших солдат и офицеров. 26 июля 1941 года митрополит обра-

тился к верующим епархии с посланием «Церковь зовет к защите Родины!». Патриотические послания владыки разбрасывались в виде листовок с советских самолетов на оккупированной немцами территории. Участник партизанского движения в Ленинградской области А.Г. Голицын в письме митрополиту Алексию от 1 мая 1944 года писал: «Ваш агитлисток сыграл немалую роль среди оккупированного населения в деле оказания помощи партизанам, а вместе с тем в борьбе против фашизма. Этот листок среди населения — как Божье письмо, и за него немецкие оккупанты в своих приказах грозили смертной казнью, у кого он будет обнаружен» [3, с. 296].

Митрополит переносил тяготы блокады вместе с жителями города. В то время он жил на хорах Николо-Богоявленского собора и на службы в другие храмы города добирался на трамвае или пешком. За патриотическую деятельность в период блокады Алексий был награжден медалью «За оборону Ленинграда».

Касаясь нормализации государственно-церковных отношений в военный период, некоторые авторы, ссылаясь на церковную публицистику, например вышедшую в 1993 году в Свято-Троицкой лавре книгу «Россия перед Вторым пришествием» [11, с. 239–241], выделяют особое значение в этом процессе неких писем и телеграмм, якобы отправленных митрополитом Гор Ливанских Илией Караме советскому руководству. В письмах он описывал, как «ему явилась в огненном столпе сама Божия Матерь и объявила, что избран он, истинный молитвенник и друг России, для того, чтобы передать определение Божие для страны и народа российского. Если все, что определено, не будет выполнено, Россия погибнет». Божия Матерь сказала, что «должны быть открыты во всей стране храмы, монастыри, духовные академии и семинарии. Священники должны быть возвращены с фронтов и тюрем, должны начать служить...» И теперь хранятся в архивах письма, телеграммы, переданные митрополитом Илией в Москву. Сталин вызвал к себе митрополита Ленинградского Алексия (Симанского), Местоблюстителя Патриаршего престола митрополита Сергия (Страгородского) и обещал исполнить все, что передал митрополит Илия, ибо не видел возможность спасти положение» [6, с. 328]. Однако исследователи не обнаружили в российских архивах даже следов писем и телеграмм митрополита Илии, о которых упомянуто выше. Согласно сохранившимся источникам санкция И.В. Сталина на изменение государственно-церковных отношений определялась прежде всего прагматическими расчетами, и во время его встречи поздно вечером 4 сентября 1943 года в Кремле с тремя иерархами Русской православной церкви, на которой обсуждались первоочередные нужды Московской патриархии, имя митрополита Гор Ливанских Илии никак и никем не упоминалось.

Предание о чудесном явлении Божией матери митрополиту Илие появилось в церковной среде не раньше осени 1947 годах, когда митрополит посетил Москву и Ленинград. Во время этой поездки при стечении многочисленной паствы он рассказывал, что всю войну день и ночь молился о спасении России. Примечательно, что в обстоятельных отчетах об этой поездке, опубликованных в «Журнале Московской патриархии», ничего не говорится о явлении Божией Матери митрополиту Илие и о его письмах к советскому руководству [5, с.5].

После выступления советского религиоведа Э.И. Лисавцева на международной конференции «Исторический путь православия России после 1917 года», состоявшейся в Санкт-Петербурге 2 июня 1993 года, о том, что первая встреча И.В. Сталина с Патриаршим местоблюстителем Сергием (Страгородским) состоялась в июле 1941 года, даже некоторые серьезные историки стали безоговорочно воспроизводить эту версию в своих публикациях [15, с. 196]. Важно подчеркнуть, что Э.И. Лисавцев не привел никаких убедительных аргументов. Известные исследователям источники также не подтверждают эту версию, получившую распространение и в периодических изданиях, включая церковные.

Некоторые авторы подробно останавливаются на многочисленных мифах, бытующих среди верующих, об обращении И.В. Сталина в годы войны к религии. Так, Л.Н. Аруева в своей научно-популярной книге «Русская православная церковь в годы Великой Отечественной войны» пишет, что в октябре 1941 году Сталин приезжал в Царицыно к святой праведной Матроне (Никоновой), которая сказала ему: «Красный петух победит. Победа будет за тобой». Зимой 1941 года Сталин пригласил в Кремль духовенство совершить молебен о даровании победы. Далее Л.Н. Аруева приводит воспоминания монахини Сергии (Клименко) о том, что когда в ноябре 1941

года из Москвы хотели вывозить мощи благоверного князя Даниила Московского, он явился Сталину и сказал: «Я хозяин Москвы, не трогайте меня, плохо будет» [2, с. 28–29].

Следует отметить, что светские авторы, излагающие подобного рода легенды, большей частью предпочитают их не комментировать, тем самым как бы молчаливо соглашаясь с теми вымыслами, которые не соответствуют исторической действительности. Например, в последнем случае целесообразно было подчеркнуть, что вопрос о вывозе мощей князя Даниила Московского не стоял и в принципе не мог стоять в военный период, ибо после закрытия монастыря в 1930 году архимандрит Тихон (Баляев) перенес мощи в церковь Воскресения Словущего, где они находились до 1932 года. Дальнейшая их судьба неизвестна [9, с. 62 — 63].

Хотя временами, по свидетельствам очевидцев, И.В. Сталин любил цитировать Библию, а при составлении библиотеки для дачи дал письменное указание, чтобы «не было никакой атеистической макулатуры», говорить о будто бы проявившейся у него в годы войны религиозности не приходится. И в атеизме, и в религии он видел общественные явления, которые должны служить существующей в СССР системе каждое по-своему.

Русская православная церковь внесла весомый вклад в победу народов СССР над фашистской Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. Она создавала, по словам митрополита Ленинградского Алексия, «нравственные условия победы». Конкретные проявления патриотической деятельности Русской церкви были весьма многообразны: морально-нравственная поддержка и призывы к мобилизации всех сил в помощь фронту и укреплению тыла (в основном через послания, обращения, проповеди); сбор денежных средств, драгоценностей, медикаментов, одежды, продуктов в Фонд обороны; служба церковнослужителей в рядах действующей армии и участие в партизанском движении; помощь раненым бойцам, шефство над госпиталями и создание санитарных пунктов; участие в сооружении оборонительных укреплений, в противопожарной и противовоздушной гражданской обороне и т. д.

Таким образом, конкретный вклад Русской православной церкви в общую победу не нуждается в каком-либо приукрашивании ни со стороны светских, ни со стороны церковных публицистов и СМИ. Вместе с тем рожденные в военные годы легенды, объясняющие крупнейшие победы советских войск и легализацию Церкви государством помощью небесных сил, отражают значительный рост религиозности среди населения в тот период. Публикация их в светской литературе и периодике требует соответствующих комментариев и разъяснений, в противном случае жизнедеятельность Церкви в военный период будет представать перед светскими читателями в искаженном, порой весьма утрированном виде, а для верующих обрастет квазицерковными преданьями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев, В.А.** Тернистый путь к живому диалогу (Из истории государственно-церковных отношений в СССР в 30 — 50-е годы XX столетия) [Текст] / В.А. Алексеев.— М., 1999.

2. **Аруева, Л.Н.** Русская православная церковь в годы Великой Отечественной войны [Текст] / Л.Н. Аруева.— СПб., 2010.

3. В огне войны... // Русское прошлое. Кн. 5. СПб., 1994.

4. Журнал Московской патриархии.— 1943.— № 1.

5. Журнал Московской патриархии.— 1948.— № 1.

6. История Русской православной церкви: От восстановления патриаршества до наших дней: СПб., 1997.— Т. 1. 1917–1970.

7. **Костин, Б.** За други своя [Текст] / Б. Костин //Журнал Московской патриархии.— 1993. № 12.

8. **Митрофанов, Г.** Трагедия России: «Запретные» темы истории XX века в церковной проведи и публицистике [Текст] / Г. Митрофанов, протоиерей.— М., 2009.

9. Московский Данилов монастырь [Текст]: Книга.— М., 1988.

10. **Паламарчук, П.** Сорок сороков. Т. 1: Кремль и монастыри [Текст] / П. Паламарчук.— М., 1992.

11. Россия накануне Второго пришествия [Текст] / Издание Свято-Троицкой лавры.— 1993.

12. Русская православная церковь и Великая Отечественная война: сборник церковных документов [Текст].— М.,1943.

13. Церковная жизнь // 1942. № 4.

14. **Шкаровский, М.В.** Нацистская Германия и Православная церковь (Нацистская политика в отношении Православной церкви и религиозное возрождение на оккупированной территории СССР) [Текст] / М.В. Шкаровский.— М., 2002.

15. **Шкаровский, М.В.** Русская православная церковь при Сталине и Хрущеве [Текст] / М.В. Шкаровский.— М., 1999. С. 196.

16. **Якунин, В.** За веру и отечество [Текст] / В. Якунин.— Самара, 1995.

УДК 1(091).930:01.930.1:947

И.В. Аладышкин

ОБРАЗ «ЕДИНСТВЕННОГО...» В СОВЕТСКОЙ ИСТОРИОГРАФИИ

Советский период в развитии отечественной историографии принято считать едва ли не потерянным для изучения таких маргинальных и прямо противоположных утвердившейся в стране идеологии философов, как М. Штирнер. Нередко можно встретить схожее мнение и об иных мыслителях, если не совпадающих, то близких автору «Единственного и его собственности» по ряду философских положений, в частности Ф. Ницше [1, с. 31]. Утверждение сомнительное. Сомнительное не только ввиду явного преувеличения и существовавших периодов плодотворного изучения именно философии М. Штирнера, каковым стало, например, послеоктябрьское десятилетие. Оно неуместно даже по отношению к официозно настроенным исследователям воззрений Штирнера, наиболее контрастно выражавших, что тоже немаловажно, основные направления сизифовых усилий советской критики по разоблачению и дискредитации идеологических основ буржуазного мира. При всей односторонности, политизированности критических подходов советских исследователей к анализу западного индивидуализма они дали великолепный образец пусть упрощенного, но наиболее завершенного варианта «расшифровки» индивидуалистического мировоззрения с позиций исторического и диалектического материализма, имевший, несмотря на издержки партийно-классового подхода, свои рациональные зерна.

Для анализа же критики философии М. Штирнера в советском обществе важен как раз тот комплекс исследований, что оказались идеологически «верными», выдержанными в духе официального курса развития социально-гуманитарных наук в Стране Советов. Необходимо лишь отбросить часть исследований 20-х годов да буквально единицы работ, относящихся к концу 80-х, которые выпадают из выработанного в советские годы определенного стереотипа, стандарта восприятия теоретического наследия философа. Но правомерно ли говорить о некоем «стандарте»? Представляется, что да. Несмотря на отсутствие в советской историографии начиная со второй половины 20-х годов работ, посвященных исключительно воззрениям М. Штирнера, изучение его теоретического наследия продолжалось в контексте философских, культурологических и социально-психологических исследований [2–5], а также изучения истории философии, в частности младогегельянства [6], истории нигилизма [7, 8] и, в первую очередь, анархизма в России и за рубежом [12–18]. Однако при многовариантности тем, предопределявших обращение к «Единственному...», разночтения в среде отечественных исследователей советских лет если и встречались, то лишь по частным вопросам философии М. Штирнера. Схожесть в трактовке и критике «Единственного...» определялась уже единой методологией и в первую очередь лишь одним возможным углом зрения и восприятия теоретического наследия философа, который задавался изначально едиными принципами идеологической борьбы с западным буржуазным индивидуализмом. Уже в 20-е годы закрепился [12, 13], а далее лишь развивался некий образчик трактовки философии М. Штирнера, некий образ «Единственного...», олицетворявший эгоцентристскую систему немецкого мыслителя. Изучение данного образа, кроме прочего, позволит, наряду с анализом восприятия философии М. Штирнера, выявить специфику отношения к самой проблематике эгоцентризма и крайних форм индивидуализма в советском обществе. Ведь разработанные принципы критики буржуазного индивидуализма не локализовались в академических кругах, но стали важной составной частью пропаганды в рамках идеологического противостояния.

Одним из вариантов воссоздания образа «Единственного...» может стать выявление самих принципов, легших в основание советского стандарта понимания этого образа, вскрытие внутренней логики его построения. Соответственно интерес представляют отнюдь не частные расхождения советских исследователей (поэтому оказалось возможным отказаться от историо-

графического перечня работ), а то общее, тот костяк, что был заложен в их трактовке эгоцентристской системы немецкого мыслителя.

Фундаментом обобщенного образа «Единственного...» стало доказательство внутренней взаимосвязи философии М. Штирнера с социально-экономическими противоречиями развития капиталистического общества и эволюции буржуазной идеологии. Нет веских оснований оспаривать подобную «наследственность» философии М. Штирнера, как, впрочем, и научного коммунизма, с высот которого оценивали «Единственного» советские исследователи. Стоит даже подчеркнуть вслед за ними, что «Единственный» увидел свет в домонополистический период развития капитализма, период расцвета частной инициативы, когда от формирования буржуазной идеологии совершался переход к ее утверждению в условиях стартовавшего промышленного переворота в Пруссии. В период, когда частнособственнические, или, по Марксу, «чисто атомистические», отношения создают все необходимые условия для дальнейшего развития индивидуалистических концепций. И «Единственный...» стал и остается до настоящего времени предельным выражением буржуазно-индивидуалистических настроений, не идеологических по преимуществу декларативных постулатов (получивших отображение в либерализме), а настроений, соответствующих реальным устремлениям и целям самореализации индивида в капиталистических отношениях. Тех настроений, что выступают в своем чистом, незавуалированном и смягченном идеологическими наслоениями виде. Для советских исследователей они неминуемо ассоциировались со взглядами изолированного одиночки, который руководствуется иллюзорным представлением об обособленности от всякого социального целого. «Единственный...» же с его требованиями «абсолютной независимости индивида от внешнего мира» [3, с. 20] представлялся в качестве крайней формы подобных настроений и, соответственно, крайней формы буржуазного индивидуализма как такового.

Что же (согласно советским исследователям) лежало в основе западноевропейского индивидуализма? Ведомые закономерным, но искаженным идеологическими установками стремлением вывести некие общие, универсальные буржуазные ценности, которые выступали внутренними мотивами и целями поведения буржуазной личности и представлялись не официально закрепленной, а практически осуществляемой моралью капиталистического общества, советские исследователи, как правило, неминуемо оказывались в плену упрощенных схем и толкований. У них основной целью жизни и поведения человека с буржуазной моралью становится личный, точнее, частный успех, понимаемый очень узко — как обладание богатством, капиталом, частной собственностью, дающими человеку в условиях капиталистического общества и материальные блага, и власть над людьми, и престиж, и возможности для индивидуального развития. Здесь штирнеровская концепция приходилась кстати как никогда, ведь уже в заголовке основной работы вынесена основная определяющая категория «Единственного...» — собственность. Действительно, «Единственный...» у М. Штирнера, что подчеркивалось многими исследователями, немыслим без индивидуальной, именно частной, в прямом понимании этого слова, собственности. Весь окружающий мир «Единственный...» воспринимает как собственник. Однако оригинальная трактовка Штирнером собственности советских исследователей интересовала мало. Применение же к «Единственному» марксистского варианта понимания собственности приводило к кардинальному искажению и упрощению всей философии Штирнера. В результате «Единственный» низводился до уровня чуть ли не расхожего типа потребительски ориентированной личности, только с гипертрофированными потребностями. Ведь, как отмечал Ф. Энгельс, «движущей силой» этой цивилизации была страсть к личному обогащению. «...Богатство, еще раз богатство и трижды богатство не общества, а вот этого отдельного жалкого индивида было ее единственной, определяющей целью [10, с. 38]. Не этого ли «жалкого индивида» и его столь же «жалкие» интересы отстаивал М. Штирнер? Да и не является ли сам «Единственный...» как раз теоретическим воплощением этого столь «жалкого индивида», еще более жалкого на фоне масштабов своих претензий.

Если пойти далее по пути, проложенному советскими исследователями, то окажется, что при капитализме идеал личного обогащения навязывается людям в качестве главнейшего, официально санкционированного и всеобщего идеала, поэтому он естественно проникает в сознание многих людей и не только капиталистов-буржуа, но и представителей тех слоев, которые сами не

являются владельцами капитала и эксплуататорами. Возможно, тезис верный, но только в свете программной для любого советского исследователя и крайне пристрастной критики философии Штирнера в работе К. Маркса «Святой Макс» [9]. Следуя «Святому Максу» последний мог рассматриваться только в качестве одного из представителей данных слоев с искаженным частнособственническими идеалами сознанием. При этом стандартная буржуазная ориентация на успех, на достижение частнособственнических интересов чаще всего у советских исследователей обозначает лишь меркантильное, потребительское, «вульгарно-материалистическое» отношение к жизни, характерное и для всякого развитого индустриального общества. Как следствие, по логике вещей признавалась преемственность философии Штирнера и современного буржуазного западного индивидуализма уже XX века. Конечно, советские исследователи пытались провести различия между философствованием М. Штирнера и реальными практическими интересами буржуазного сознания. Однако подобные оговорки положения не спасали.

В трактовке принципов социального взаимодействия индивидов в философии М. Штирнера действовала столь же плоская схема. Из закономерной предпосылки о единстве основы социальной ориентации и системы мотивации жизнедеятельности человека в штирнеровской концепции и буржуазном индивидуализме в целом делались очередные далеко идущие и поражающие подчас своей прямолинейностью выводы. Действительно, Штирнер открыто выдвигал на первый план не общественное благо, не благо коллектива, не благо индивидуума как члена общества и коллектива, а успех отдельного человека, успех как осуществление его частного интереса, обособленного, возможно даже противопоставленного частным интересам других людей и интересам общества в целом. Подобный подход удачно укладывался в рамки общего представления о буржуазном индивидуализме. При желании с некоторыми оговорками можно согласиться и с тем, что Штирнер, будучи буржуазным индивидуалистом, необходимо связывает идею личного успеха, блага, интереса с принципами индивидуального предпринимательства, частной инициативы и конкуренции. И хотя Штирнер не оперировал категориями экономической науки, их не трудно представить в качестве универсальных принципов социального взаимодействия. Тем более, что для советских исследователей эти принципы становятся центральными понятиями буржуазной идеологии, нормами морали, правилами поведения, существенными особенностями человеческого характера, привычками и формой воспитания чувств людей. В конечном итоге основные принципы практической буржуазной морали распространялись и на психологию буржуазной личности. Поэтому взгляды Штирнера подчас рассматривались в качестве концепции индивида-приобретателя, заботящегося прежде всего о себе, преследующего свои частные цели наиболее эффективным для него способом. А отказ «Единственного...» считаться с любыми внешними по отношению к конкретной личности ограничениями способов и средств достижения частных целей приводил к обвинениям в волюнтаризме и хищничестве. Соответственно, принципы социальных взаимоотношений, отстаиваемых М. Штирнером, описывались словами К. Маркса и Ф. Энгельса о буржуазной морали, когда «каждый смотрит на другого только как на объект для использования... и при этом получается, что более сильный попирает более слабого...» [19, с. 130]; или же еще более резким определением, приведенным В.И. Лениным: «либо ты грабишь другого, либо другой грабит тебя... либо ты рабовладелец, либо ты раб...» [19, с. 131]. И другие варианты, как правило, не принимались, видимо, ввиду их недостаточной контрастности. Для советских исследователей уже сам принцип конкуренции был выражением борьбы, в которой человек приручается рассматривать всех людей как действительных или потенциальных соперников и врагов. Подобный довод удачно иллюстрировался штирнеровским отстаиванием идеи «войны всех против всех», выступавшей предельным выражением принципов, или скорее беспринципности, конкурентной борьбы.

Здесь уместно вспомнить и о так называемой идее личной ответственности индивида, столь своеобразно разрешенной в «Единственном...». Она гласит: успех человека в конкурентной борьбе зависит лишь от его личных, индивидуальных качеств, от свойств его характера, от интенсивности его воли к победе, от его энергии. Соответственно, на конкретного участника конкурентной борьбы возлагается и ответственность за неудачи на выбранном пути. Идея личной ответственности индивида была важным элементом буржуазной идеологии, особенно в ее традиционном

варианте, характерном для времени утверждения капитализма. В советской исследовательской литературе она вполне справедливо трактовалась в качестве фактора, способствующего переносу индивидом социально-объективных явлений в сугубо личный, субъективный, индивидуально-психологический план. Раз так, то идея личной ответственности только усиливала состояние изолированности, обреченности индивида, усугубляла настроения и чувства социальной изоляции, разрушительных для личности, но неминуемо порождаемых условиями конкурентной борьбы и частнособственнических отношений. И, как следствие, — духовного, нравственного и эмоционального отчуждения, разрушающего самые элементарные человеческие отношения, появление таких асоциальных теорий, как эгоцентризм Штирнера с его «Единственным...». Последний смог преодолеть субъективный уровень разрешения объективных противоречий капиталистического общества лишь в нигилистическом пафосе разрушения. Подобная схема нередко служила объяснением столь непримиримого отношения «Единственного...» к социальным институтам любого рода.

Нельзя сказать, что советские исследователи игнорировали социально-преобразующий пафос философии Штирнера. Трудно не заметить, что заложенный и развитый, а также приобретенный потенциал индивида он стремится направить не только на ликвидацию навязываемых обществом ограничений, стоящих на пути дальнейшей самореализации данного индивида, но и на совершенствование общественного устройства. Ведь в философии Штирнера был разработан оригинальный общественный идеал. Правда, последний отечественных исследователей всегда интересовал мало. Если и поднимались в советской историографии вопросы, связанные с союзом эгоистов, то разрешались они буквально несколькими предложениями об «утопической» «апологии буржуазного строя» [17, с. 25]. Основное внимание сосредоточивалось на критике именно нигилистической составляющей его философии.

На основании провозглашенной Штирнером борьбы «Единственного...» со всеми социально-политическими институтами происходило сближение его философской системы с теорией и практикой анархизма. «Буржуазный индивидуализм и «неограниченная» свобода личности, субъективизм и идеализм — эти...» — в соответствии с установками, провозглашенными еще К. Марксом и подхваченными его дальнейшими апологетами, —«...краеугольные камни теории и практики анархизма нашли... свое полное и яркое выражение» [14, с. 25] именно в философии М. Штирнера. Советские исследователи охотно рассматривали воззрения немецкого мыслителя в качестве своеобразного варианта бунтарской анархистской стихии. Стремясь как можно дальше отстранить штирнеровский бунт от революционной традиции, они справедливо указывали на то, что отказ «Единственного...» от политической борьбы, от необходимости революционного преобразования, воспевание бунта личности предвосхитили многие положения анархистской тактики.

Первопричины бунтарского характера «Единственного...» выводились из той же общей трактовки социальных противоречий капиталистической действительности, а если быть точнее, то из излюбленных в марксистко-ленинской философии процессов социально-экономического и политического отчуждения. Отправной точкой служило не вызывающее сомнений утверждение, что любая конкретно-историческая система общественных отношений создает и закрепляет целый комплекс объективных по отношению к каждому индивиду ограничений (значительно сужающих поле и формы его социальной самореализации). Вся практическая организация общества (по отношению к философии М. Штирнера — буржуазно-капиталистического типа), все фактически существующие элементы ее требуют от члена социума повиновения многочисленным и разнообразным законам, дисциплинарным предписаниям и правилам, регламентациям и запретам, составляющим необходимую сторону буржуазного социального организма. И это — прежде всего законы, правила, регламентации, стоящие на страже установленной системы общественных отношений, поддерживающие «порядок» ее функционирования, обеспечивающие результативность деятельности различных буржуазных институтов. Они выступают регуляторами капиталистической деятельности, которые определяют границы и формы конкурентной борьбы, санкционируют те или иные ее средства и методы. Наконец, указывались многочисленные запреты и дисциплинарные правила-нормы общежития. Но для «Единственного...» любые общественные ограничения есть всегда нечто стесняющее, внешнее,

чуждое, навязанное извне, противостоящее ему. Отправной точкой штирнеровского нигилизма таким образом оказывается конфликт между частными интересами «Единственного...», целями его деятельности и правилами, запретами, регламентациями, создаваемыми фактической буржуазной организацией. Подобное объяснение без труда вписывалось в стандартную по отношению к капиталистическому обществу в целом критическую формулу. Последняя предполагает перманентный конфликт личных и общественных интересов, который приобретает более резкие формы в виду отсутствующей в практической действительности возможности для подавляющего большинства людей частных добиться своих интересов, основанных на буржуазно-индивидуалистических ценностях («ни богатства, ни власти»). Ведь успех есть удел немногих привилегированных групп, к тому же постоянно сокращающихся численно по мере развития капитализма, по мере концентрации капитала и власти. Это — всеобщий закон капитализма, против которого и восстает «Единственный».

В советской литературе «Единственному» всегда сопутствовало обвинение в «мелкобуржуазности», которое, впрочем, обращалось практически к любым крайним формам индивидуалистических теорий и анархизма. Обвинение берет начало еще от «Святого Макса» К. Маркса и бережно затем переносится на страницы первых советских исследований, так или иначе затрагивавших вопросы, связанные с философией М. Штирнера. Мелкобуржуазность выступала катализатором бунта, мелкобуржуазностью объяснялись его радикализм и свойственная филосовствованию Штирнера крайность. Итак, развитие капитализма неизбежно ведет к разорению мелкой буржуазии, чьи интересы и выражал немецкий мыслитель. Разорение приводит к наиболее тяжелому давлению законов, правил, дисциплинарных предписаний и запретов, закрепляющих и выражающих фактическое положение, как для субъектов (предпринимателей), так и для объектов (эксплуатируемых классов) буржуазной, частнособственнической деятельности. Причем по мере развития капитализма, бюрократизации всей хозяйственной и общественной жизни, роста удельного веса в экономике государственного сектора, монополизации, сужающей сферу свободной конкуренции и частной инициативы, мелкая буржуазия, стремительно теряя свои позиции, все в большей и большей степени становится объектом принуждения и эксплуатации со стороны государственно-монополистической организации. Поэтому неизбежный конфликт мелкобуржуазного сознания с издержками развития капитализма оказывается особенно резким, явным и разрушительным для личности. Разительный контраст между формально демократической оболочкой, в которую облечены традиционные лозунги индивидуализма и реальной действительностью, только подстегивают мелкобуржуазное сознание. Объектом индивидуалистической мести становится все то, что в глазах мелкого буржуа олицетворяет враждебные ему социальные ограничения: закон, право, морально-этические нормы. Для «Единственного...» даже элементарные нормы общежития кажутся препятствием, преградой, мешающей ему реализовать свои индивидуалистические цели и проявлять качества, воспитываемые индивидуализмом. Итогом становится крайнее недовольство сложившейся государственно-капиталистической системой, находящее единственно приемлемую форму в индивидуалистическом, анархическом бунте против всех и всяческих дисциплинарных и организационных форм общества вообще. Остается только вспомнить словаВ.И. Ленина о ««взбесившемся» от ужасов капитализма мелком буржуа». Так для советских исследователей рождался бунтарский дух «Единственного...», так объяснялся его иммоализм и антиэтатизм. «Если нужны самые разительные доказательства того, что в Новое время анархистская идеология есть выражение отчаянных духовных метаний мелкбуржуазного филистерства, которого капиталистические порядки выбивают из удобной ему социальной колеи и ожесточают против всего мира, — писал Л.С. Мамут, — то такие доказательства можно найти в первую очередь в штирнеровском тексте» [4, с. 205].

Для социалистически ориентированной критики характерный в буржуазном сознании примат индивидуалистических целей и принципов над социальными нормами неминуемо порождает такую личность, которая ради осуществления эгоистических целей и принципов готова нарушать любые законы, правила и запреты, налагаемые на нее данным обществом. «Единственный...» неизбежно на страницах советских исследований рисуется воплощением подобной личности, которая строит свою жизнь по принципу «цель оправдывает средства», причем в ка-

честве целей выступает частный, эгоистический интерес. Агрессивность «Единственного...», его радикализм становятся лишь показателями роста болезненных, реакционных и кризисных явлений, характерных для буржуазного индивидуализма в целом.

Итак, что же мы имеем в лице «Единственного...»? А имеем мы на страницах советских исследований обособленную, изолированную от социума человеческую единицу, ориентированную на достижение исключительно частных интересов, априори вступающих в противоречие с законодательно-правовой системой капиталистического, да и любого другого государства, не соответствующих морально-этическим установкам любого общества и даже элементарным нормам общежития. «Единственный...» стал персонифицированным воплощением принципа жизненной ориентации, который основывается на мотивах себялюбия и своекорыстия, заботящегося только о своем «Я» и непременно ценой блага других. Это — показательное порождение философской системы буржуа, который терпит поражение в конкурентной борьбе, но сохраняет веру в буржуазные идеалы и находит единственный оплот в нигилистическом пафосе разрушения всех социально-политических ограничений, воспринимаемых в качестве препятствий на его пути. Таким образом, воззрения М. Штирнера рассматривались как предельное выражение буржуазной идеологии, когда она переходит в самоотрицание, самоуничтожение. Идеалом немецкого мыслителя оказывается мир открытой, понимаемой в самом широком смысле конкурентной борьбы частных эгоистических интересов как саморазвивающейся системы, нерегулируемой какими либо верховными институтами по отношению к отдельным ее участникам. Реализация подобных сомнительных идеалов возможна лишь при ликвидации всех социально-политических и экономических институтов, а вместе с ними и правовых, морально-этических основ современного М. Штирнеру общества путем анархического по своей сути, а потому стихийного бунта. Эгоцентризм, нигилизм и анархизм оказываются общим итогом его воззрений. А приемлемой формой организации будущей жизни общества предполагаются лишь союзы эгоистов, союзы «Единственных...», основанные на «единственном отношении между людьми — отношении полезности» [15, с. 19].

Казалось бы, задачи по дискредитации философии, воплощающей, пусть и в крайнем, предельном варианте основополагающие элементы буржуазной идеологии, успешно выполнены. По крайней мере, приведенный образ «Единственного...» рисуется отталкивающим и даже пугающим. Критиковать его бессмысленно не только ввиду программности и крайней утрированности многих выводов, а потому еще, что это именно обобщенный, собирательный образ «Единственного...», в той или иной степени представленный на страницах советских исследований, редко встречается в совокупности всех своих элементов, так сказать в полном и чистом виде.

Встает другой вопрос: а насколько далек представленный образ от оригинала? Разве стоит оспаривать такие утверждения: ««Я», «Единственный», «Эгоист», «являющийся центром мира, стоящий превыше всего, свободный от всяких внешних и внутренних ограничений, — вот идеал Штирнера» [17, с. 23]? Все зависит лишь от того, что понимать под «Единственным», «Эгоистом» и что в конце концов видеть в «Я». К сожалению, отрешиться от негативных характеристик образа, от его откровенной упрощенности и утрированности в научной литературе тех лет невозможно. В свете научного коммунизма «Единственный...» не мог восприниматься иначе. Камнем преткновения для советских исследователей оказались не имморализм, нигилизм, антикоммунизм и прочие частные элементы философии «Единственного...». Источником нетерпимости оказались принципиальные различия в понимании, оценке исходного понятия — «эгоизма», которое послужило фундаментом всей философской системы М. Штирнера. Эгоизм, столь страстным апологетом которого оказался немецкий мыслитель, — явление в советском обществе исключительно негативного порядка, на его преодолении в значительной степени строилось представление о новой социалистической личности. Тогда как «Единственный...» оставался очередной гримасой имущественного и социального неравенства, порождаемых капиталистическими отношениями загнивающего буржуазного мира. Объективный же анализ философии М. Штирнера возможен лишь при объективном, очищенном от эмоциональных и иных наслоений восприятии фундамента его философии — эгоизма, что не под силу и многим современным исследователям в России. Иначе не встречались бы неуместные, казалось бы, в научной среде обвинения «Единственного...» в «тупом человеконенавистничестве» [20, с. 342] и прочих незавидных грехах.

Вместе с тем сам подход к философии Штирнера, заданный в советские годы, отталкивавшийся от марксисткой критики «Святого Макса», при ликвидации издержек, присущих времени, не лишен перспектив дальнейшего продуктивного развития. Да, действительно, советские исследователи практически игнорировали мало их интересующие ключевые разделы философии М. Штирнера, периодически с присущей им негативной прямолинейностью скатывались до вульгаризации философии автора «Единственного...». Так, за редким исключением в советской историографии даже не предпринималась попытка анализа основополагающей категории «Я» в эгоцентристской системе немецкого мыслителя. Вместо нее фигурировал некий порожденный в недрах советской историографии изолированный индивид, непременно обособленный и противостоящий обществу. Не имея возможности анализировать иррациональную основу «Единственного...», советские исследователи трактовали его в вульгарном социологическом ключе либо прибегали к расхожим обвинениям в солипсизме. Вряд ли стоит перечислять далее «огрехи» советской штирнерианы. Тем более, что значительную часть «перегибов» данной критической традиции следует отнести на счет идеологического противостояния мелкобуржуазным теориям и учениям. Вместе с тем в анализе философии М. Штирнера советские исследователи добились отдельных интересных результатов. Вслед за ними приходится признать необходимость дополнить анализ формирования воззрений М. Штирнера в контексте развития классической немецкой философии и политической мысли первой половины XIX века непосредственной связью с эволюцией буржуазной идеологии, а также культурного утилитаризма. Не менее важен в изучении философии М. Штирнера контекст конкретно исторических условий социально-экономического развития Германии, на что также преимущественно обращали внимание лишь советские исследователи (правда, подчас забывая об иных факторах). Тем более, воззрения Штирнера вне советской традиции преимущественно рассматривались в социально-политических либо духовно-психологических, но не экономических сферах отчуждения. Интерес представляет попытка приблизить философию М. Штирнера, и без того отличающуюся практическим, прикладным характером, к реальной жизненной позиции человека, оценить ее с данных позиций. В конечном итоге, если суммировать то положительное, что привнесли советские исследователи в изучение «Единственного...», так это, прежде всего, стремление установить внутреннюю взаимосвязь философии М. Штирнера с конкретно историческими социально-экономическими противоречиями развития капиталистического общества и его идеологией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Синеокая, Ю.В.** Восприятие идей Ницше в России : основные этапы, тенденции, значение [Текст] / Ю.В. Синеокая // Сб. ст. «Фридрих Ницше и философия в России» / Отв. ред.-сост. Н.В. Мотрошилова, Ю.В. Синеокая. — СПб. : РХГИ, 1999.— С. 7–37.

2. Личность при социализме [Текст] / Отв. ред. Ф.В. Константинов. — М. : Наука, 1968. — 260 с.

3. **Резвицкий, И.И.** Личность. Индивидуальность. Общество. Проблема индивидуализации и ее социально-философский смысл [Текст] / И.И. Резвицкий.— М. : Изд-во полит. лит. 1984. — 141 с.

4. **Мамут, Л.С.** Этатизм и анархизм как типы политического сознания : Домарксистский период [Текст] / Л.С. Мамут.— М. : Наука, 1989. — 256 с.

5. Баталов Э.Я. Философия бунта : Критика идеологии левого радикализма [Текст] / Э.Я. Баталов.— М. : Политиздат, 1973. — 222 с.

6. **Малинин, В.А.** Левое гегельянство : Критический анализ [Текст] / В.А. Малинин, В.И. Шинкарук. — Киев. : Наукова Думка, 1983. — 209 с.

7. **Новиков, А.И.** Нигилизм и нигилисты : Опыт критической характеристики [Текст] / А.И. Новиков. — Л. : Лениздат, 1972. — 296 с.

8. **Кузнецов, Ф.Ф.** Нигилисты? Д.И. Писарев и журнал «Русское слово» [Текст] / Ф.Ф. Кузнецов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Худож. лит., 1983. — 598 с.

9. **Маркс, К., Энгельс, Ф.** Святой Макс : Критика учения Штирнера [Текст] / К. Маркс, Ф. Энгельс / Пер. с нем под ред. и вступ. статьей Б.В. Гиммельфарба. — М. : Изд-во Отд. печати Моск. совета раб. и крест. депутатов, 1919. — 255 с.

10. **Энгельс, Ф.** Происхождение семьи, частной собственности и государства [Текст] / Ф. Энгельс. — Л. : Изд-во ЛКИ. 2007. — 238 с.

11. **Бернштейн, Э.** Анархизм [Текст] / Э. Бернштейн. — СПб., 1907. — 120 с.

12. **Кульчицкий, Л.** Современный анархизм. Изложение, источники, критика [Текст] / Л. Кульчицкий / Пер. с польского С. Штерн.— 2-е изд. — Петроград : Б.и., 1917. — 284 с.

13. **Святловский, В.В.** Очерки по анархизму [Текст] / В.В. Святловский. — Петроград: Госиздат, 1922. — 72 с.

14. **Косичев, А.Д.** Борьба марксизма-ленинизма с идеологией анархизма и современность [Текст] / А.Д. Косичев.— М. : Изд-во МГУ, 1964. — 415 с.

15. **Комин, В.В.** Анархизм в России [Текст] / В.В. Комин. — Калинин : Изд-во Калининского гос. педаг. ин-та им. М.И. Калинина, 1969. — 244 с.

16. **Худайкулов, М.** Из истории борьбы большевистской партии с анархизмом [Текст] / М. Худайкулов. — Ташкент : Изд-во «Узбекистан», 1984. — 182 с.

17. **Канев, С.Н.** Революция и анархизм: Из истории борьбы революционных демократов и большевиков против анархизма (1840–1917 годы) [Текст] / С.Н. Канев. — М. : Мысль, 1987. — 328 с.

18. **Пронякин, Д.И.** Анархизм: «исторические» претензии и уроки истории [Текст] / Д.И. Пронякин. — Л. : Лениздат, 1990. 160 с.

19. **Замошкин, Ю.А.** Кризис буржуазного индивидуализма и личность [Текст] / Ю.А. Замошкин. — М. : Наука, 1966. — 328 с.

20. Звучащие смыслы [Текст]: Альманах / Сост. и отв. ред. С.Я. Левит, Л.Т. Мильская. — СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2007. — 781 с.

УДК 347.23

А.А. Тебряев

О ПОНЯТИИ «ПРАВОПРЕЕМСТВО» КАК КАТЕГОРИИ ГРАЖДАНСКОГО ПРАВА

Когда речь заходит о понятии правопреемства, эту категорию невозможно рассматривать без основания ее возникновения. Юридический факт — узловой пункт, в котором скрещиваются и из которого исходят обе главные ветви общей теории права — учения о праве объективном и субъективном. В самом деле, юридический факт является условием применения объективной нормы, но тот же юридический факт — условие существования субъективного права, т. е. его возникновения, изменения и прекращения в гражданском правоотношении. Например, смерть наследодателя есть условие применения объективных норм о наследовании и вместе с тем условие прекращения всех субъективных прав и субъективных обязанностей умершего, возникновения субъективных прав и субъективных обязанностей его наследников и изменения ряда субъективных прав и обязанностей, связанных с этим событием.

Таким образом, с точки зрения субъективного права юридический факт есть всякое обстоятельство, изменяющее правоотношение, иными словами, всякое обстоятельство, способное повлечь за собой изменения в правовой сфере лица, или, что то же, вызвать возникновение, изменение, прекращение прав либо обязанностей лица. Нельзя не согласиться с цивилистами, полагающими, «что для объективного права юридический факт есть всякое право, реализующее обстоятельство, т. е. обстоятельство, способное привести в движение норму, т. е. вызвать ее применение и установленные ею последствия» [1].

Понятие «правопреемство» отдельными авторами рассматривается с разных точек зрения, зачастую исходя из спорности определения объекта, содержания правоотношения и непременного изменения субъектного состава в таких правоотношениях.

Правопреемство как законодательный термин неоднократно используется в Гражданском кодексе Российской Федерации в статьях, определяющих реорганизацию юридических лиц, порядок их ликвидации, замену лица в обязательстве, в купле-продаже, при наследовании и др. Толкование правил в подобных случаях позволяет прийти к выводу, что законодатель при замене лиц в правоотношениях термины «правопреемство» и «переход» или передачу права отождествляет и рассматривает как взаимозаменяемые.

Само понятие правопреемства интерпретируется по-разному. Использование в законе этого и других тождественных понятий обязывает науку выявить их смысл, роль и место в гражданском праве. Критика института правопреемства продолжается и сегодня. Оценить аргументы его противников необходимо для уяснения сущности перехода права собственности, перемены лиц в обязательстве, наследования и других важных институтов гражданского права.

Рассмотрим понятие «правопреемство» исходя из спорности определения объекта и содержания правоотношения. Наиболее известные определения понятия объекта правоотношения: объекта как то, на что направлено или на что

воздействует правоотношение [2, с. 233], и как то, по поводу чего возникает правоотношение [3, с. 45]. Но и у авторов, придерживающихся одного определения объекта, нет единства в понятиях на содержательную сторону данного представления, особенно применительно к обязательственным правоотношениям. Под объектами предлагают понимать вещи [4, с. 31], любые блага, кроме действий и лиц [5, с. 140], вещи, нематериальные блага [6, с. 164] и др.

Б.Б. Черепахин отмечал, что «движение правоотношения начинается его возникновением и заканчивается его прекращением. В этих пределах правоотношение существует и действует, причем его действие может ограничиваться во времени одним моментом (например, при купле-продаже за наличный расчет), а может длиться и в течение более или менее продолжительного периода времени (например, при договоре имущественного найма). За время действия правоотношение может претерпеть то или иное изменение в содержании или в субъектном составе, сохраняя прочие свои черты, продолжая существовать в измененном виде» [7, с. 316]. В целом с таким положением согласиться невозможно. Не трудно представить, что не во всяком договоре купли-продажи действие правоотношения во времени может ограничиться одним моментом, поскольку при продаже, например, предприятия или недвижимости, отдельные правомочия собственника передаются не вместе. Прием-передача недвижимости и его государственная регистрация, сопровождающие переход правомочий владения и пользования, а позднее и правомочие распоряжения, могут быть разведены во времени. А что будет сохраняться правоотношение, если меняется его содержание, — утверждение весьма не бесспорное, с ним справедливо не согласен В.А. Белов [8, с. 22].

Что касается критики понятия правопреемства начиная с середины пятидесятых годов прошлого столетия, то она так или иначе не утихает по сегодняшний день. Хотя при этом авторы критики не отказываются в целом от института правопреемства (категории, юридической фикции в гражданском праве).

По мнению В.П. Грибанова, недопустимо использовать понятие «переход права собственности». Его доводы основываются на различии видов и форм собственности по советскому праву, где покупатель далеко не всегда получал те же полномочия, что имелись у продавца. «Изменение типа или формы права собственности при купле-продаже не приводит и не может привести к «переходу права собственности». В данном случае происходит одновременное прекращение права собственности у продавца и возникновение права собственности у покупателя» [9, с. 385]. Подобные взгляды высказывали и другие ученые [10, с. 255].

Д.М. Генкин отмечал, что преемство происходит в праве собственности как таковом, поэтому границы права могут и измениться [11, с. 127]. После провозглашения равенства всех форм собственности (ч. 2 ст. 8 Конституции РФ, п. 4 ст. 212 ГК) подобные аргументы вовсе потеряли актуальность и не используются современными противниками понятия правопреемства.

Другой довод В.П. Грибанова: совершив сделку по отчуждению имущества, продавец исчерпал свое право, которое по этой причине не может трансформироваться в право иной формы (вида) или перейти к иному лицу. Содержание права покупателя не зависит от воли сторон сделки и полностью основано на правовых предписаниях [9, с. 387].

Первое утверждение сегодня не соответствует закону. Как правильно отметил Г.С. Васильев, даже в период написания В.П. Грибановым названной работы его позиция была верна лишь отчасти. Действительно, на индивидуально-определенные вещи право собственности переходило в момент заключения договора (ст. 66 ГК РСФСР 1922 г.). Однако собственником вещей, определенных родовыми признаками, покупатель становился лишь после их индивидуализации путем передачи. Следовательно, даже в то время заключение договора далеко не всегда лишало продавца полномочий в отношении вещи. Ведь отчуждатель перестает быть собственником лишь после возникновения данного права у приобретателя (п. 1 ст. 235), что обычно связано с передачей вещи (ст. 223 ГК). До этого момента отчуждатель сохраняет все свои полномочия в отношении вещи, включая право распоряжения ей.

Второе утверждение намного ближе к истине, однако оно не подрывает учения о правопреемстве, ведь суть последнего не в возможности договориться о правомочиях собственника, а в тождестве права до перехода и после него [12]. Именно последнее утверждение берется нами во внимание.

Одним из последовательных критиков концепции «перехода прав» является В.А. Белов [8, с. 18]. Он полагает, что права не переходят, а лишь прекращаются у одного лица и возникают у другого. Вот его доводы. Во-первых, он присоединя-

ется к указанию В.А. Рясенцева на то, что права не могут перемещаться в пространстве, ибо имеют нематериальную сущность. Кроме того, любое понятие о переходе подразумевает, что существует хотя бы бесконечно малый промежуток времени, когда право никому не принадлежит, что приводит к немыслимому выводу о существовании прав без субъекта. Этот аргумент использует также М.А. Мирошникова [12, с. 16].

Представляется, что последнее утверждение далеко от истины. Никто не сомневается, что категория течения времени — абсолютна, что время невозможно остановить. Смена дат в 24 часа каждых суток не образует какого-либо бесконечно малого промежутка времени, когда прекращается один день и начинается другой, а в этом промежутке нет какой-либо даты.

Г.С. Васильев не согласен с утверждением В.А. Белова, что право невозможно передать от одного лица другому. «Следуя аргументам В.А. Рясенцева, автор повторяет и его заблуждения. Говорить о перемещении прав и обязанностей в пространстве может лишь тот, кто видит за ними реальные оковы, которыми опутан должник и которые непременно опустеют при смене обязанного лица, хотя бы на время. Однако права нельзя путать с вещами, ибо они лишены субстанции. Поскольку vinculum juris в пространстве не существует, никто не перебрасывает его из рук в руки, подобно веревке. Переход права означает лишь то, что с некоторого момента субъектом отношения считается не лицо А, а лицо Б. Поскольку переход прав совершается в чуждой времени и пространству области идеального, говорить о бесконечно малых промежутках, когда право оказывается бессубъектным, неуместно. Именно это имел в виду Б.Б. Черепахин, когда писал, что правопреемство является специальным юридическим понятием. Развивая логику критикуемых авторов ad absurdum, можно сказать, что всегда существует момент, когда право у продавца уже прекратилось, а у покупателя еще не возникло. Получается, что всегда существует промежуток времени, когда вещь оказывается бесхозяйной, что противоречит закону [12, с. 53]. С таким доводом следует согласиться.

В.А. Белов также утверждает, что «категория «передача» предполагает возможность перехода предмета передачи не только к управомоченному, но и любому иному лицу. Всякая вещь, например, может находиться как в законном, так и в незаконном обладании. Можно ли говорить, что то же происходит и со всяким субъективным правом — что оно может принадлежать как управомоченному лицу, так и не управомоченному [8, с. 18–19]? В.А. Белов сам же на заданный вопрос далее отвечает, что «очевидно нельзя, ибо сама категория «неуправомоченный» предполагает отсутствие у лица субъективного права вне зависимости от того, что какие-то обстоятельства могут свидетельствовать и об обратном. То же самое с обязанностью». Этот довод также неубедителен, ибо основан на смешении понятий. Управомоченным можно назвать или того, кому субъективное право уже принадлежит, или того, кто ожидает его получения на законном основании. В обоих случаях в качестве противоположной стороны выступает «неуправомоченное лицо», т. е. тот, у кого нет субъективного права в настоящем, либо тот, кто не может претендовать на него в будущем. Автор смешивает эти значения. Когда он пишет, что вещь может достаться неуправомоченному лицу, речь идет о втором из них. Между тем тезис, что обладатель права — всегда управомоченное лицо, подразумевает первый смысл.

Следующий довод В.А. Белова таков: субъективное право может быть либо содержанием, либо объектом права. Если верны оба варианта, «пришлось бы признать за правоотношением значение юридического факта», что вряд ли стало бы «преимуществом науки» [8, с. 16–17]. Поэтому автор выбирает первую возможность и делает вывод, что субъективное право не может быть объектом иных прав. Оно не обладает оборотоспособностью и не может переходить к другим лицам. С таким выводом не согласен Г.С. Васильев [14], полагая, что «в состав изъятых из оборота вещей входят публичные вещи. Они всегда находятся в государственной собственности и оперативном управлении (хозяйственном ведении) государственных предприятий. Не вызывает сомнений возможность их перехода к другому лицу на основании административного акта и в порядке универсального правопреемства (при реорганизации предприятий). Таким образом, существуют объекты, не обладающие оборотоспособностью, которые могут переходить к иным лицам. Поэтому утверждение В.А. Белова неверно» [15]. Мы можем присоединиться к подобному категоричному выводу не в целом, а только в части. Трудно не согласиться с мнением В.А. Белова, что «всякое субъективное право (какое точное название — «субъективное» право, т. е. право, не существующее без его субъекта) неразрывно связано с его субъектом [8, с. 18].

Чтобы показать неразрывность субъективного права с его носителем необходимо ответить на вопрос: а что же представляют собою гражданские права и обязанности, образующие юридическое содержание гражданского правоотношения и в чем их существо? «Гражданское право, входящее в содержание гражданского правоотношения, обычно именуется в литературе «правомочием» или «субъективным гражданским правом» [2, с. 105]. О.С. Иоффе отмечал, что «смысл введения в научное употребление этих терминов состоит в том, что слово «право» применяется в различных значениях. Говоря «право», мы имеем в виду в одних случаях совокупность действующих юридических норм, а в других — право, принадлежащее данному лицу как субъекту определенного правоотношения. Во избежание смешения различных понятий, выражаемых одним и тем же термином, право как совокупность норм принято именовать правом в объективном смысле (объективное право), а право, принадлежащее отдельному лицу, — правомочием или правом в субъективном смысле (субъективное право). В то же время самое выражение «субъективное право» также не должно порождать недоразумений. Субъективное право существует реально, а не только в сознании индивида. В этом смысле оно вполне объективно» [2, с. 105].

Применительно к институту правопреемства мы можем говорить только о субъективных правах конкретного индивида. Сами по себе они «переходить» к другому индивиду (правопреемнику) не могут, ибо у него возникают «свои» субъективные права в порядке правопреемства. Вместе с тем субъективные права правопреемника вытекают из субъективных прав праводателя, подобно существующей тесной связи между объективным и субъективным правом: у лица могут быть лишь такие субъективные права, которые вытекают из норм объективного права. Следовательно, самое существование того или иного субъективного права и субъективных обязанностей правопреемника зависит от характера и содержания субъективных прав и обязанностей праводателя. Но у каждого индивида (субъекта) они могут быть только свои, при этом в правопреемстве субъект меняется. Не следует забывать, что термин «правопреемство» имеет техническое (то есть специально-юридическое) значение. Он призван выразить простую мысль: преемник получает право, сущность, объект и обременения которого совпадают с теми, что были у предшественника-праводателя. Взгляд же на преемство как на прекращение одного права и возникновение другого при последовательном проведении не может повлечь отказ от понятия правопреемства вообще.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Магазинер, Я.М.** Общая теория права на основе советского законодательства [Текст] / Я.М. Магазинер // Правоведение. — 1998. — № 4. — С. 117–128.

2. **Иоффе, О.С.** Избранные труды: В 4 т. — Т. II. — Советское гражданское право [Текст] / О.С. Иоффе. — СПб.: Изд-во «Юридический центр Пресс», 2004.

3. **Красавчиков, О.А.** Гражданские правоотношения и их структурные особенности [Текст] / О.А. Красавчиков. — Свердловск. 1975.

4. **Агарков, М.М.** Обязательство по советскому гражданскому праву [Текст] / М.М. Агарков. — М., 1940.

5. **Алексеев, С.С.** Общая теория социалистического права [Текст] / С.С. Алексеев. — Свердловск, 1963. Вып. II.

6. **Толстой, Ю.К.** К теории правоотношения [Текст] / Ю.К. Толстой. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1959.

7. **Черепахин, Б.Б.** Правопреемство по советскому гражданскому праву [Текст] / Б.Б. Черепахин. — М., 1982.

8. **Белов, В.А.** Сингулярное правопреемство в обязательстве. Опыт исторического исследования, теоретической и догматической конструкции и обобщения российской судебной практики [Текст] / В.А. Белов. — М., 2002.

9. **Грибанов, В.П.** Правовые последствия перехода имущества по договору купли-продажи в советском гражданском праве [Текст] / В.П. Грибанов // Осуществление и защита гражданских прав / Под ред. В.С. Ема. — М., 2000.

10. Советское гражданское право [Текст]: В 2 ч. / Отв. ред. В.А. Рясенцев. —Ч. 1. — М., 1960.

11. **Генкин, Д.М.** Право собственности в СССР [Текст] / Д.М. Генкин. — М., 1961.

12. **Васильев, Г.С.** Преемство в праве собственности как разновидность сингулярного правопреемства [Текст] / Г.С. Васильев // Правоведение. — 2006. № 6.— С. 52–66.

13. **Мирошникова, М.А.** Сингулярное правопреемство в авторских правах [Текст] : Дисс. ... канд. юрид. наук / М.А. Мирошникова.— СПб., 2004. — С. 16.

14. **Васильев, Г.С.** Ограничения оборота вещей [Текст] / Г.С. Васильев // Правоведение. — 2006. № 1. — С. 119–122.

15. **Васильев, Г.С.** Преемство в праве собственности как разновидность сингулярного правопреемства [Текст] / Г.С. Васильев // Правоведение. — 2006. № 6. — С. 54.

ХРОНИКА СОБЫТИЙ

УДК 001:669:929

А.И. Рудской, А.Г. Морачевский

АКАДЕМИК АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ БАЙКОВ (к 140-летию со дня рождения)



Профессор Петербургского политехнического института (1903–1941) А.А. Байков внес значительный вклад в создание теории металлургических процессов, в преподавание этой научной дисциплины, выполнил обширные исследования процессовтвердения вяжущих веществ, был крупнейшим специалистом в области металлографии черных и цветных металлов.

Александр Александрович Байков родился 6 августа (25 июля) 1870 года в уездном городе Фатеже Курской губернии в семье адвоката, выпускника Петербургского университета. Вскоре семья переехала в Курск, где прошли детские годы будущего ученого. В 1889-м А.А. Байков успешно окончил Курскую гимназию. К этому времени он уже познакомился с “Основами химии” Д.И. Менделеева (3-е издание, 1877), проводил опыты в домашней лаборатории.

Осенью 1889-го А.А. Байков поступил на отделение математических наук физико-математического факультета Петербургского университета, считая по собственному опыту, что для серьезного изучения химии нужны прежде всего знания в области физики и математики, которые в недостаточном объеме преподаются на естественном отделении факультета. По существу, А.А. Байков закончил в 1893 году с дипломом первой степени оба отделения, дипломную работу он выполнил у профессора Д.П. Коновалова (1856–1929, с 1923 года академик), сменившего в 1890-м Д.И. Менделеева (1834–1907) в должности ординарного профессора неорганической химии.

Еще будучи студентом, Александр Александрович принимал самое активное участие в занятиях химического семинара (“Малого химического общества”), образованного при химической лаборатории университета, возглавляемой Д.П. Коноваловым. Начинающие химики выступали с сообщениями о работах наиболее известных ученых того времени. А.А. Байков за период с 1894-го по 1897-й сделал 15 сообщений по широкому кругу вопросов. По окончании университета Александр Александрович был оставлен в химической лаборатории университета для подготовки к научно-педагогической деятельности, в 1895 году он получил должность ассистента. В 1898-м по рекомендации Д.П. Коновалова А.А. Байков занял должность заведующего химической лабораторией в Институте инженеров путей сообщения. Лаборатория преимущественно вела исследования и испытания материалов, представляющих интерес для железнодорожного транспорта (металлы, сплавы, вяжущие вещества). В 1899 году А.А. Байков получил командировку за границу “с научной целью”. В Париже в течение весеннего семестра 1899 года он работал в Коллеж де Франс в лаборатории известного французского физико-химика профессора А. Ле Шателье (1850–1936).

Научная деятельность этого выдающегося французского ученого была исключительно многообразна и плодотворна, он был одним из образованнейших теоретиков своего времени и блестящим экспериментатором [1]. Уже с 1883 года наряду с исследованиями металлических систем и других металлургических объектов француз-

ский ученый занимался изучением свойств цементов, механизма их "схватывания". В 1884-м Ле Шателье сформулировал общий принцип смещения химического равновесия при внешнем воздействии ("принцип Ле Шателье"). В 1887-м он создал для измерения высоких температур "термоэлектрический пирометр Ле Шателье" — платино-платинородиевую термопару, в 1897 году Ле Шателье сконструировал металлографический микроскоп. А.А. Байков считал себя учеником Ле Шателье и в своих воспоминаниях отмечал, что во всех областях, которыми занимался Ле Шателье, он достигал исключительных результатов, открывал новые пути для дальнейшего научного прогресса [2, с. 227–233].

В конце XIX века одной из важнейших задач неорганической химии было изучение металлических сплавов. Это было связано с потребностями практики и появившимися, в частности благодаря работам Ле Шателье, экспериментальными возможностями. Большой интерес к сплавам как к металлическим растворам, фазам переменного состава проявлял Д.И. Менделеев. Появляющийся новый материал о сплавах он включал в очередное издание "Основ химии" (шестое издание в 1895 году, седьмое — в 1903-м). На этой почве после возвращения Александра Александровича из Франции произошло его личное знакомство с Д.И. Менделеевым [3]. В написании раздела, посвященного сплавам, в седьмом издании "Основ химии" активное участие принял А.А. Байков. Кроме того, ему было поручено написать ряд статей для "Энциклопедического словаря" Брокгауза и Ефрона, редактором химико-технического отдела которого был Дмитрий Иванович.

В период работы в Институте инженеров путей сообщения А.А. Байков сблизился с известнейшим металловедом Д.К. Черновым (1839–1921), а также с его учеником и последователем, главным металлургом Обуховского завода в Петербурге А.А. Ржешотарским (1847–1904). Все они принимали деятельное участие в работе комиссии, занимавшейся исследованием металла для производства рельсов ("Рельсовая комиссия").

При открытии в 1902 году в Петербурге Политехнического института по штатному расписанию металлургического отделения для преподавания всего комплекса металлургических дисциплин (деления на кафедры тогда не было) полагалось иметь трех профессоров. Д.К. Чернов от личного участия в работе Политехнического института отказался, порекомендовав для чтения курса металлургии стали А.А. Ржешотарского. Для замещения второй должности профессора металлургии был приглашен А.А. Байков, которому в соответствии с существовавшими правилами надо было сдать экзамены и защитить диссертацию на звание адъюнкта. Ученые степени магистра и доктора присуждались только по тем специальностям, по которым велась подготовка в университетах России. Для работы над диссертацией Александр Александрович был командирован Советом Политехнического института в ноябре 1902 года в Париж, в лабораторию А. Ле Шателье сроком на один год.

По возвращении в Петербург в конце 1903 года А.А. Байков сдал экзамены по металлургии и химии, защитил диссертацию на тему "Исследование сплавов меди и сурьмы и явлений закалки, в них наблюдаемых" (оппоненты — профессора А.А. Ржешотарский и Н.С. Курнаков) и после прочтения двух пробных лекций был утвержден Советом института в звании адъюнкта по металлургии. Сразу же после этого был избран на должность экстраординарного профессора металлургии и технической химии. В 1904-м началась многолетняя работа А.А. Байкова в Политехническом институте, которая продолжалась до декабря 1941-го с перерывом в период гражданской войны (1918–1922 гг.).

На А.А. Байкова было возложено чтение курсов общей металлургии, металлографии, металлургии цветных металлов и заведование всем комплексом лабораторией, а также лабораторию технического и горнозаводского анализа. Введение в учебные планы металлографии с выполнением соответствующих лабораторных работ было новостью не только для России, но и для других стран. Все порученные курсы А.А. Байкову, по существу, пришлось создавать заново, и с этой сложнейшей задачей он успешно справился. Высокая оценка лекциям А.А. Байкова дана в воспоминаниях его ближайшего коллеги профессора аналитической химии Д.Н. Монастырского [4].

Лаборатория А.А. Байкова, наряду с лабораториями других профессоров металлургического отделения — Н.С.Курнакова (1860–1941, с 1913 года — академик), Ф.Ю. Левинсона-Лессинга (1861–1939, с 1925-го — академик), П.П. Федотьева (1864–1934, член-корр. АН

с 1933-го) — была крупным центром научных исследований, в ней выполнялось много дипломных работ. Каждая тема дипломной работы представляла собой "... крупный вопрос металловедения и теоретической металлургии, разрешаемый при помощи оригинальной методики и часто занимающий более или менее длительный период времени" [5]. А.А. Байков приучал своих учеников работать самостоятельно, развивал у них способность к строгому научному мышлению.

8 апреля 1909 года А.А. Байков был избран ординарным профессором Политехнического института. Параллельно с основной работой он с 1906 по 1908 год состоял профессором химии в Институте инженеров путей сообщения, с 1909 по 1917-й читал лекции по технической химии на Бестужевских высших женских курсах.

В 1918 году регулярные занятия в Политехническом институте прекратились и А.А. Байков был командирован на Урал, а затем переехал в Крым, в Симферополь, где занял кафедру химии в Таврическом университете. В начале 1921 года ученый вернулся в Петроград, приступил к педагогической деятельности, занимал должности декана химического факультета (образованного в 1919-м), ректора Политехнического института (1925–1928) [6].

В 1923 года А.А. Байков был избран профессором по кафедре неорганической химии в Петроградском (Ленинградском) университете, в 1934-м — избран деканом химического факультета университета [7]. Он читал лекции по неорганической химии, технической химии, металлографии. В 1928 году А.А. Байкова избирают членом-корреспондентом АН СССР, в 1932-м — действительным членом АН СССР. С 1937 года А.А. Байков до конца жизни был депутатом Верховного Совета СССР.

В декабре 1941 года Александр Александрович был эвакуирован из осажденного Ленинграда в Свердловск, где был сосредоточен ряд учреждений АН СССР. В 1942-м он был избран вице-президентом АН СССР, принимал активное участие в мобилизации ресурсов Урала, Западной Сибири, Казахстана на нужды обороны страны.

22 марта 1943 года А.А. Байкову за "многолетние выдающиеся работы в области науки и техники" была присуждена Сталинская (Государственная) премия первой степени. 10 июня 1945 года в связи с 220-летием АН СССР ему было присвоено звание Героя Социалистического труда с вручением ордена Ленина и золотой медали "Серп и молот". А.А. Байков имел также целый ряд других высоких государственных наград. В 1944–1946 годах А.А. Байков жил в Москве, работал в Институте металлургии АН СССР.

Характеризуя свою научную деятельность, Александр Александрович писал: "Мои научные исследования относятся к области химии и касаются, главным образом, цементов и металлов. Мое внимание привлекали преимущественно технические проблемы, но к разрешению их я подходил научным путем, пользуясь научными методами и применяя научные законы для решения практических вопросов" [2, с 41–46]. На первое место в своей научной деятельности А.А. Байков ставил исследования в области вяжущих веществ, прежде всего изучение процессов затвердевания цементов. Его регулярные публикации по этой тематике продолжались с 1903 по 1937 год. Важное прикладное значение имело исследование отвердевания магнезиальных цементов. Большой цикл исследований А.А. Байкова был посвящен разрушению (коррозии) сооружений из портланд-цемента в природных водах, особенно в морской воде. В области исследований, связанных с металлами работы А.А. Байкова затрагивают как металлографию, так и металлургию. Он исследовал состав и свойства сплавов меди с сурьмой, изучил явление закалки в них, образование игольчатых структур, обнаружил полиморфизм никеля, изучал плавку меди в шахтных печах, пиритную плавку, процессы восстановления оксидов. Его круг научных интересов был очень широк.

А.А. Байков поддерживал тесные научные связи с большим числом научно-исследовательских и проектных институтов Ленинграда, был консультантом, входил в состав их ученых советов. К числу таких организаций относятся Всесоюзный институт метрологии, Институт по проектированию металлургических заводов (Гипромез), Институт металлов, Институт огнеупоров, Институт сооружений и строительных материалов, Всесоюзный институт алюминиевой и магниевой промышленности (ВАМИ).

Александр Александрович Байков скоропостижно скончался 6 апреля 1946 года на семьдесят шестом году жизни. Он похоронен в Москве на Новодевичьем кладбище. В 1952 году было издано собрание его трудов в пяти томах. Педагоги-

ческой, научной и общественной деятельности А.А. Байкова посвящено большое число статей, воспоминаний его коллег и учеников, в частности, биографический очерк Д.И. Монастырского [4], небольшая книга А.С. Тумарева [8]. Именем А.А. Байкова назван Институт металлургии АН СССР в Москве, где он работал последние годы жизни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Морачевский, А.Г.** Очерки об ученых-химиках России и зарубежных стран. XIX век и первая половина XX века [Текст] / А.Г. Морачевский.— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.— 138 с.

2. **Байков, А.А.** // Собр. трудов: Т. 1.— М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952.— С. 227–233.

3. **Байков, А.А.** // В кн.: Д.И. Менделеев в воспоминаниях современников.— М.: Атомиздат, 1969.— С. 52–62.

4. **Монастырский, Д.Н.** // В кн.: А.А. Байков. Собр. трудов. Т. 1.— М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952.— С. 9–40.

5. **Гудцов, Н.Т.** // Вестник АН СССР.— 1945. № 9.— С. 25–36.

6. **Моторина, Л.А.** // Науч.-техн. ведомости СПбГТУ.— 1999. № 2.— С. 159–165.

7. **Макареня, А.А.** Александр Александрович Байков [Текст] / А.А. Макареня, В.А. Поздышева.— Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1971.— 40 с.

8. **Тумарев, А.С.** Александр Александрович Байков [Текст] / А.С. Тумарев.— М.: Металлургиздат, 1954.— 88 с.

УДК 001:66:929

С.Е. Александров, А.Г. Морачевский

АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СЕМЕНОВИЧ КУРНАКОВ (к 150-летию со дня рождения)



Профессор Санкт-Петербургского политехнического института (с 1902 по 1930 од) Н.С. Курнаков создал в России крупнейшую научную школу химиков-неоргаников, внес большой вклад в организацию учебного процесса и научных исследований на металлургическом отделении Политехнического института.

Н.С. Курнаков родился 6 декабря (24 ноября) 1860 года в г. Нолинске Вятской губернии (ныне Кировская область) в семье отставного офицера, участника обороны Севастополя в период Крымской войны (1853–1856 годов). С 1871 по 1877 год Н.С. Курнаков обучался в Нижегородской военной гимназии, затем поступил в Горный институт в Санкт-Петербурге, одно из старейших (основан в 1773 году) и лучших в то время высших технических учебных заведений России.

По окончании Горного института в июне 1882-го Н.С. Курнаков по рекомендации профессоров К.И. Лисенко (1836–1903) и Н.А. Иоссы (1845–1916) был оставлен в Горном институте для подготовки к преподавательской деятельности. Уже летом 1882 года Н.С. Курнаков вместе с Н.А. Иоссой посетил Алтайские заводы, ознакомился с процессами выплавки меди, серебра, свинца, золота. В 1883–1884 годах молодой ученый был в заграничной командировке — в Германии, Франции, Австрии он знакомился с металлургическими и галургическими производствами, с преподаванием соответствующих дисциплин в высших учебных заведениях этих стран. Особый интерес Николай Семенович проявил к месторождениям солей и соляному делу — древнему и весьма важному промыслу.

После возвращения в Россию на основании собранных материалов Н.С. Курнаков защитил 27 октября 1885 года в Горном институте диссертацию “Испарительные системы соляных вар-

ниц" и получил звание адъюнкта по кафедре металлургии, галургии и пробирного искусства. С 1885 по 1893 год адъюнкт Н.С. Курнаков руководил практическими занятиями студентов по горнозаводскому (техническому) анализу, пробирному искусству, читал лекции по соляному делу (галургии), технологии топлива и горючих материалов, общей металлургии. Одновременно он начал цикл исследований в области химии комплексных соединений.

19 декабря 1893 года в Горном институте Н.С. Курнаков защитил диссертацию для получения звания профессора по кафедре химии на тему "О сложных металлических основаниях". Полный текст диссертации был опубликован в виде отдельного издания. Защита прошла успешно, и после чтения двух пробных лекций Н.С. Курнаков был утвержден в должности профессора Горного института по кафедре неорганической химии.

В 1894–1895 годах в течение летних месяцев Н.С. Курнаков по поручению Горного департамента изучал лечебные грязи крымских соляных озер, а также состав газовой фазы в шахтах Донецкого бассейна. В 1896 году он был назначен экспертом на Всероссийскую промышленную и художественную выставку в Нижнем Новгороде. В 1898-м Н.С. Курнаков был командирован во Францию и Германию, где знакомился с методами исследования и системами контроля взрывоопасных газов в каменноугольных шахтах. Сочетание научных исследований с решением конкретных прикладных задач было характерно для Н.С. Курнакова в течение всей его жизни.

В последние годы XIX века Н.С. Курнаков приступил к изучению природы металлических сплавов, опубликовал одну из важнейших своих работ программного характера "О взаимных соединениях металлов" (1899). Изучением металлических систем, наряду с другими работами, Н.С. Курнаков занимался до конца жизни и достиг в этой области выдающихся результатов. Первоначально исследования проводились в химической лаборатории Горного института, позднее появились новые возможности и новые сотрудники.

28 октября 1899 года Н.С. Курнаков был избран профессором физической химии Петербургского электротехнического института, где в исследованиях металлических систем активное участие принял Н.А. Пушин (1875–1947). В 1902 году Николай Семенович занял должность ординарного профессора общей химии Петербургского политехнического института, где была оборудована прекрасная по тому времени лаборатория в значительной мере благодаря усилиям С.Ф. Жемчужного (1873–1929), одного из ближайших сотрудников Н.С. Курнакова на протяжении последующих почти тридцати лет. В развернувшихся широкомасштабных исследованиях металлических систем и некоторых других объектов непосредственное участие принимали студенты Политехнического института. За период с 1907 по 1929 год в лаборатории общей химии под руководством Н.С. Курнакова и С.Ф. Жемчужного было выполнено 120 дипломных работ.

3 декабря 1907 года в связи с 25-летием педагогической деятельности Николаю Семеновичу было присвоено звание заслуженного профессора. Совет Московского университета 25 апреля 1909 года присудил горному инженеру Н.С. Курнакову степень доктора химии без защиты диссертации.

В значительной мере благодаря накопленному в Политехническом институте экспериментальному материалу Н.С. Курнаков и С.Ф. Жемчужный в 1912–1914 годах смогли сформулировать основные положения метода исследования фаз переменного состава любой природы, названного ими "физико-химический анализ".

Императорская Академия наук 7 декабря 1913 года единогласно избрала Н.С. Курнакова своим действительным членом. Это было признанием выдающихся заслуг ученого прежде всего в исследовании природы металлических сплавов. Начавшаяся 1 августа 1914 года. Первая мировая война поставила перед учеными России ряд важнейших задач. Для решения стоящих перед страной глобальных проблем по инициативе академика В.И. Вернадского была создана Комиссия по изучению естественных производительных сил России (КЕПС). Ее председателем был избран В.И. Вернадский (1863–1945), одним из его заместителей — Н.С. Курнаков. Комиссия просуществовала до 1930 года, затем была реорганизована. Для решения неотложных задач военного характера (рост производства боеприпасов, противохимическая защита и т. п.) были созданы при военном ведомстве Химический комитет, который возглавил генерал-лейтенант академик В.Н. Ипатьев (1867–1952) , один из самых выдающихся химиков первой половины

XX века, а при Русском физико-химическом обществе — Военно-химический комитет во главе с Н.С. Курнаковым. КЕПС, Химический комитет, Военно-химический комитет, решая задачи химического характера, успешно сотрудничали друг с другом, во главе этих организаций стояли, по-существу, одни и те же известные химики России.

Н.С. Курнаков со своими сотрудниками, работавшими в Политехническом и Горном институтах, в Химической лаборатории Академии наук занимался широким кругом проблем: аффинаж (очистка) уральской платины с извлечением всех ее спутников, создание сырьевой базы для алюминиевой промышленности (извлечение глинозема из тихвинских бокситов), изучение и освоение соляных богатств страны (Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей, залив Кара-Богаз-Гол, соляные озера Крыма, Прикаспийского региона, Западной Сибири). По инициативе Н.С. Курнакова в 1917–1918 годах в Петрограде создан Институт физико-химического анализа, где он был назначен директором. Николай Семенович принял также активное участие в создании Института по изучению платины и других благородных металлов, Института прикладной химии, с 1922-го ряд лет руководил ими.

Н.С. Курнаков самым активным образом участвовал в реализации программы химизации народного хозяйства страны. За научные труды по химии 19 мая 1928 года ему была присуждена премия имени В.И Ленина. В начале тридцатых годов прошлого века руководимые Н.С. Курнаковым Институт физико-химического анализа, Институт по изучению платины и других благородных металлов, Лаборатория общей химии объединяются в Институт общей и неорганической химии АН СССР. В 1934 году этот институт вместе с целым рядом других академических учреждений переехал из Ленинграда в Москву. Н.С. Курнаков остался директором института до конца жизни. В 1938–1939 годах были опубликованы в двух томах избранные труды Николая Семеновича. В 1939 году он был награжден орденом Трудового Красного знамени. В 1940-м в связи с 80-летием со дня рождения и 60-летием научной и педагогической деятельности Н.С. Курнакову было присвоено почетное звание Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР. Всесоюзное химическое общество им. Д.И. Менделеева избрало его своим почетным членом.

1 марта 1941 года Н.С. Курнакову была присуждена Сталинская премия за научные работы по физической химии и за труд "Введение в физико-химический анализ" (изд. 4-е, 1940).

Николай Семенович Курнаков скончался 19 марта 1941 г. на восемьдесят первом году жизни, он похоронен в Ленинграде на Волковом кладбище. В 1944 г. Институту общей и неорганической химии АН СССР было присвоено имя И.С.Курнакова — основателя и первого директора Института, в 1946 году были учреждены премии имени Н.С. Курнакова.

Жизни, научной и педагогической деятельности академика Н.С. Курнакова посвящено большое число работ. Наиболее обстоятельные сведения о его жизни до 1914 года содержатся в автобиографии ученого [1]. Н.С. Курнакову посвящены две монографии [2, 3], опубликована библиография его трудов [4]. Деятельности Комиссии по изучению естественных производительных сил России посвящена монография А.В. Кольцова [5], история создания и последующее развитие Института общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова Российской академии наук рассмотрены Ю.И. Соловьевым [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Курнаков, Н.С.** Материалы для биографического словаря действительных членов Академии наук: Часть I [Текст] / Н.С. Курнаков; Российская академия наук.— Петроград. 1915.— С. 374–381.

2. **Соловьев, Ю.И.** Николай Семенович Курнаков: Жизнь и деятельность [Текст] / Ю.И. Соловьев, О.Е. Звягинцев.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— 207 с.

3. **Соловьев, Ю.И.** Николай Семенович Курнаков: 1860–1941 [Текст] / Ю.И. Соловьев.— М.: Наука, 1986.— 272 с.

4. Николай Семенович Курнаков [Текст] // Материалы к биобиблиографии ученых СССР. Серия химич. наук. Вып. 30 / Вступит, статья Г.Г. Уразова и И.Н. Лепешкова.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 106 с.

5. **Кольцов, А.В.** Создание и деятельность Комиссии по изучению естественных производительных сил России. 1915–1930 гг. [Текст] / А.В. Кольцов.— СПб.: Наука, 1999.— 182 с.

6. **Соловьев, Ю.И.** Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук: исторический очерк [Текст] / Ю.И. Соловьев.— М.: Наука, 1993.— 191 с.

УДК 947.084.8:74.583(2):738.1(0.032)

И.В. Аладышкин

ПОЛИТЕХНИКИ В ГОДЫ БЛОКАДЫ
Часть 2: ПРОТОКОЛЫ ЗАСЕДАНИЙ ПАРТБЮРО ВКП(б) И ОТКРЫТЫХ ПАРТСОБРАНИЙ ЛПИ

(Из материалов Центрального государственного архива историко-политических документов)

Представленные материалы продолжают серию публикаций документов по истории института в годы блокады Ленинграда, хранящихся в фондах Центрального государственного архива историко-политических документов (ЦГАИПД). Опубликованный в прошлом номере комплекс заявлений и писем сотрудников института в партийные органы ЛПИ свидетельствовал в первую очередь о настроениях и частных проблемах в работе и жизни политехников в блокадные годы. Материалы же настоящего номера характеризуют состояние материальной части института, условия жизни и каждодневного труда политехников, а также дают информацию о кадровом составе института.

Известные ограничения объема публикации и специфика предлагаемых вашему вниманию документов, представляющих собой, как правило, стенограммы заседаний парторганизации института (с характерным для них значительным объемом, обилием в отчетной документации малоинформативной, второстепенной информации, в основном официально-пропагандистского толка), предопределили необходимость их сокращения. Целесообразной оказалась публикация не полнотекстовых документов, а лишь выдержек из них. Все же может показаться, что данные материалы перегружены частными примерами и незначительными деталями, но подчас именно они, а не общие цифры, показатели и пр. позволяют приблизиться к верному пониманию тех условий, в которых жили и работали сотрудники ЛПИ в блокадном Ленинграде. Необходимо отметить, что в ряде случаев фамилии пришлось опустить, ввиду резкой критики профессиональной деятельности тех или сотрудников института. Все сноски приведены в конце статьи.

Предварительные сведения

Публикуемые документы относятся к периоду с мая 1942-го по январь 1943 года, когда планомерные учебные занятия были уже приостановлены (с осени 1941-го), а главными задачами стали налаживание научно-производственной работы, направленной на укрепление боеспособности войск страны, и сохранение материальной части института. Происходит резкое сокращение штата работников института ввиду эвакуации (январь—сентябрь 1942 года), мобилизации и ухода добровольцами в ряды РККА, перехода на работу в промышленность. В результате к середине декабря 1942 года в ленинградской части ЛПИ остались задействованы лишь 418 человек (профессоров и академиков — 4 человека; доцентов — 9, ассистентов — 8, рабочих и служащих — 397). Уже вследствие первой, наиболее тяжелой блокадной зимы 1941—1942 годов учебные здания института, лаборатории и кабинеты серьезно пострадали; вышли из строя отопительная система, водопровод, канализация, энергетическое хозяйство. Большинство зданий института были законсервированы. Соответственно с весны 1942 года развитие получили работы по восстановлению материальной части института. С 1942 года возобновилась работа механической мастерской, литейной лаборатории, лаборатории аналитической химии, физической химии, общей химии, электрометаллургии цветных металлов, радиофизики, аэродинамики. Тогда же началось восстановление на территории института культурно-бытовых учреждений: бани, прачечной, парикмахерской, сапожной мастерской, функционировали красные уголки и две столовые. Различным аспектам восстановительных работ, развернувшихся в 1942-м, и посвящены приведенные ниже документы.

Из Протокола № 7 Заседания Партбюро ВКП(б) Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина от 23 мая 1942 г. [1, л. 9]

Слушали: О работе механических мастерских (докл<адчик> Павлов Я.М.[1]).

Пуск мастерских задерживается из-за отсутствия кадров. В данное время в мастерских имеется всего несколько человек квалифицированных рабочих, предполагаем возвратить ряд товарищей, ушедших из мастерских зимой, неквалифицированных людей нужно набирать. Цех № 1 имеет в настоящее время 16 чел<овек> и может нормально работать при условии, что будет обеспечен трехдневным запасом заготовок и инструментов.

Цех № 2 находится в готовом состоянии к пуску, за исключением небольшого ремонта, в котором нуждаются некоторые станки. Эту работу необходимо закончить в ближайшие дни. Мерительный инструмент предполагаем получить на заводе, а в дальнейшем будем производить своими силами. Для пуска цеха № 2 требуется 4 токаря, фрезеровщик, 2 инструментальщика и 15 чел<овек> станочников. Людей по указанию райкома можно получить на 10 хлебозаводе. Там мы были, но там никого не нашли. На Кр<асной> Заре[2] тоже пока никого не нашли. Завтра снова поедем на з<аво>д Кр<асная> Заря и попытаемся найти людей.

В цехе № 3 на сегодня имеется один Шипицын[3] и один токарь, остальные больны. О других цехах сейчас не приходится говорить, т<ак> к<ак> надо сейчас укомплектовать и пустить цеха № 2 и 3.

Вопросы: Обращались ли в Райком по вопросу о переброске в Ин<ститу>т кадров?

Да, обращался, но Райком предлагает готовить их самим или искать самим.

[1] Павлов Яков Михайлович (1898 — ?), кандидат технических наук, член ВКП(б) с 1923 г. В 1925–1930 годах студент ЛПИ, затем оставлен в аспирантом. В годы войны — доцент кафедры начертательной геометрии и графики ММФ, возглавлял механические мастерские. В 1942-м вместе с семьей эвакуирован из Ленинграда. После войны работал в институте зав. кафедрой начертательной геометрии и графики [2, л. 28; 3].

[2] Ленинградский телефонный завод "Красная Заря". В 1941–42 годах оборудование предприятия эвакуировано, на его базе развернуто производство военной телефонии в Уфе, Москве, Перми. Завод возобновил деятельность в Ленинграде в 1943 году.

[3] Личность не установлена.

Из Протокола № 12 заседания партбюро ВКП(б) Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина от 3 июля 1942 г. [1, л. 23]

Доклад о ходе выполнения трудповинности по институту (докладчик В.П. Гурьев[1]).

На 6-е июля числится в институте 510 чел <овек>; больных — 130 чел<овек>; инвалидов, МПВО, дежурных и т. д. — 166 чел<овек>; д<олжно> б<ыть> отмобилизовано, включая сюда матерей с детьми до 8 лет и стариков — 224 чел <овек>. Освобождено дирекцией института для работы на своих участках 59 чел<овек>. Должны являться на работу 168 чел<овек>, является от 105 до 140 чел<овек>, т<о> е<сть> не выходят от 60 до 25 чел<овек>. Особенно плоха дисциплина по цеху № 2. В цеху № 1 не выходят, якобы они работают на своей основной работе вечерами, % явки по другим отделам тоже низок. Нач<альни>ки отделов и цехов коммунисты не возглавляют этого дела и не борются за дисциплину.

Секретарь Партбюро ВКП(б) Ленинградского политехнического института (Евсиков[2]).

[1] Гурьев Виктор Павлович (1904–1964), член ВКП(б). В 1931 году был избран доцентом Ленинградского электромеханического института (в дальнейшем ЛПИ). В 1941-м защитил диссертацию кандидата технических наук, в 1944 году присвоено звание доцента. Награжден правительственными наградами: медалями "За оборону Ленинграда" (1943), "За доблестный труд в Великую Отечественную Войну" (1946), "В память 250-летия Ленинграда" (1957) [4].

[2] Евсиков Михаил Андреевич (1898–?), член ВКП(б), ассистент кафедры Электрооборудования предприятий. С апреля 1942-го секретарь партбюро института [2, л. 15].

Из Протокола заседания Партбюро ВКП(б) ЛПИ им М.И. Калинина от 14 сентября 1942 года [1, л. 38–39]

Слушали: I. О состоянии военно-воздушной охраны[1].

В охране 55 человек, состав пожилой, по состоянию здоровья не совсем удовлетворительный. Проведено укомплектование начальников

смен за исключением одной. Договор по соцстрахованию заключен в августе. Трудповинности из всего состава — 18 чел<овек>, из них 5 чел<овек> работают на оборонных работах и 1 чел<овек> на лесозаготовках. Полностью все посты не закрываются из-за недокомплекта охраны, закрываются 9 постов. В некоторых случаях приходится снимать посты для установки новых (снимается пост с огородов и устанавливается на сломку домов).

Проведено обучение винтовке в двух сменах, обучение проводит один инструктор, нач<альник> смены Ежкин[2] ей помогает. Обучение до конца не доведено. Оружие, используемое на постах, почищено, неиспользуемое оружие еще не чищено. Наиболее напряженное положение имеем с охраной огородов, где идет хищение. Составляем акты и направляем в отделы милиции, но большинство из них остается без движения, объясняется это незначительностью преступления. В составе охраны имеются люди недобросовестные с точки зрения сохранения социалистической собственности[3].

Вопрос. (В. Гурьев): — Почему не бываешь в сменах, смены не видят нач<альника> ВВО во время работы?

Ответ: При сменах бывал, но не всегда.

Вопрос. (Вайнер[4]): — Обучаете ли стрельбе из винтовки?

Ответ: Да, обучаем в неустроенном механ<ическом> корпусе и на постах.

Вопрос. (Сердюков[5]): — Все ли оружие на учете, по докладу в охране все хорошо, все благополучно, недостатков нет.

Ответ: Все оружие на учете, недостатки, конечно, есть.

Прения:

Байкин[6]: Обход постов, не говоря уже о ночных постах, начальник охраны не проводил. Обходов зданий ... также не производил и состоянием внутри зданий не интересовался, в результате кабинеты механического фак<ульте>та (II корпус) открыты, разграблена лаборатория Татаринова[7], вскрыта и кой что похищено из спецлаборатории. При обходе ночью с 13 на 14 сент<ября> поста у I и II корпуса не оказалось, хотя этот пост охраняет склад и др<угие> важные пункты. Недобросовестных людей снимает с охраны огородов[8], а через некоторое вр<емя> вновь назначает (д<ля> охраны конбазы и огородов). Актов на нарушения в милицию не передает. Состояние оружия исключительно запущено. За последнее время участились случаи хищения (спецлаб<ратория>, кабинеты механ<ического> фак<ульте>та), что свидетельствует, что с охраной, бдительностью обстоит дело хуже, чем раньше. ... не проявил ни интереса к работе, ни желания работать. В вечернее время ... в охране не бывает, а днем — большую часть времени или дома, или обедает. Казалось бы, что раз ... никакой другой работы не ведет, он д<олжен> был поставить дело охраны на должную высоту. Парк находится в отношении охраны в беспризорном состоянии, щели укрытия не охраняются и разрушаются, обходных постов нет.

Постановили: Заслушав доклад тов<арища> ... о состоянии дела в военно-вооруженной вахтерской охране ЛПИ, партбюро устанавливает, что приказ дир<екто>ра Инст<иту>та об улучшении постановки дела в Охране до сих пор не выполнен, предупреждение и требование сделанное со стороны партбюро ЛПИ тов<арищу> ... об улучшении дела охраны в ин<ститу>те так же не выполнено, состояние охраны на сегодняшний день не только не улучшилось, но даже ухудшилось (оружие не чистится, бойцы не инструктируются и не обучены владению оружием, посты нач<альни>ка ВВО ... не проверяются), тов<арищ> ... своей работой в охране не обеспечил постановку таковой на должную высоту. Партбюро постановляет:

1. Считать необх<одимы>м снять т<оварища> ... с работы Нач<альни>ка ВВО.

2. Предложить дирекции принять меры к устранению имеющихся недостатков в ближайший период.

3. Поручить тов<арищу> Вайнеру и Байкину доп<олнитель>но проверить работу т<оварища> ... как коммуниста.

Секретарь партбюро ВКП(б) М. Евсиков.

---

[1] Фамилия докладчика, начальника ВВО института, не публикуется ввиду резкой критики его деятельности.

[2] Личность не установлена.

[3] Фамилии не публикуются.

[4] Вайнер Владимир Александрович (1897–1964), член ВКП(б) с 1915 года. В 1929 году В.А. Вайнер окончил ЛПИ по специальности инженер-механик-теплотехник. С 1929 по 1942 года работал заместителем декана энергомашиностроительного факультета. С 1934 г. В.А. Вайнер занимал

в ЛПИ посты заместителя, затем начальника научного отдела, а с января 1936-го — заместителя директора по административно-хозяйственной части. С сентября 1938 года он стал начальником Бюро ТЭЦ, с сентября 1940-го — начальником ОГМ. 10.09.1941 назначен и.о. директора ЛПИ, а с 19.02.1942 вновь вернулся к исполнению обязанностей главного механика и оставался на данной должности до октября 1944-го. Далее работал ассистентом на энергомашиностроительном факультете [5; 6, с. 82–84].

[5] Сердюков Сергей Андреевич (1904–1988), член ВКП(б) с 1927 г. В 1927–1932 годах — студент ЛПИ, в 1932–1938 гг. — аспирант на кафедре паровых турбин ЛПИ. С 1936 года — секретарь парткома факультета энергетического машиностроения, с 1937-го — член парткома ЛПИ и член Выборгского райкома ВКП(б). Директор ЛПИ с 19.02.1942 по 26.08.1944. Далее работал в ЛПИ ассистентом до 1947 года. Награжден медалью "За оборону Ленинграда" [2, л. 30; 1, л. 45; 5; 6, с. 84–88].

[6] Байкин Алексей Климович, член ВКП(б). В сентябре 1941 года, будучи ассистентом, получил ранение на оборонных работах. С 1942-го возобновил преподавательскую деятельность в институте и возглавил военно-вооруженную охрану ("вооруженно-вахтерскую охрану") и штаб МПВО. Член партбюро ВКП(б). В 1944 г. был председателем огородной комиссии [2, л. 4].

[7] Имеется в виду спецлаборатория электрических измерений неэлектрических величин ЛПИ, которую после эвакуации старшего научного сотрудника Н.И. Штейнбока возглавил В.В. Татаринов.

[8] Фамилия не публикуется.

Из протокола заседания Партбюро ВКП(б) ЛПИ им. М.И. Калинина от 25 сентября 1942 года [1, л. 40–42(об)]

Доклад А.К. Байкина, начальника штаба ПВО, о состоянии ПВО объекта.

Начал вести работу в разгар эвакуации, поэтому первым делом пришлось заниматься пополнением и обновлением команд ПВО на объекте. К настоящему времени состав команд заполнен по штату в 63 человека, утвержденному штабом ПВО р<айо>на. Обучение и тренировки за это время не проводились. Дежурство по командам несутся только ночью, так как днем по условиям занятости на работе нельзя почти никого привлечь. Состав оперативных работников Штаба (пом<ощник> нач<альника> Штаба) тоже обновлен и не обучен. В ближайший период необходимо начать обучение команд. Спецхимлаборатория до сих пор не приведена в боевой порядок, задержку в разрешении этого следует отнести за счет пассивности нач<альника> спецхимлаборатории[1]...

Имеются 4 газоубежища, которые с избытком покрывают потребности Ин<ститу>та, требуется в двух из них провести кое-какие работы. Щели находятся в плохом состоянии, так как они были сделаны наспех, непрочно, поэтому за исключением примерно 10 штук, разрушены, разрушены в значительной степени танковой частью. Надо будет уточнить со Штабом р<айо>на о количестве щелей к сохранению. Надобности, вообще говоря, в них нет.

Группа самозащиты сформирована, но к занятиям еще не приступали. Необходимо привести в порядок инвентарь и хоз<яйст>во Штаба в порядке инвентаризации.

Особенно следует отметить, что руководящий состав Ин<ститу>та (нач<альники> отделов, маст<ерски>х и лабор<атори>й) недооценивают значения службы ПВО и создают всяческие затруднения в работе ПВО.

Постановление партбюро ВКП(б) от 25 сентября 1942 г. по докладу тов<арища> Байкина о состоянии ПВО объекта.

Заслушав и обсудив доклад Начальника Штаба ПВО тов<арища> Байкина о состоянии ПВО Института (за исключением противопожарной охраны), партбюро отмечает:

1. На объекте имеются команды: химическая, управления, аварийно-восстановительная, медико-санитарная — в количестве 63 человек, штатный состав которых утвержден Штабом ПВО района.

2. Означенные команды личным составом укомплектованы.

3. Укомплектован руководящим составом Штаб объекта.

4. Оснащением для команд объект обеспечен.

5. Создана группа самозащиты, по списочному составу в количестве 235 человек.

6. Для укрытия имеются 4 газоубежища, имеющие мелкие недоделки и не снабженные фильтрами, и щели.

Вместе с тем партбюро отмечает следующие недостатки:

1. Хотя команды личным составом и укомплектованы, однако ввиду эвакуации состав обновился и требует тщательной работы по его подготовке. В летнее время состав не обучался.

Поэтому команды являются в основном необученными и для работы не подготовленными.

2. Тренировочных учений на объекте не проводилось.

3. Занятий с группой самозащиты совершенно не проводилось и группа самозащиты не работает.

4. Руководящий состав Штаба объекта (помощники Начальника Штаба) обновлен в связи с эвакуацией, также по существу не обучен.

5. Из 4-х газоубежищ ни одно не имеет установленных химфильтров, одно из них затоплено, а другое (№ 8) имеет крупные недоделки.

6. Щели-укрытия, предназначенные для обслуживания населения площади Института, не сохраняются и разрушаются.

7. Помещение для команд на зиму не подобрано.

8. Имеющаяся спецхимлаборатория к работе в зимних условиях не подготовлена, помещение не просушено, нет титана для получения горячей воды, установка куба для получения дистиллированной воды не закончена.

9. Бойцы команд не всегда и не все являются аккуратно на дежурства в командах. Начальники отделов и лабораторий не всегда с должным сознанием относятся к несению службы ПВО объекта.

Поэтому партбюро считает, что объект к противовоздушной защите в должной мере не подготовлен и предлагает:

1. В срочном порядке дополнить команды новым составом сверх штата и приступить к его обучению. Проводить тренировочные учения на объекте.

2. Подготовить помещение для команд с учетом перевода их на казарменное положение.

3. Затопленное газоубежище № 7 в ближайший период привести в порядок, устранить недоделки в 8-м газоубежище. Установить имеющиеся на объекте химфильтры.

4. Организовать охрану щелей-укрытий.

5. Особое внимание уделить по приведению в боевую готовность Спецхимлаборатории.

6. Наладить несение дежурства бойцов команд на объекте.

7. Рассредоточить дегазационный материал, инвентарь и оборудование таким образом, чтобы можно было при необходимости удобно и быстро им воспользоваться при защите объекта.

[1] Фамилия не публикуется.

Из Протокола заседания Партбюро ВКП(б) Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина от 20 ноября 1942 года [1, л. 65(об)–66(об)]

Слушали: Вопросы бытового обслуживания рабочих и служащих института (Кельзон[1], Отто[2]).

С питанием части рабочих и служащих дело обстоит явно неудовлетворительно, даже нетерпимо, часть из них фактически лишены возможности в последнее время обедать. В настоящее время решение висит и затягивается Трестом столовых района.

Прачечная работала до ноября плохо, не было света и воды. В настоящее время свет есть, но воды ОГМ (отдел главного механика — <прим. авт.>) до сих пор не дает. При прачечной организуется починка белья.

Баня треста работает, но там женщинам попасть очень трудно, так как она обслуживает в основном военных; необходимо будет починить душ в литейной лаборатории.

Детсад полностью удовлетворяет потребности сотрудников института и работает вполне удовлетворительно.

Красные уголки и бытовые комнаты находятся в стадии организации; сан<итарно>-быт<овые> комиссии до сих пор не работали, сейчас это все создано заново.

Снабжение дровами идет неудовлетворительно, значительная часть сотрудников не получила дров.

Шухман[3]: Как видно из доклада, соц<иально>-быт<овой> сектор не решил основных бытовых вопросов, необходимо их решить быстрее, в частности надо в дополнение к сказанному радиофицировать институт и устроить общежитие для сотрудников на случай задержки их в ин<-ституту>те.

Гурьев: Согласен, что надо пустить в работу баню, организовать общежитие, провести намеченные мероприятия. Дров заготовлено очень мало. Список на получение дров составлен. Думаем давать некоторым и транспорт для отвозки их, а также помочь в распиловке. Соц<иально>-быт<овой> сектор работает слабо, там работает один Кельзон, он загружен, необходимо его укрепить.

Повх[4]: Бытовыми вопросами сотрудников институт не занимался. Нужно, чтобы основные бытовые вопросы решались дирекцией. Положение со столовой является нетерпимым. Во вновь орга-

низуемом буфете нужно поставить обслуживание культурно. Клубную работу нужно улучшить за счет организации самостоятельной работы.

Постановили:

1. Считая положение с питанием части работников института совершенно нетерпимым, настаивать перед Трестом столовых о скорейшем открытии буфета во вновь отведенном помещении.

2. Считать необходимым пуск душа-бани в Литейной лаборатории для работников института не позднее 10 декабря (исполнитель — ОГМ).

3. Обеспечить бесперебойное снабжение водой организованную прачечную (исполнитель — ОГМ, срок — 10.12.42 г).

4. Обязать директора Клуба Ученых открыть парикмахерскую не позднее 7-го декабря 1942 г.

5. Считать необходимым организацию починочной мастерской не позднее 15.12.42 г., а также общежития гостиничного типа, к этому же сроку.

6. Восстановить не позднее 15.12. работу радиотрансляционных установок по институту.

7. Создать бытовые комнаты — красные уголки при след<ующих> домах: 3-е общежитие, Красный дом, 1-й профессорский дом и на Приютской ул. д. 3/5. Культпропу (партийный работник, ведавший агитацией и пропагандой — <прим. авт.>) прикрепить к ним агитаторов, а МК (местком — <прим. авт.>) обеспечить их газетами и текущей литературой.

8. АХО (административно-хозяйственный отдел — <прим. авт.>) воссоздать санитарно-бытовые комиссии при жилых домах и повседневно ими руководить.

9. Выдать в ближайшие дни дрова рабочим и служащим, работавшим на сломке домов.

10. Обязать МК выявить нуждающихся в дровах рабочих и служащих, престарелых, инвалидов, семьи красноармейцев, занятых на оборонных работах, и поставить вопрос о снабжении указанных категорий работников дровами из централизованного фонда.

[1] Кельзон Анатолий Саулович — доцент кафедры теоретической механики физико-механического факультета ЛПИ (1934–1951). В годы ВОВ состоял в рядах Красной Армии, участвовал в боевых действиях на Ленинградском и Закавказском фронтах. В 1942 году — начальник социально-бытового сектора по эвакуации ЛПИ, возглавлял комиссию по эвакуации, руководил отправкой эшелонов. Затем вернулся в действующую армию. Далее работал в Ленинградском Высшем инженерно-морском училище [7, с 148; 8, с. 581].

[2] Видимо, Отто И.Г. — член ВКП(б), член партбюро. В 1942-м стояла во главе административно-хозяйственного отдела.

[3] Шухман М.К. — доцент, член ВКП(б). В 1942 году стоял во главе механических мастерских.

[4] Повх Иван Лукич (1909–1997), член КПСС с 1929 года, профессор, чл.-корр. АН УССР. Высшее образование закончил в ЛПИ (1934–1938) на физико-механическом факультете. Работал в ЛПИ с 1934-го. В 1940-м — старший лаборант, ассистент лаборатории аэродинамики. В октябре 1941 года отправлен на фронт политбойцом, ранен. Вследствие мобилизации с 1941 года — и.о. доцента физико-механического факультета, возглавлял лабораторию аэродинамики в годы войны. В период блокады Ленинграда принимал непосредственное участие в восстановлении института и руководимой им лаборатории, также в 1942 году был культпропом партбюро ВКП(б) института и некоторое время возглавлял лабораторию адсорбации. В 1943-м защитил диссертацию кандидата технических наук, в 1944–51 годах — доцент кафедры профессора Л.Г. Лойцянского на физико-механическом факультете. Как участник ВОВ награжден орденом "Красной Звезды", медалями "За оборону Ленинграда", "За доблестный труд", "За победу над Германией" [8; 4, с. 606–607; 9, кн. 1, с. 82; 10, с. 61, 116, 126].

Из Протокола заседания партбюро ВКП/б Ленинградского политехнического института имени М.И. Калинина от 20 ноября 1942 года [1, л. 58–58(об) и 60–64]

Выступления (по докладу Комиссии по обследованию столовой Клуба ученых (докладчик М.К. Шухман — <прим. авт.>):

Кельзон: Отношение зав<едующего> столовой к контролирующим столовую организациям явно нездоровое. В Центральном Доме ученых в этом отношении дело поставлено очень хорошо. Например, там в присутствии Столовой комиссии устанавливается выход продукции по крупе, благодаря чему там столующиеся получают нормальные порции. Некоторые из научных работников нашего района стремятся ездить туда обедать. Кроме того, там дают без выреза талонов компот. Хотя наша столовая и столовая Центр<ального> Дома ученых находятся в отношении снабжения в совершенно одинаковых условиях, в последней качество лучше, а количество пищи дается больше.

Зав<едующая> Столовой[1], как ни странно, не желает иметь контроль и всеми способами пытается от него избавиться. Наши попытки к улучшению питания наталкиваются на кон-

серватизм зав<едующей> столовой, например, вопрос снабжения через столовую овощами потребовал месяц для выяснения, хотя это можно было сделать очень быстро.

Пропускная способность столовой гораздо больше, чем она пропускает сейчас при том же штате. С этой точки зрения имеется возможность питать в этой столовой всех остальных (250 чел<овек>) рабочих и служащих института. Когда этот вопрос был поставлен, то зав<едующая> столовой заявила, что тут будут ходить грязные и плохо одетые товарищи, что она считает неудобным для столовой научных работников.

Тогда мы отвели отдельное помещение с тем, чтобы кухня снабжала этот вновь организуемый буфет. Однако вновь встретились с явным нежеланием. Причина, по-моему, в том, что имеется боязнь лучшего, чем сейчас, контроля за работой столовой по общему столу, который будет организован институтом. Теперь же за общим столом фактически контроля нет, ввиду того что контингент столующихся сборный.

Следует отметить также, что ни зав<едующая> столовой, ни директор Клуба ученых не явились на сегодняшнее заседание, хотя были своевременно приглашены.

Янг[2] (председатель столовой комиссии): По выделении нас в Столовую комиссию мы рьяно взялись за работу, но встретились с упорным сопротивлением зав<едующей> столовой. Договаривались по целому ряду вопросов (например, о контроле за выходом продукции, о выносе продуктов работниками столовой из помещения столовой), но на следующий день зав<едующая> столовой заявила, что трест не разрешает делать по этой договоренности. Отношение зав<едующей> столовой к контролю явно ненормальное. Ставили этот вопрос на Совете Клуба, где было условлено, что надо поехать в трест за указаниями. Она затягивает с поездкой и, наконец, заявила, что она ездила, привезла инструкцию, а нам ехать незачем. Приезжающие из Треста представители не помогают в работе Комиссии. Нашу Комиссию просто игнорируют. Необходимо уточнить положение Комиссии и устранить раз и навсегда недоброжелательное отношение к работе последней.

Заслушав сообщение Комиссии по обследованию столовой Клуба ученых в Лесном при Ленинградском политехническом институте имени М.И. Калинина, партбюро отмечает, что столовая обслуживает научных работников целого ряда институтов, расположенных в Лесном, которые в подавляющем большинстве своем находятся на рационном питании, и с этой точки зрения имеет большое значение для удовлетворения их бытовых нужд.

Партбюро отмечает следующие существенные недостатки, которые в значительной степени ухудшают работу столовой:

1. Руководство столовой игнорирует деятельность общественного контроля, лишает возможности продуктивной работы, а Трест столовых, не имея до сих пор четкого положения о комиссиях рабочего контроля, не помогает в работе последнему.

2. Имели место недопустимые недодачи питающимся на рационе нормированных продуктов, полагающихся по нормам (мясо: за 07<.42> — 50 гр. и за 09<.42> — 105 гр.; масло за 09<.42> — 101 гр.).

3. Отсутствует учет выдачи ненормированных продуктов столующимся.

4. Администрация столовой не реагирует на пожелания столующихся, излагаемых в книге пожеланий (например, установка контрольных весов).

5. Столовая имеет большую, чем в настоящее время, пропускную способность при том же штате и имеет возможность обслуживать на общем столе не только 100–120 чел<овек>, как это практикуется в последнее время, а всех работников ЛПИ, выполняющих оборонные работы, вынужденных питаться в столовых вне площадки института, что создает нездоровые отношения и озлобление.

Партбюро постановляет:

а) Отмеченные факты в докладе комиссии требуют серьезного расследования прокуратуры и треста столовых, почему и передать материалы обследования этим организациям.

б) Поставить перед администрацией столовой вопрос об устранении всех отмеченных недочетов, а перед трестом — о коренном изменении отношения к рабочему контролю.

в) Признавая правильным целевое назначение столовой — в основном для обслуживания научных работников Лесного района, вместе с тем партбюро считает целесообразным увеличить контингент питающихся на общем столе, удовлетворив потребности в этом отношении Политехнического института имени М.И. Калинина, организовавшего специальный буфет.

Итоги работы Комиссии по проверке работы столовой при Клубе Ученых в Лесном.

Партийное бюро и местком при Ленинградском Политехническом институте им. М.И. Калинина поставили перед Комиссией задачу выяснить, как столовая обслуживает питающихся на рационе и какова пропускная способность столовой.

Нормы и их выдача.

Существующие нормы для питающихся на рационе установлены с августа месяца следующие:

Нормированные продукты:

1. Мясо	1850 г
2. Крупы	2000 г
+ овощей	1600 г
(эквивалентно 3200 г. крупы)	
3. Жиры	1555 г
4. Сахар	900 г
5. Соль	662 г

Ненормирован<ные> продукты:

1. Шрот	5150 г
2. Казеин	50 г
3. Дрожжи	50 г
4. Желе	300 г
5. Компот	360 г
6. Сахарин	1,2 г
7. Картофельная мука	90 г

При проверке по бухгалтерским данным оказалось, что: 1) за август месяц питающимся на рационе не додано на каждого 50 граммов мяса; 2) за сентябрь месяц не додано на каждого: мяса — 105 г, масла — 101 г.

Установить расход ненормированных продуктов за август и сентябрь месяцы оказалось невозможным, так как соответствующего учета не было.

Комиссия констатирует, что бухгалтерский учет поставлен небрежно и ведется таким образом, что любые исправления вносятся без соответствующих актов, простым перечеркиванием и исправлением цифр, подчас несоответствующих действительности.

Комиссия не в состоянии дать подробный анализ постановки всей бухгалтерской отчетности, так как администрация столовой разрешила пользоваться лишь частью документов.

Комиссия отмечает, что выход мяса, как правило, составляет 23 грамма из отпускаемых 50 граммов, независимо от качества мяса. Так как под мясом проходит ветчина, свинина, баранина, солонина и т. п., такое положение следует считать явно неудовлетворительным.

Ассортимент блюд чрезвычайно однообразен. Так, например, из 9 названий на завтрак всегда имеется только одно. Точно так же обстоит дело с ассортиментом блюд на вторые в обед и на ужины.

---

[1] Фамилия не публикуется.

[2] Скорее всего — опечатка и подразумевается Ягн Юлий Иванович (1895–1977), доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Окончил ЛПИ в 1921 году и был оставлен в нем для преподавательской работы на кафедре сопротивления материалов ФМФ. Заведовал этой кафедрой с 1946 по 1972 год. [4, с. 893].

Из Протокола № 12 Общего открытого партийного собрания ЛПИ им. М.И. Калинина от 8 дек<абря> 1942 г. [12, л. 55–56]

Слушали: О бытовых условиях. Сообщение директора ЛПИ Сердюкова С.А.

Тов. Сердюков конкретно остановился:

О сапожной мастерской. Необходимо дать учеников имеющемуся сапожнику.

О парикмахерской, начала функционировать.

О сохранении жилого фонда, соблюдении правил санитарии и противопожарных мерах.

Комиссией установлен ряд безобразных фактов (грязь, колка дров в квартирах, нахождение дров в жилых комнатах и т. д.), которые необходимо немедленно уничтожить. Нужно радиофицировать все жилые дома Ин<ститу>та.

Обеспечение дровами всех сотрудников Ин<-ститу>та. Дровами обеспечены почти все сотрудники. Нужно всему коллективу взяться за проведение всех указанных мероприятий, для быстрейшего выполнения указанных мероприятий.

Вопросы: Почему не радиофицирован 2-ой Проф<ессорский> Дом?

Ответ: Нужно много материала и технических сил, которых в Ин<ститу>те нет.

Высказывания:

Тов<арищ> Ечеистова[1]: Указывает на плохое оборудование в душевой: текут баки, необходимо срочно проверить их. Со столовой дело обстоит хорошо, за исключением котлов, которые необходимо проверить Санинспекции. В прачечную необходимо срочно подвести воду. В сапожной мастерской отсутствует материал для ремонта обуви. Для сотрудников, живущих в городе, будет оборудована бытовая комната в I-м Проф<ессорском> доме.

Тов<арищ> Вайнер: Вопросы бытового обслуживания трудящихся имеют колоссальное значение в настоящее время. Плохо дело обстоит со столовой, что влияет на производство труда

Меню на 28.12.42:

Вес,		Крупа	Мясо	Масло	Цена
500	Суп фасоль с маслом на мясном отваре	20	–	–	1–60
160	Ризотто на мясе	20	100	5	2–35
55	Ветчина б<ез> гарнира	–	100	–	1–75
270	Каша комбинирован. горох с пшеном, с маслом	40	–	10	–75
260	––«–– б<ез> масла	40	–	–	–20
300	Компот	пр. № 23	–	–	–70
	Рацион 1 кат<егории>				
100	Сырники жареные	№ 95	–	–	1–
200	Компот	№ 36	–	–	–70
	Обед:				
500	Суп фасоль из ветчин<ного> отвара	№ 98	–	–	1–60
250	Каша комбиниров<анная>	40	–	–	–30
55	Ветчина б<ез> гарнира	–	100	–	1–75
	Ужин:				
250	Овощи тушёные	№ 97	–	–	1–
300	Компот	№ 35	–	–	–70
	Рацион 2 категории				
	завтрак				
100	Сырники жареные	№ 85	–	–	1–
200	Компот	№ 35	–	–	–70
	Обед:				
500	Суп фасоль из ветчин<ного> отвара	№ 85	–	–	1–60
250	Каша комбиниров<анная>	40	–	–	–30
	Ужин:				
250	Овощи тушёные	№ 57	–	–	1–
300	Компот	№ неразб	–	–	– 70

рабочих и служащих. На эксплуатацию водопровода и канализации нужно обратить особое внимание, ибо есть неблагополучные места: нет отопления, люди не следят за работой водопровода и канализации в домах. В прачечной будет вода в скором времени, только нужно подготовить отопление. В ОГМ не хватает рабочих рук, что может повлиять на выполнение сроков работ.

Тов<арищ> Козырев[2]: О радио. Необходимо провести радио в первую очередь в Красные уголки, а так же необходимо устранить недостатки проводки, которая находится в плохом техническом состоянии. Нужно в административном порядке привлекать нарушителей эксплуатации водопровода и канализации.

[1] Ечеистова Нина Васильевна, беспартийная, преподаватель кафедры иностранных языков. В 1942 году — заведующая стационаром научных работников ЛПИ, а после его ликвидации назначена директором (начальником цеха) подсобного хозяйства [11, л. 6].

[2] Козырев Николай Алексеевич (1910–1978), член ВКП(б) с 1931 года. Окончил ЛПИ в 1938 году и оставлен аспирантом на кафедре техники высоких напряжений электромеханического факультета. В августе 1941-м назначен начальником электротехнического цеха ОГМ, АТС. После войны работал в институте, с 1953 года — кандидат технических наук, доцент кафедры ТВН [11, л. 8; 22, л. 21].

Из Протокола № 1 заседания партбюро ВКП(б) ЛПИ им. М.И. Калинина от 4 янв<аря> 1943 года [13, л. 2]

В результате проведенной работы можно сказать, что наши бытовые учреждения находятся в следующем положении:

а) Столовая — открыта с 10.12.42 и работает. Основной недостаток — это теснота в помещении, а следовательно, в очереди. Необходимо расширить помещение, устроить мойку. Рабочий контроль фактически отсутствует.

б) Красные уголки — комнаты открыты, но плохо с освещением, не ведется регулярной массово-политической работы, агитаторов постоянно прикрепленных нет. Пока делались эпизодические доклады тов. Гурьева.

в) Прачечная работает, тесновато с сушилкой, в остальном она работает гораздо лучше, чем в прошлом.

г) Радиовещание несколько улучшилось имеются теперь след. точки: Штаб, Пожарная команда, ВВО, Клуб ученых.

д) Сапожная мастерская начала работать, однако помещение плохо отапливается и нет материала для ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЦГАИПД. Ф. 40. Оп. 2. Ед. хр. 5.
2. ЦГАИПД. Ф. 40. Оп. 2. Ед. хр. 22.
3. Политехник.— 1958, — 23 октябтря.
4. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет: Биографии [Текст].— СПб.: Гуманистика, 2006.
5. Директора — ректоры Санкт-Петербургского политехнического института — государственного технического университета (1900–1999) // Научно-технические ведомости СПбГТУ.— 1999. № 4.
6. Политехники военного поколения: Новые материалы по истории Ленинградского политехнического института [Текст] / Сост. С.Б. Ульянова, А.И. Филюшкин.— СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005.— С. 148.
7. История отечественной математики: в 4 т. [Текст] / Отв. ред. И.З. Штокало.— Киев: Наукова думка, 1970.— Т. 4, кн. 2.
8. Архив СПбГПУ.— Ф. 15.— Оп. 116. Ед. хр. 620.
9. Репрессированные политехники: в 2 книгах [Текст] / Сост. В.А. Смелов, Н.Н. Сторонкин.— СПб.: ООО «Типография Береста», 2008.
10. Смирнов, А.А. Ленинградские политехники в Великой Отечественной войне (1941–1945 гг.) [Текст] / А.А. Смирнов.— СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009.
11. ЦГАИПД.— Ф. 40.— Оп. 2. Ед. хр. 12.
12. ЦГАИПД.— Ф. 40.— Оп. 2. Ед. хр. 4.
13. ЦГАИПД.— Ф. 40.— Оп. 2. Ед. хр. 8.

И.И. Боголепов

МОЙ ЖИЗНЕННЫЙ ПУТЬ

Игорь Ильич Боголепов родился 13 августа 1928 года в г. Вологде в семье врачей. Отец закончил Военно-медицинскую академию в Петрограде, мать — медицинские факультеты Юрьевского (Дерптского) и Петроградского университетов. Дед по отцу (Александр Боголепов) — священник, протоиерей в г. Рязани; дед по матери (Виктор Флоров) — дворянин, заведующий производственными мастерскими технического училища в г. Костроме.

Игорь Ильич учебу начал в общеобразовательной средней школе и в специальной музыкальной школе по классу скрипки Александра Борисовича Гольцмана. Во время войны 1941–45 годов, учась в средней школе во второй смене, работал одновременно в первой смене на военном заводе, в связи с чем имеет удостоверение ветерана Великой Отечественной войны.

Окончил в победном 1945 году среднюю школу в Калинине (Тверь), затем в 1951 году

в Ленинграде — Ордена Ленина Ленинградский кораблестроительный институт (ныне Санкт-Петербурский государственный морской технический университет) по специальности инженер-кораблестроитель.

После окончания института по распределению работал с 1951-го по 1958 год в Проектно-конструкторском бюро судостроительной промышленности в г. Зеленодольске Татарской АССР. Бюро под руководством выдающихся кораблестроителей — лауреатов Сталинской премии генерального конструктора Александра Викторовича Кунаховича и главного инженера Владислава Иосифовича Цюпака — занималось проектированием и постройкой больших охотников за подводными лодками (см. Интернет, «Зеленодольское Проектно-конструкторское бюро»).

В это время И.И. Боголепов в г. Зеленодольске при содействии замечательных советских ученых доктора физ.-мат. наук Хамида Музафаровича Муштари (г. Казань) и доктора технических наук Льва Яковлевича Гутина (Ленинград) начал научно заниматься судовой акустикой.

В 1958 году по конкурсу поступил в аспирантуру Центрального научно-исследовательского института технологии судостроения в Ленинграде. С 1958-го по 1974 год работал во вновь организованной там лаборатории судовой акустики под руководством доктора технических наук и кандидата биологических наук Евгения Стефановича Толоцкого (виброизоляция) и талантливого научного организатора кандидата технических наук Никиты Романовича Четыркина (звукоизоляция). Главным консультантом там был один из основателей судовой акустики в стране и мире — выдающийся ученый и инженер доктор технических наук Игорь Иванович Клюкин. Научное руководство осуществлялось И.И. Клюкиным при проектировании и вводе в строй уникальных, мирового уровня звукомерных камер и при разворачивании исследовательских и конструкторских работ по снижению шума на судах транспортного и промыслового флота. Игорь Иванович работал в этой лаборатории консультантом до тех пор, пока не «встали на ноги» молодые научные работники, способные решать самостоятельные задачи (И.И. Боголепов, Л.С. Бородицкий, В.М. Спиридонов и др.).

С 1974-го по 1980 год И.И. Боголепов заведовал научно-прикладной лабораторией промышленной акустики Всесоюзного научно-исследовательского института охраны труда ВЦСПС в Ленинграде. С 1980 по 1991 год — начальник сектора акустической экологии в Центральном научно-исследовательском институте имени академика А.Н. Крылова. В этот период был одним из организаторов и исполнителей международной программы Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) в области борьбы с шумом. Возглавлял секцию промышленной и архитектурной акустики Научно-технического общества (НТО) строительной индустрии, которая провела 20 акустических конференций всесоюзного значения, в том числе первые в мире специализированные конференции «Звукоизоляция — 77» и «Звукоизоляция — 88».

И.И. Боголепов имеет ученые степени канд. техн. наук (1963 год, тема диссертации — «Звукоизолирующая способность судовых переборок», руководитель — докт. физ.-мат. наук профессор Л.Л. Мясников) и доктора технических наук (1990 год, тема диссертации — «Промышленная звукоизоляция», консультант — доктор технических наук профессор Г.Л. Осипов), ученое звание старшего научного сотрудника (1983 год, электроакустика и звукотехника, выдвинут на Ученом совете Центрального научно-исследовательского института имени академика А.Н. Крылова доктором технических наук профессором Э.Л. Мышинским). Автор более 160 опубликованных оригинальных статей, изобретений и книг.

С 1991 и до 2002 года — первый вице-президент и руководитель Союза ученых, инженеров и специалистов производства Санкт-Петербурга и Ленинградской области (СУИСП), объединившего под началом президента СУИСП академика АН СССР и РАН Игоря Алексеевича Глебова лучшие в мире 32 научных общества Ленинграда — Петербурга. Был директором пяти съездов СУИСП и научным редактором трудов съездов, в их числе следующие издания:

«Выход из экономического кризиса в Санкт-Петербурге: проблемы и решения». Материалы второго съезда СУИСП. Том 1 — доклады на пленарных заседаниях (33 доклада). Том 2 — доклады на заседаниях «круглых столов» (45 докладов). Том 3 — предложения и их реализация (35 докладов). Типография ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Санкт-Петербург, 1993. — Общий объем 48.6 п.л., 736 с.;

«Концепции развития Санкт-Петербурга». Материалы третьего съезда СУИСП, посвященного 230-летию научных обществ в России. Том

1 — 60 докладов. Том 2 — 64 доклада. Том 3 — 63 доклада. Информационное агентство «Астерика». Санкт-Петербург, 1997. Общий объем 88,4 п.л., 1244 с.;

«Наука, промышленность, сельское хозяйство и культура. К 300-летию Санкт-Петербурга». Материалы четвертого съезда СУИСП. Том 1 — 35 докладов. Том — 42 доклада. Том 3 — 44 доклада ведущих специалистов. Информационное агентство «Астерика». Санкт-Петербург, 2000. Общий объем 79,7 п.л., 1119 с.

Игорь Ильич — один из основателей, вице-президент, почетный профессор и почетный член Восточноевропейской ассоциации акустиков. Заслуженный инженер России, Почетный инженер Санкт-Петербурга.

С 1995 года — профессор факультета естественнонаучного и гуманитарного образования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. С 2002 года читает лекции и ведет курсовое проектирование по дисциплине «Строительная акустика» студентам старших курсов инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Действительный член (академик) Санкт-Петербургской, Российской и Международной инженерных академий (Actual Member of Academy «International Academy of Ecology, Man and Nature Protection Sciences»).

Исследовал, разработал и внедрил средства эффективной звукоизоляции на морском транспорте, в высокотехнологичных отраслях промышленности и в современных строительных сооружениях. Результаты изложены, в частности, в книге «Звукоизоляция на судах» (Л., 1970, положительная рецензия проф. В.И. Заборова в «Акустическом журнале» АН СССР, том XYII, вып. 2, М., 1971), в книге коллектива авторов под руководством И.И. Клюкина и И.И. Боголепова «Справочник по судовой акустике» (Л., 1978, положительные рецензии проф. Б.Д. Тартаковского в «Акустическом журнале» АН СССР, том XXYII, вып. 4, М., 1981 и N. Goldmann в журнале J. Acoust. Soc. Am., Vol. 3, March 1983), в монографии «Промышленная звукоизоляция» с предисловием академика АН СССР И.А. Глебова (Л., 1986, положительная рецензия проф. И.И. Клюкина в «Акустическом журнале» АН СССР, том XXXIII, вып. 4, М.,1987), в учебнике-справочнике «Архитектурная акустика» с предисловием академика АН СССР и РАН И.А. Глебова (СПб, 2001) и в книге «Строительная акустика» с предисловием академика РАН Ю.С. Васильева (СПб, 2006).

Постоянно с 1958 года работая в Ленинграде — Санкт-Петербурге (начало в 1945 г.), был в качестве специалиста-акустика, преподавателя и организатора науки во многих городах нашей огромной страны и в странах ближнего и дальнего зарубежья (Австрия, Азербайджан, Армения, Германия, Греция, Грузия, Израиль, Казахстан, Литва, Молдавия, Словакия, Тунис, Турция, Узбекистан, Украина, Финляндия, Эстония).

В кризисном 2010 году И.И. Боголепов:

руководит «Отделом наукоемких продуктов и высоких технологий» журнала «Эмитент. Существенные факты, события и действия». Журнал издается при содействии Администрации Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Федеральной антимонопольной службы, Федеральной службы по финансовым рынкам;

член Технического комитета по стандартизации ТК 358 «Акустика» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ;

профессор кафедры технологии, организации и экономики строительства инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автор труда для преемников: «И.И. Боголепов Строительная акустика: учебное пособие». второе издание. Предисловие — академика РАН Ю.С. Васильева. Рецензенты: завкафедрой технологии, организации и экономики строительства ИСФ СПбГПУ д.т.н. проф. Н.И. Ватин (рецензия утверждена деканом ИСФ СПбГПУ д.т.н. наук проф. А.И. Альхименко); зав кафедрой физики ФЕНГО СПбГМТУ д.ф.-м..н. проф. Ф.Ф. Легуша; главный научный сотрудник ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова д.т.н. проф., заслуженный деятель науки и техники РФ Попков В.И. СПб.; Издательство Политехнического университета, 2010. 360 с.

Указом Президента Российской Федерации от 4 марта 2009 года Игорь Ильич Боголепов награжден юбилейной медалью «65 лет победы в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.». От имени Президента Российской Федерации медаль вручена 06 апреля 2010 года Главой администрации Московского района Санкт-Петербурга В.В. Коровиным.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ

АВРУНИН Александр Самуельевич — *доктор медицинских наук старший научный сотрудник Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р.Вредена.*
295427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, д. 8
(812) 670-95-21

АЛАДЫШКИН Иван Владимирович — *кандидат исторических наук доцент кафедры истории Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-96-91
i-bez@yandex.ru

АЛЕКСАНДРОВ Сергей Евгеньевич — *доктор химических наук заведующий кафедрой «Физической химии, микро- и нанотехнологии» проректор по связям с промышленностью Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)297-38-33
salexandrov@ftim.spbstu.ru

АНДРОНОВ Александр Викторович — *старший преподаватель кафедры общетехнических дисциплин филиала Санкт-Петербургской лесотехнической академии им. С.М. Кирова в г. Сыктывкаре.*
(8212)24-67-71, доб. 121

АНТОНОВА Ольга Владимировна — *аспирантка кафедры механики и процессов управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-77-78
antonova@compmechlab.com

БАЖЕНОВ Александр Александрович — *аспирант кафедры транспорто-технологических систем Северо-западного государственного заочного технического университета.*
191186, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 5
(812) 571-90-02

БАРЕЕВА Румия Загимардановна — *кандидат исторических наук доцент кафедры философии, культурологи и истории, декан факультета систем защиты и безопасности Пензенского филиала РГУИТП.*
440026, г.Пенза, ул. Володарского, 6
(8412)20-38-84
rgu@penza.net

БАРЫШНИКОВ Сергей Олегович — *кандидат технических наук профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций.*
198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 7
(812) 251-06-56

БАШЕНКО Всеволод Владимирович — *доктор технических наук профессор кафедры сварки и лазерных технологий Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-63-55

БЕСЕДИН Сергей Николаевич — *аспирант кафедры «Турбинные двигатели и установки», генеральный директор ООО «НТЦ «Микротурбинные технологии».*
192174, Санкт-Петербург, пр. Александровской фермы, д.33
(812) 334-20-87/88
ntc-mtt@mail.ru

БЕЛЯЕВ Алексей Витальевич — *старший преподаватель кафедры материаловедения, сварки и структурообразующих технологий Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева.*
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева
(843) 238-44-10
aleksei_belyaev@rambler.ru

БЕЛОВ Владимир Дмитриевич — *доктор технических наук профессор кафедры литейных процессов Московского института стали и сплавов*
119049, г. Москва, В-49, Ленинский пр-т, 4
(495) 951 17 25
vdbelov@mail.ru

БЕЛЬКО Виктор Олегович — *аспирант кафедры электрической изоляции, кабелей и конденсаторов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)552-87-26
victor-belko@yandex.ru

БИРЮКОВ Алексей Валерьевич — *аспирант кафедры турбомашин и комбинированных установок Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, инженер кафедры тепловых двигателей Брянского государственного технического университета.*
241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7.
(4832) 51-84-80
heat@tu-bryansk.ru

БОГОЛЕПОВ Игорь Ильич — *доктор технических наук старший научный сотрудник, профессор кафедры технологии, организации и экономики строительства Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)297-59-49

БОРОВКОВ Алексей Иванович — *кандидат технических наук профессор кафедры механики и процессов управления, заведующий лабораторией вычислительной механики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-77-78
borovkov@compmechlab.com

БОРОВКОВ Валерий Михайлович — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 297-48-28
vm_borovkov@mail.ru

БОЧКАРЕВ Сергей Васильевич — *доктор технических наук профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского государственного технического университета.*
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29
(342)2391200
bochkarev@msa.pstu.ru

ВИНОГРАДОВА Елена Борисовна — *кандидат экономических наук доцент, начальник управления экономики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-62-28

ВИТОРСКИЙ Ярослав Михайлович — *доктор технических наук профессор, начальник отдела ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт материалов»*
191014, Санкт-Петербург, Парадная ул., 8
(812) 578-93-44

ВИШНЕВСКАЯ Нина Леонидовна — *доктор медицинских наук профессор кафедры безопасности жизнедеятельности Пермского государственного технического университета*
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29,корпус А, к. 312
(342) 2-198-482
bg@pstu.ru

ГАЛИМОВ Энгель Рафикович — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой материаловедения, сварки и структурообразующих технологий Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева*
420111, г. Казань, ул.К. Маркса, д. 10
(843) 238-44-10

ГОЛУШКО Андрей Николаевич — *аспирант кафедры тепловых двигателей Брянского государственного технического университета.*
241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7.
(4832) 51-84-80
golushkoan1986@gmail.com
heat@tu-bryansk.ru

ДОБРЕЦОВ Роман Юрьевич — *кандидат технических наук доцент кафедры колесных и гусеничных машины Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 534-14-31
kgm-spb@list.ru

ДРОКИНА Василина Васильевна — *аспирант кафедры литейных процессов Московского института стали и сплавов*
119049, г. Москва, В-49, Ленинский пр-т, 4
(495) 951 19 28
drokina.vv@gmail.com

ЖАРИН Денис Евгеньвич — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой композитных материалов и технологий Камской государственной инженерно-экономической академии.*
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, д. 68/19
(8552) 51-01-07

ЗАГОРОДНЕВ Дмитрий Иванович — *аспирант кафедры автоматизации и информационных технологий Камской государственной инженерно-экономической академии (ИНЭКА)*
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, 13, ИНЭКА (КамПИ)
(8552) 58-96-17

ЕМЕЛЬЯНОВ Олег Анатольевич — *кандидат технических наук заведующий кафедрой электрической изоляции, кабелей и конденсаторов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)552-87-26
emel@eef.spbstu.ru

КАЗАКОВ Вячеслав Александрович — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой защиты в чрезвычайных ситуациях, заместитель директора по информатизации и дистанционному обучению Пензенского филиала Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства РГУИТП).*
440026, г.Пенза, ул. Володарского, д.6
(8412)56-23-21
vak2002@list.ru

КАШЕВАРОВ Анатолий Николаевич — *доктор исторических наук профессор кафедры истории Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, действительный член Академии гуманитарных наук.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)552-96-91

КОЖУБАЕВ Юрий Нургалиевич — *аспирант кафедры систем автоматического управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 297-16-00
Um-Urii@rambler.ru

КОЛЬЦОВА Татьяна Сергеевна — *учебный мастер кафедры исследования структуры и свойств материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812)552-89-69
annelet@yandex.ru

КОНИЩЕВ Михаил Анатольевич — *аспирант кафедры возобновляемых источников энергии и гидроэнергетики, Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-77-71
virtualmk@mail.ru

КОНОВ Игорь Викторович — *аспирант кафедры организации автомобильных перевозок и безопасности дорожного движения Рязанского государственного агротехнологического университета*
390024, г.Рязань, ул. Костычева, д. 1
(4912) 37-37-40

КУЗЕВАНОВ Виктор Яковлевич — *кандидат биологических наук директор Ботанического сада Иркутского государственного университета*
664039, г. Иркутск, ул. Кольцова, 93, а/я 48,
(3952)413476
victor.kuzevanov@gmail.com

КУЛИКОВ Сергей Александрович — *старший преподаватель кафедры естественнонаучных и естественных дисциплин Котласского филиала ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций».*
165311, г. Котлас, ул. Заполярная, 19
(8183)79-77-22

ЛАПТЕВА Наталья Александровна — *магистр инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812)552-79-03
tatasha88@mail.ru

ЛАПИДУС Александр Анатольевич — *кандидат технических наук доцент кафедры электрических станций и автоматизация энергетических систем» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 534-48-00
Lapidus_a_a@mail.ru

ЛАТЫШЕНОК Михаил Борисович — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Рязанского государственного агротехнологического университета*
390024, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1
(4912) 35-09-30

МАМИНОВ Амир Салехович — *кандидат технических наук профессор кафедры материаловедения, сварки и структурообразующих технологий Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева*
420111, г. Казань, ул.К. Маркса, д. 10, Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева
(843) 238-44-10

МЕЛЬНИКОВ Борис Евгеньевич — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов, Санкт- Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-63-03

МИХАЙЛОВ Сергей Анатольевич — *аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, главный специалист отдела планирования ремонта ОАО «Территориальная генерирующая компания №1»*

191186, г. Санкт-Петербург, Марсово поле, д. 1
(812) 901-32-39
Mihaylov.SA@tgc1.ru, mikhaylov_sa@mail.ru

МОРАЧЕВСКИЙ Андрей Георгиевич — *доктор технических наук профессор кафедры физической химии, микро- и нанотехнологий, Заслуженный деятель науки и техники РФ.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812)552-63-87

МУДРОВА Елена Борисовна — *кандидат экономических наук доцент кафедры управления в социально-экономических системах» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812) 296 — 69 — 80

НАСИБУЛИН Альберт Галийевич — *кандидат химических наук доцент кафедры прикладной физики Аалто Университета.*

Aalto University Department of Applied Physics and Center for New Materials
P.O. Box 5100, 00076 Espoo, FINLAND
+358 50 33 975 38
albert.nasibulin@hut.fi

НАУМОВ Иван Васильевич — *кандидат технических наук заведующий лабораторией кафедры гражданского строительства и прикладной экологии инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)297-59-28

НИКИТИН Сергей Васильевич — *аспирант кафедры транспортных и технологических систем, Санкт- Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-60-88

НУРУЛИН Дмитрий Юрьевич — *ведущий программист факультета инноватики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812)552-88-49
ii@acea.neva.ru

НУРУЛИН Юрий Рифкатович– *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой инвестиционного инжиниринга Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, директор Городского координационного центра по развитию инновационной деятельности в науке и образовании Санкт-Петербурга.*

195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 294-42-39
rulin@acea.neva.ru

ОВСЯННИКОВА Светлана Васильевна — *доцент кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии Кузбасского государственного технического университета.*

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
(3842) 58-33-80 (3842) 36-16-87
kuzstu@kuzstu.ru

ОСИПОВ Александр Вадимович — *кандидат технических наук доцент кафедры тепловых двигателей Брянского государственного технического университета,*

241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7.
(4832) 51-84-80
heat@tu-bryansk.ru

ОКУНЕВ Егор Ильич — *ассистент кафедры турбинных двигателей и установок Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*

195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812)552-62-66
egor_okunev@list.ru

ПАРШИН Лев Константинович — *кандидат технических наук доцент, заместитель заведующего кафедрой по научно-исследовательской работе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*

195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 552-63-03

ПЛАТОНОВ Илья Дмитриевич — *аспирант кафедры электрических станций и автоматизации энергетических систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 534-48-00
freezaherr@yandex.ru

ПЛАХОВА Лариса Викторовна — *доктор медицинских наук доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Пермского государственного технического университета*

614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29,корпус А, к. 312
(342) 2-198-482
bg@pstu.ru

ПРОКОФЬЕВ Олег Валерьевич — *ассистент кафедры информационных и управляющих систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812)297-16-00

ПУХОВА Ольга Владимировна — *аспирант кафедры автоматов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 552-96-86
Olga_shelest@bk.ru

РАССОХИН Виктор Александрович — *доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой турбинных двигателей и установок СПбГПУ*
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812) 552-65-66
v-rassokhin@yandex.ru

РУДСКОЙ Андрей Иванович — *доктор технических наук профессор, член-корреспондент РАН, проректор по научной деятельности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 552-67-57
rud@tu.neva.ru

РУСИНОВ Ростислав Викторович — *доктор технических наук, профессор кафедры колесных и гусеничных машины Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812)534-14-31; (812) 534-49-05
kgm-spb@list.ru

САНАКУЛОВА Лилия Асгатовна — *студент группы 1509 Камской государственной инженерно-экономическая академии (ИНЭКА).*
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, 13 , ИНЭКА (КамПИ)
(8552) 58-96-17

САЙФЕТДИНОВА МАРЬЯМ КЯРИМОВНА — *кандидат педагогических наук заместитель декана факультета информационных технологий, старший преподаватель кафедры защита в чрезвычайных ситуациях Пензенского филиала РГУИТП.*
440026, г.Пенза, ул. Володарского, д.6
(8412) 49-27-58
s-small@bica.ru

САПУНОВА Татьяна Владимировна — *аспирант кафедры транспортно-технологических систем Северо-западного государственного заочного университета.*
191186, Санкт-Петербург, Миллионная ул., д. 5
(812) 571-90-02

СИВАК Елена Юрьевна — *кандидат медицинских наук доцент кафедры терапевтической стоматологии Пермской государственной медицинской академии кандидат медицинских наук*
614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 26.
(342) 277-57-76

СИЗЫХ Светлана Витальевна — *кандидат биологических наук, заместитель директора Ботанического сада Иркутского государственного университета*
664039, Иркутск, ул. Кольцова, 93, а/я 48
(3952)413476
bogard66@rambler.ru

СИМОНОВА Ксения Валерьевна — *студент 5 курса строительного факультета Камской государственной инженерно-экономической академии*
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, д. 68/19
(8552) 51-01-07

СИМОНОВА Лариса Анатольевна — *доктор технических наук профессор, заведующая кафедрой автоматизации и информационных технологий Камской государственной инженерно-экономической академии(ИНЭКА)*
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, д. 68/19
(8552) 51-01-07
lasimonova@mail.ru

СКВОРЦОВА Инга Викторовна — *кандидат технических наук доцент кафедры экономики и менеджмента в энергетике и природопользовании Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, заместитель директора Научно-инновационного института энергетики, экологии и нанобиотехнологий СПбГПУ.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, д. 29
(812) 294-42-91
ceet@spbstu.ru

СКУЛКИН Сергей Валерьевич — *аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 297-48-28
serg3ey@rambler.ru

СМИРНОВ Валерий Николаевич — *доктор технических наук, профессор кафедры транспортных технологических систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 552-84-01

СОЛОВЬЕВ Юрий Владимирович — *аспирант кафедры электрических сетей и систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812) 552-50-72
yury.solovyev@yahoo.com

СУХИЧЕВ Михаил Иванович — *аспирант кафедры электроэнергетики и техники высоких напряжений Санкт-Петербургского государственного Политехнического университета.*
(812)552-42-86
tempsciko@gmail.com

СЮСЮКА Елена Николаевна — *соискатель ученой степени кандидата наук кафедры машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова*
308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46
(4722) 54-20-87
sollain66@rambler.ru

ТАДЖИБАЕВ Алексей Ибрагимович — *доктор технических наук, профессор кафедры электрических станций Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, член Академии электротехнических наук РФ.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 552-50-72

ТАРАКАНОВА Надежда Михайловна — *инженер кафедры безопасности жизнедеятельности Рязанского государственного агротехнологического университета*
390024, г.Рязань, ул. Костычева, 1
(4912) 35-09-30

ТЕБРЯЕВ Александр Александрович — *кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой гражданского и международного права Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 297-69-76,
tebr@list.ru

ТИТКОВ Василий Васильевич — *доктор технических наук профессор кафедры электроэнергетики и техники высоких напряжений Санкт-Петербургского государственного политехнического пниверситета.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812)552-42-86
titkovprof@yandex.ru

ТИХИЛОВ Рашид Муртазалиевич — *доктор медицинских наук профессор, директор Российского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Р.Р.Вредена,*
295427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8
(812) 670-86-87

ТОЛОЧКО Олег Викторович — *доктор технических наук профессор кафедры исследования структуры и свойств материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического пниверситета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812)552-89-69
oleg@ftim.spbstu.ru

ТУАПЕТЕЛ Джонс Виктор — *аспирант кафедры турбинных двигателей и установок Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812) 552-65-66
jvictor_tuapetel@yahoo.com

УМАНЕЦ Владимир Николаевич — *доктор технических наук профессор кафедры гражданского строительства и прикладной экологии Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, иностранный член Академии горных наук РФ, академик Международной академии информатизации.*
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29
(812) 297-59-28
umanets49@mail.ru

ФИЛИМОНОВ Андрей Андреевич — *кандидат биологических наук начальник административно-правового управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812)294-42-86
afil@spbstu.ru

ФИЛИМОНОВ Виктор Иванович — *доцент кафедры информационных и управляющих систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
(812) 297-16-00

ЦАПЛИН Алексей Иванович — *доктор технических наук профессор, декан факультета прикладной математики и механики, заведующий кафедрой общей физики Пермского государственного технического университета*
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29
(342)2198212
tai@pstu.ru

ЧЕРНЫШЕВА Валентина Михайловна — *кандидат экономических наук доцент кафедры экономики и менеджмента Пермского филиала Санкт-Петербургского института внешнеэкономических связей, экономики и права.*
614066, г. Пермь, ул. 9 мая, 21
(342) 250-58-41

ШАБОЛДО Олег Павлович — *кандидат технических наук начальник лаборатории ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт материалов».*

191014, Санкт-Петербург, Парадная ул., 8
(812)578-91-43

ШАРОНОВ Николай Иванович — *главный сварщик ЗАО «ОРМА»*

195274, Санкт-Петербург, просп. Просвещения, 53, корп.1
(812) 334-55-60
nikolay.sharonov@orma.ru

ШАФИГУЛЛИН Ленар Нургалиевич — *кандидат технических наук старший преподаватель кафедры композитных материалов и технологии Камской государственной инженерно-экономической академии.*

(8552) 51-01-07
misharin_82@mail.ru

ШЕЛОМОВ Владимир Борисович — *доктор технических наук заведующий кафедрой колесных и гусеничных машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
(812)554-49-05

ШЕМЯКИН Александр Владимирович — *кандидат технических наук доцент, заведующий кафедрой организации автомобильных перевозок и БДД Рязанского государственного агротехнологического университета*

390024, г. Рязань, ул. Костычева, 1
(4912) 37-37-40

ШУБНЯКОВ Игорь Иванович — *кандидат медицинских наук секретарь ученого совета Российского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена.*

295427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8
(812) 670-86-70

ЯСКЕВИЧ Людмила Федоровна — *кандидат физико-математических наук старший преподаватель кафедры высшей математики, Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
(812)552-67-50

АННОТАЦИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Соловьев Ю. В., Таджибаев А. И. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Построена модель изолированного провода, учитывающая влияние его аэродинамических свойств и изменения прочностных характеристик в условиях действия эксплуатационных нагрузок на техническое состояние линий электропередачи. Обоснованы математические зависимости, позволяющие при решении задачи оценки технического состояния линий с изолированными проводами учесть следующие факторы: изменение натяжения провода в условиях вибрации вследствие гололедно-ветровых и температурных нагрузок; изменение изгибной жесткости провода из-за особенностей структуры материалов и зарождения в них дефектов при переменных механических и температурных нагрузках; прочностные свойства линейной арматуры и элементов конструкций линии, которые несут механическую нагрузку.

ИЗОЛИРОВАННЫЙ ПРОВОД. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ВИБРАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Сухичев М. И., Титков В. В. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ШИНАХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Работа посвящена аналитическому моделированию тепловых процессов в шинах силового электрооборудования. Показана актуальность проблемы, приведен аналитический метод решения задачи, дана физическая интерпретация результатов.

КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ. КОНТАКТ. ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА. ДИАГНОСТИКА. МОДЕЛЬ. МОДЕЛИРОВАНИЕ. АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ. ШИНЫ.

Платонов И. Д., Лапидус А. А. КРИТЕРИИ ПРОЯВЛЕНИЯ ШУНТИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕТИ 0,4 кВ

Рассмотрены вопросы влияния асинхронных электродвигателей на переходный процесс при коротких замыканиях в кабельных линиях напряжением 0,4 кВ. Описывается структура созданного расчетного модуля для определения критериев шунтирующего эффекта. Произведен анализ этих критериев при различной удаленности точки короткого замыкания от шин распределительного устройства.

ШУНТИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ. КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ. АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ.

Туапетел Д. В. ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ ГАЗА В МЕЖЛОПАТОЧНЫХ КАНАЛАХ НА ПОТЕРИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ

Рассматривается влияние вторичных течений в межлопаточном канале рабочей решетки турбины на потери кинетической энергии при трансзвуковой и сверхзвуковой скоростях потока. Численные результаты получены с помощью программы Fluent.

ВТОРИЧНОЕ ТЕЧЕНИЕ. ТРАНСЗВУКОВАЯ И СВЕРХЗВУКОВАЯ СКОРОСТЬ. КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ. РАБОЧАЯ РЕШЕТКА.

Белько В. О., Емельянов О. А. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СЕГМЕНТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

В статье приведены результаты исследования процесса самовосстановления в металлопленочных конденсаторах. Предложена модель электродинамического разрушения металлизированных пленок, на основании которой разработана методика расчета геометрических параметров сегментированной металлизации электрических конденсаторов.

МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫЙ КОНДЕНСАТОР. САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ. СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ ОБКЛАДКИ. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ. УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ.

Осипов А. В., Голушко А. Н., Бирюков А. В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРЦИАЛЬНОГО ОТСЕКА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ БЛАГОДАРЯ ФИЗИЧЕСКОМУ И ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

В статье обосновывается актуальность проведения численно-экспериментальных исследований модели парциального отсека паровой турбины «регулирующая ступень — камера — ступень давления» на динамическом воздушном стенде. Описывается экспериментальная модель и условия проведения физических испытаний.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, РЕГУЛИРУЮЩАЯ СТУПЕНЬ, УРАВНИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА, ОКРУЖНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ, РАДИАЛЬНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ, ПАРЦИАЛЬНЫЙ ВПУСК, МЕЖСТУПЕНЧАТЫЙ ЗАЗОР.

Конищев М. А. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ГЭС И ВЭС В СОСТАВЕ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ

Статья посвящена возможности совместного использования ветро- и гидроэлектростанций для аккумулирования энергии и увеличению доли использования ВЭС в энергосистеме. Цель работы — создание надежной модели внедрения крупных ветропарков в энергоситему при совместной работе с гидроэлектростанциями и аккумулированием энергии.

ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (ВЭС). ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (ГЭС). ЭНЕРГОКОМПЛЕКС. АККУМУЛИРОВАНИЕ.

Боровков В. М., Михайлов С. А. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ НА РЕМОНТ ПО СТРУКТУРНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ

Приведена математическая модель для расчета распределения затрат «постоянного» характера на ремонт основных фондов по структурным подразделениям генерирующих компаний. Дано определение затратам «постоянного» характера. Указаны принятые допущения. Представлено сопоставление расчетных данных с фактическими за 2008 год. Проведен анализ полученных использовании математической модели величин затрат. Обозначены факторы, влияющие на последующую корректировку расчетных значений величин затрат. Описаны преимущества модели перед «Методическими рекомендациями по определению нормативной величины затрат на техническое обслуживание и ремонт энергооборудования, зданий и сооружений электростанций» (СО 34.20.609-2003).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА. ЗАТРАТЫ «ПОСТОЯННОГО» ХАРАКТЕРА. РЕМОНТ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ С ФАКТИЧЕСКИМИ. БАЗА ДАННЫХ АРМ «ЭНЕРГОРЕМОНТ». АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ. ПРЕИМУЩЕСТВА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

Беседин С. Н., Окунев Е. И., Рассохин В. А. МИКРОТУРБИННЫЙ ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ 100 КВТ (МТГ-100)

Статья посвящена разработке и изготовлению малогабаритной газотурбинной установки с электрической мощностью 100 кВт. Основное внимание уделено созданию микротурбинного генератора.

АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ. ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДШИПНИК. ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ. МИКРОТУРБИНЫ.

Боровков В. М., Скулкин С. В. ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассмотрены виды эксергетических потерь, присущие тепломассообменному оборудованию ИТП, вычислены их величины для проектной и альтернативной тепловой схемы ИТП дошкольного образовательного учреждения. Рассчитан скрытый резерв экономии топлива. Даны рекомендации по стимулированию снижения эксергетических потерь ИТП на стадии проектирования.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ. ПОТЕРИ ЭКСЕРГИИ. ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ. ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА.

Пухова О. В. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ ГРУЗОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЯХ ПО ПАКЕТИРОВАНИЮ ГРУЗОВ

Статья посвящена актуальным проблемам энергосберегающего оборудования для пакетирования грузов. Представлены две схемы разработанных грузовых платформ для автоматизированных линий, дано описание их работы. Основные особенности платформ — наличие рекуператоров на базе пневматического и пружинно-пневматического аккумулятора. Представлены выражения для определения конструктивных параметров грузовых платформ.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. ПАКЕТИРОВАНИЕ. ГРУЗОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ. АВТОМАТИЗАЦИЯ. РЕКУПЕРАЦИЯ.

Кожубаев Ю. Н., Прокофьев О. В., Филимонов В. И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

В работе исследуется модель многоконвейерной поточно-транспортной системы (МПТС), реализованная в среде Matlab/Simulink. Показано, в частности, что допустимые кратковременные вариации входных грузопотоков и параметров МПТС в рабочих режимах при неблагоприятных временных сочетаниях могут привести к аварийным ситуациям.

МОДЕЛЬ. КОНВЕЙЕР. ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА. ЗАПАЗДЫВАНИЕ.

Смирнов В. Н., Никитин С. В. ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены новые подходы к построению динамической модели конвейеров с цепным тяговым органом. Модель, созданная на принципе модульности, позволяет не только более точно определять усилия в узлах и механизмах конвейера, но и существенно упростить алгоритм исследования волновых процессов.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. КОНВЕЙЕР. ЦЕПНОЙ ТЯГОВЫЙ ОРГАН. ДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ. ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ.

Яскевич Л. Ф. РАСЧЕТ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПОДВЕСКИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С НАИЛУЧШЕЙ ПЛАВНОСТЬЮ ХОДА

Получена система дифференциальных уравнений для определения конструктивных параметров, которым соответствует наилучшая плавность хода гусеничной машины с индивидуальной системой подрессоривания.

КОЛЕБАНИЯ. КОРПУС ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ. НЕРОВНОСТЬ.

Русинов Р. В., Шеломов В. Б., Добрецов Р. Ю. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ЦИКЛА БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ С ПРЕДЕЛЬНО ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ

Рассмотрены вопросы о повышении экономичности и удельной мощности быстроходных дизелей за счет организации теплового процесса с предельно допустимым давлением цикла.

ДИЗЕЛЬ. РАБОЧИЙ ЦИКЛ. ЭКОНОМИЧНОСТЬ.

Сюсюка Е. Н. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ ОПОРНЫХ УЗЛОВ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ НА БАЗЕ ШАГОВОГО ПРИВОДА.

Рассмотрены вопросы разработки линейного электрогидравлического шагового привода в составе адаптивной системы восстановительной обработки поверхностей качения опорных узлов вращающихся цементных печей, которая позволяет повысить точность и производительность обработки. Даются сведения по расчету траектории для коррекции погрешности установки станка.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРИВОД. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА. МОДЕЛИРОВАНИЕ. ОПОРНЫЕ УЗЛЫ. ПОВЕРХНОСТИ КАЧЕНИЯ. ТОЧНОСТЬ. ГИДРОУСИЛИТЕЛЬ. БАНДАЖ.

Загороднев Д. И., Санакулова Л. А., Симонова Л. А. ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Рассмотрены проблемы оптимизации материальных потоков на примере машиностроительного предприятия. Предложена модификация алгоритма Кларка — Райта с интегрированным блоком выбора транспортного средства и блоком его загрузки.

МАТЕРИАЛЬНЫЕ ПОТОКИ. АЛГОРИТМ ДЕЙКСТРЫ. АЛГОРИТМ КЛАРКА — РАЙТА. МАРШРУТЫ. ОПТИМИЗАЦИЯ.

Смирнов В. Н., Баженов А. А., Сапунова Т. В. РАСЧЕТ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЫПУЧЕМ ГРУЗЕ НА РАБОЧЕМ ПОЛОТНЕ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА С ПЕРЕГОРОДКАМИ

В статье предложен численный метод расчета поля напряжений в сыпучем теле на полотне ленточного крутонаклонного конвейера с перегородками. Метод линий уровня позволяет рассчитывать поле напряжений в сыпучих телах сложной геометрической формы, обычно используемых в машинах непрерывного транспорта. Точность расчета методом линий уровня проверена сравнением с вариационным методом.

КОНВЕЙЕР. СЫПУЧИЙ ГРУЗ. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД. ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД.

Андронов А. А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

В статье продемонстрировано, что эффективность эксплуатации лесных машин определяется системой показателей. Эксплуатация подразделяется на производственную и техническую, они имеют различное назначение. Автор предлагает новую систему для характеристики эффективности эксплуатации, включающую показатели производственной и технической эксплуатации.

СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ. ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ.

Латышенок М. Б., Шемякин А. В., Тараканова Н. М., Конов И. В. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОЕЧНОГО УСТРОЙСТВА АБРАЗИВНО-КАВИТАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

Статья содержит физические основы образования кавитационного пузырька в потоке моечной жидкости. Рассмотрены этапы его схлопывания и воздействия на частицу абразива, находящуюся в потоке. Представлена аналитическая зависимость величины начала интенсивного схлопывания кавитационных пузырьков от основных параметров сопла.

МОЙКА. КАВИТАЦИЯ. АБРАЗИВ. ПОТОК. СОПЛО.

Виторский Я. М., Рудской А. И., Шаболдо О. П. ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЖАРОПРОЧНОГО НИОБИЕВОГО СПЛАВА МАРКИ ЛН-1 ПРИ ПРОКАТКЕ

Рассмотрен вопрос прокатки прутков из высоколегированного ниобиевого сплава марки ЛН-1. Проведены исследования структуры и механических свойств сплава. Показано, что в процессе теплой деформации при темпертурах (0,50–0,55) $T_{пл}$ в сплаве ЛН-1 формируется ячеис-тая полигонизованная структура с большой протяженностью высокоугловых границ. Эволюция дислокационной структуры сплава в про-цессе теплой прокатки определяет характер зависимости температуры хладноломкости и механических свойств сплава.

ПРОКАТКА. ТЕПЛАЯ ДЕФОРМАЦИЯ. ЯЧЕИСТАЯ СТРУКТУРА. ЖАРОПРОЧНЫЙ НИОБИЕВЫЙ СПЛАВ.

Кольцова Т. С., Насибулин А. Г., Толочко О. В. НОВЫЕ ГИБРИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: МЕДЬ — УГЛЕРОДНЫЕ НАНОВОЛОКНА

В работе предложен новый метод приготовления композиционного материала медь-углеродные нановолокна (УНВ). Хорошая дисперсия УНВ достигалась путем их синтеза непосредственно на поверхности матричных металлических частиц без добавления катализатора. Полученный композиционный материал является почти в два раза более прочным, чем медь, при незначительном понижении электрических свойств.

ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ. СИНТЕЗ. КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ. МЕДЬ. УГЛЕРОДНЫЕ НАНОВОЛОКНА.

Галимов Э. Р., Маминов А. С., Беляев А. В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Показана возможность идентификации механических свойств на примере твердости *HV* различных зон сварного соединения деталей газотурбинных двигателей из сталей аустенитного класса на основе мультифрактального анализа металлографического изображения структуры.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. МУЛЬТИФРАКТАЛЫ. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. МЕТАЛЛОГРАФИЯ. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

Жарин Д. Е., Шафигуллин Л. Н., Симонова К. В. ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ МАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Исследовано влияние матричных компонентов (отвердителей, пластификатора, модификатора) на звукопоглощающие свойства эпоксидных и полиэфирных композиционных материалов. Определены эффективные составы жестких звукопоглощающих материалов, относящихся к разным классам акустических материалов.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПОЛИМЕРНАЯ МАТРИЦА. ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА.

Башенко В. В., Шаронов Н. И. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ПРЕССОВАННО-ШТАМПОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В статье обсуждаются особенности технологии электронно-лучевой сварки однородных и разнородных сварных соединений алюминиевых сплавов. Определены: схема сварки и оптимальные режимы с применением специальной развертки «сжатая скоба». Рекомендована термическая обработка разнородного соединения сплавов 1560М + Al-Zn-Mg. Проведены механические и коррозионные испытания, а также испытания на задержанное разрушение во времени.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА. СВАРКА «В ЗАМОК». МЕХАНИЧЕСКИЕ И КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ. УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ. ЗАДЕРЖАННОЕ РАЗРУШЕНИЕ.

Шаронов Н. И. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ В ТУРБОСТРОЕНИИ.

Рассмотрена технология ЭЛС, используемая для получения канала подогрева лопаток входного направляющего аппарата газовых турбин. Определены оптимальные варианты конструктивного оформления сварного соединения на лопатках в зависимости от величины припуска на механическую обработку. Отмечены особенности термического цикла металла шва и околошовной зоны. Проведены металлографические исследования сварных соединений с различными материалами вставки и даны рекомендации по термической обработке сварного соединения.

ПАЙКА. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА. ВСТАВКА. ТЕРМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ. «КОСМЕТИЧЕСКИЙ ШОВ». МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Дрокина В. В. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ, ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК

При подготовке производства литых деталей все чаще используется метод трехмерной печати для изготовления литейных форм. Однако из-за отсутствия в литературе сведений о газопроницаемости и прочностным свойствам используемого материала трудно оптимизировать толщину стенки форм при их конструировании. Автором статьи была проведена работа по определению механических и технологических свойств смеси ZCast применительно к различным условиям «формирования» стенки формы перед ее заливкой алюминиевым сплавом.

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ. ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ. АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ. ZCAST. ЛИТЕЙНАЯ ФОРМА. ОТЛИВКА. ПРОЧНОСТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Боголепов И. И., Лаптева Н. А. ШУМОВАЯ КАРТА ГОРОДА: ПРОБЛЕМУ И РЕШЕНИЯ

Недостаток всех шумовых карт города — неизвестные точность и надежность, указанных в них уровней звука. Статья посвящена анализу существующих шумовых карт в России и в Европейском Союзе. В результате предложен совместный метод разработки шумовой карты города с известной точностью и надежностью.

ШУМОВАЯ КАРТА ГОРОДА, ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ УРОВЕНЬ ЗВУКА, ТОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ.

Кузеванов В. Я., Сизых С. В. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БОТАНИЧЕСКИХ САДОВ: СВЯЗЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ОБЩЕСТВА

Сделан обзор современной роли ботанических садов как уникальных экологических ресурсов, способствующих сохранению биоразнообразия и устойчивому развитию общества, особенно на урбанизированных территориях. Они являются инновационными институтами, которые помогают людям в различных сферах, включая интродукцию новых видов растений и исследования и их включение в экономический оборот, создание здоровой и безопасной окружающей среды, совершенствование непрерывного образования и просвещения и др. Современные ботанические сады также следует рассматривать в качестве природного и культурного наследия, способствующего повышению конкурентоспособности региона.

БОТАНИЧЕСКИЕ САДЫ. БИОРАЗНООБРАЗИЕ. ИНДЕКС ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА. РЕСУРСЫ. БЛАГОСОСТОЯНИЕ. ИННОВАЦИИ. ПРИРОДНОЕ НАСЛЕДИЕ. КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ. ЭКОЛОГИЯ.

Филимонов А. А. РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ И ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СТРАН БРИК

На примере стран БРИК рассматривается взаимосвязь между развитием экономики и угрозой их генофонду со стороны инвазийных видов. Обсуждаются ограничения подхода, связанного с поиском корреляций между современным значением социо-экономических параметров (ВВП, ИЧР), с одной стороны, и наличием тех или иных учреждений (либо выраженностью каких-либо процессов), имеющих продолжительную историю, с другой.

Для предупреждения инвазий предлагается активнее привлекать действующие ботанические сады, накопившие за время своего существования опыт масштабного перемещения и интродукции растений, а также располагающие квалифицированным персоналом.

СТРАНЫ БРИК. РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ. ВВП. ИЧР. ИНВАЗИЙНЫЕ ВИДЫ. БОТАНИЧЕСКИЕ САДЫ.

Овсянникова С. В. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ (НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Один из показателей экологического состояния геологической среды — характер загрязнения почв, принимающих основную долю антропогенного воздействия. В статье на примере Кемеровской области рассмотрены вопросы, связанные с загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами.

ЭКОЛОГИЯ. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА.

Плахова Л. В., Вишневская Н. Л. ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Дана оценка современным физико-химическим методам исследования для контроля, сертификации и гигиенической оценки безопасности нономатариалов. Разработаны методики определения ряда тяжелых металлов в биологических средах, которые утверждены МЗ РФ и Роспотребнадзором РФ и могут быть использованы для оценки безопасности наноматериалов.

НАНОМАТЕРИАЛЫ. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ. АТОМНАЯ АБСОРБЦИЯ. БИОСРЕДА.

Вишневская Н. Л., Сивак Е. Ю., Чернышева В. М. ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА И ЗДОРОВЬЕ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Представлена эколого-гигиеническая характеристика водоснабжения промышленного города. Установлена зависимость неинфекционной и стоматологической заболеваемости детского населения от качества питьевой воды, концентрации природных минералов и загрязнителей.

ПИТЬЕВАЯ ВОДА. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ. НЕИНФЕКЦИОННАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ. СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ.

Уманец В. Н. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОСФЕР ОТХОДАМИ ЖКХ

Предложен вероятностный подход и конкретные аналитические зависимости для прогнозирования и количественной оценки геоэкологического риска загрязнения геосфер отходами ЖКХ.

ГЕОЭКОЛОГИЯ. ГЕОСФЕРЫ ЗЕМЛИ. ГИДРОСФЕРА. ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО. ИНДЕКС ЗАГРЯЗНЕНИЯ. ИЗМЕНЧИВОСТЬ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК.

Наумов И. СРЕДНЕЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА ПОД ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТЬЮ НАГРУЖЕНИЯ ОТ КАСАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

В статье получена формула среднего горизонтального перемещения упругого полупространства под прямоугольной областью нагружения от касательной равномерно распределенной нагрузки, действующей по направлению оси x.

УПРУГОЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО. РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННАЯ НАГРУЗКА. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ. ПЛОЩАДКА НАГРУЖЕНИЯ.

Барышников С. О., Куликов С. А. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В СУДОРЕМОНТЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

Предложен алгоритм оценки элементов матрицы преобразования координат промышленного робота, основанный на процедуре минимизации суммарной абсолютной ошибки измерений координат точек в базисах рабочего пространства робота и компьютера.

СУДОРЕМОНТ. ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ. МАТРИЦА ПРЕОБРАЗОВАНИЙ КООРДИНАТ. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА.

Аврунин А. С., Мельников Б. Е., Паршин Л. К., Тихилов Р. М., Шубняков И. И. О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ЖЕСТКОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ

Основу костной ткани составляют кристаллиты гидроксиапатита со средними размерами 4×8×14 нм. Между кристаллитами располагается водная пленка толщиной около 1,3 нм. На основе известных фактических данных разработана теоретическая физико-механическая модель взаимосвязи между кристаллитами через водную пленку с помощью сил адсорбции. В рассматриваемой системе эти силы объединяют всю совокупность кристаллитов каждой кости в единый массив. Именно взаимодействие кристаллитов через водную пленку определяют жесткость и прочность костной ткани.

ЖЕСТКОСТЬ КОСТНОЙ ТКАНИ. ПРОЧНОСТЬ КОСТНОЙ ТКАНИ.

Антонова О. В., Боровков А. И. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДПЯТНИКОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Построены гидродинамические модели рабочей области подпятника, заполненной жидкой смазкой. Решена серия 3D задач гидродинамики для различных значений минимальной толщины масляного слоя и углов наклона колодки подпятника в потоке жидкой смазки. Разработана методика расчета гидродинамического состояния подпятников гидрогенераторов.

ГИДРОГЕНЕРАТОР. ОПОРНЫЙ ПОДШИПНИК. МАСЛЯНЫЙ КЛИН. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.

Цаплин А. И., Бочкарев С. В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДАЧИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДВИГАТЕЛЬ

В статье представлена модель учета роста давления в магистрали питания двигателя самолета с криогенным топливом при конкретных условиях теплоизоляции. Используя уравнение теплового баланса, удалось получить модель в простой линейной форме. Это делает модель пригодной к широкому применению при решении практических задач, связанных с проектированием топливных систем подачи сжиженного природного газа в двигатель.

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ. ДВИГАТЕЛЬ. ТРУБОПРОВОД. ЭКСПЕРИМЕНТ. РАСЧЕТ. ДАВЛЕНИЕ. ТЕПЛООБМЕН.

Нурулин Ю. Р., Скворцова И. В., Нурулин Д. Ю. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ В ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

В статье рассмотрены концептуальные вопросы развития методологии открытых инноваций. Проведен расширенный SWOT-анализ политехнического вуза с позиций открытых инноваций и сформулированы основные стратегические цели вуза в области управления инновационной деятельностью, а также направления исследований, которые необходимы для практической реализации концепции открытых инноваций в вузе.

ОТКРЫТЫЕ ИННОВАЦИИ. КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ. SWOT-АНАЛИЗ. ИННОВАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА. ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС.

Виноградова Е. Б., Мудрова Е. Б. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ УНИВЕРСИТЕТА

В статье представлены варианты прогнозов структуры научно-педагогических кадров СПбГПУ и возможностей их воспроизводства. Прогноз получен в рамках системно-целевого подхода к исследованию с помощью имитационно-динамической модели. Доказана невозможность решения проблем подготовки и ротации НПК в рамках замкнутой системы вуза. Дано краткое описание методики исследования.

СТРУКТУРА НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ. АСПИРАНТУРА. ИМИТАЦИОННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Казаков В. А., Бареева Р. З., Сайфетдинова М. К. РОЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ СПАСАТЕЛЕЙ

В статье раскрыта роль производственной практики как особого вида подготовки будущих спасателей и формирования их профессиональных навыков.

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ НАВЫКИ. СПАСАТЕЛИ. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА. КОМПЕТЕНТНОСТЬ. ГОТОВНОСТЬ. ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ЧРЕЗВЫЧАЙНАЯ СИТУАЦИЯ. САМОРЕГУЛИРОВАНИЕ. ЗНАНИЯ. УМЕНИЯ. СПЕЦИАЛИСТ. НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА. ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЙ АКТ. ОХРАНА ТРУДА. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ЛИКВИДАЦИЯ.

Кашеваров А. Н. О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В СОВРЕМЕННОЙ ПУБЛИЦИСТИКЕ И НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ ЦЕРКОВНОЙ ЖИЗНИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

В статье критически проанализированы две тенденции в современной публицистике и научно-популярной литературе о церковной жизни в годы Великой Отечественной войны. Обе тенденции весьма предвзято освещают положение и деятельность Русской православной церкви в 1941–1945 годах и не учитывают новейших исследований отечественных историков по этой теме.

ИСТОРИЯ. ВЕЛИКАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ВОЙНА. МОСКОВСКАЯ ПАТРИАРХИЯ. РУССКАЯ ЗАРУБЕЖНАЯ ЦЕРКОВЬ. РЕЛИГИОЗНОЕ ВОЗРОЖДЕНИЕ. КОЛЛАБОРАЦИОНИЗМ.

Аладышкин И. В. ОБРАЗ «ЕДИНСТВЕННОГО...» В СОВЕТСКОЙ ИСТОРИОГРАФИИ

В статье проводится анализ определенного стандарта изучения философии М. Штирнера, выработанного в советские годы в отечественной историографии. Выявляются негативные и положительные стороны исследований авторов обозначенного периода, обращавшихся к воззрениям немецкого мыслителя, предпринимается попытка наметить перспективы дальнейшего изучения теоретического наследия М. Штирнера с учетом результатов, достигнутых в советской науке.

М. ШТИРНЕР. ИНДИВИДУАЛИЗМ. ЭГОЦЕНТРИЗМ. СУБЪЕКТИВИЗМ. СОВЕТСКАЯ ИСТОРИОГРАФИЯ.

Тебряев А. А. О ПОНЯТИИ «ПРАВОПРЕЕМСТВО» КАК КАТЕГОРИИ ГРАЖДАНСКОГО ПРАВА

В статье проведен анализ позиций разных авторов по определению понятия «правопреемство» в российском гражданском праве.

ГРАЖДАНСКОЕ ПРАВО. ОБЯЗАТЕЛЬСТВА. ПРАВОПРЕЕМНИКИ. НАСЛЕДСТВО. СУБЪЕКТИВНОЕ ПРАВО. СУБЪЕКТИВНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ.

ABSTRACTS

KEYWORDS

Solovyev Y., Tadzhibaev A. BEHAVIOR OF AERODYNAMIC AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF COVERED CONDUCTORS UNDER INFLUENCE OF SERVICE FACTORS

Mathematical model of covered conductor which takes into account the influence of its aerodynamic and service characteristics including its strength properties behavior under service stresses on condition of overhead lines is proposed. Offered mathematical relations with regard to the next service stresses help to find a solution of overhead line condition assessment challenge. The stresses are: conductor tension behavior under vibration stresses as result of ice, wind and temperature loads; conductor bending stiffness behavior as result of materials structure features including inception and growth of defects under variable mechanical and thermal loads; strength properties of line accessories and construction units bearing mechanical loads.

COVERED CONDUCTOR. MATHEMATICAL MODEL. AERODYNAMIC CHARACTERISTICS. VIBRATION. CONDITION ASSESSMENT

Sukhichev M. I., Titkov V. V. ADVANCED THERMAL DIAGNOSIS OF ELECTRICAL CONTACTS

The artical discusses the improvement of thermal diagnosis of electrical contacts. This included relevance of the issue, the analytical and numerical solving method, thinkable diagnostic setting, enlargement of thermal diagnosis and limitations this method.

CONTACT. ELECTRIC CONTACT. THERMAL DIAGNOSIS. DIAGNOSIS.

Platonov I. D., Lyapidus A. A. CRITERIA OF DISPLAY OF SHUNTING EFFECT OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS IN THE NETWORK 0,4 kV

In article questions of influence of asynchronous electric motors on transient at short locking in cable lines by voltage 0,4 kV. Are considered the structure of the created settlement module for definition of criteria of shunting effect is described. The analysis of these criteria is made at various remoteness of a point of short locking from switching centre tyres.

SHUNTING EFFECT. ELECTRICAL CABLES. SHORT LOCKING. ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS.

Tuapetel J. V. INFLUENCE OF SECONDARY GAS FLOWS IN PASSAGES OF BLADES TO KINETIC ENERGY LOSS IN TURBINE STAGE

This paper consider the influence of secondary flows in passages of blades to the kinetic energy loss at transonic and supersonic speed using the commercial package Fluent

SECONDARY FLOW. TRANSONIC AND SUPERSONIC SPEED. KINETIC ENERGY. ROTOR BLADE.

Belko V. O, Emeljanov O. A. WORKING CAPACITY of the SEGMENTED ELECTRODES MODERN МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫХ CONDENSERS

The article presents the results of the investigations of self-healing process in metallized-film capacitors. The model of metallized films' electrodynamic destruction is proposed. The electrodes' geometric parameters calculation procedure is developed.

ELECTRICAL CAPACITOR. METALLIZED-FILM CAPACITOR. SELF-HEALING. SEGMENTED ELECTRODES. ELECTRODYNAMIC DESTRUCTION. ENERGY DENSITY.

Osipov A. V., Golushko A. N., Biryukov A. V. USING THE PHUSICAL AND NUMERICAL MODELLING FOR IMPROVEMENT THE EFFECTIVELESS OF PARTIAL STEAM TURBINE COMPARTMENT

In this article we justify the relevance of numerical and experimental studies of a model of the partial compartment of a steam turbine, using a dynamical air stand. The model consists of a control stage, a chamber, and a pressure stage. We describe the experimental model and the physical test conditions.

EXPERIMENTAL MODEL. MATHEMATICAL MODEL. CONTROL STAGE. CHAMBER AFTER CONTROL STAGE. CIRCUMFERENTIAL NON-SYMMETRY OF FLOW PARAMETERS. RADIAL NON-UNIFORMITY. PARTIAL ADMISSION. INTERSTAGE DISTANCE.

Konishchev M. A. JOINT OPERATION WIND AND HYDRO POWER STATIONS IN HYBRID SYSTEM WITH HYDRO ENERGY STORAGE

The paper is focused on the opportunities associated with wind and hydro power integration for energy storage and maximizing wind penetration. The purpose of work is creating reliable model of large-scale wind integration with joint operation of hydropower plants and wind energy storage.

WIND PARK (WP). HYDRO POWER STATION (HPP). HYBRID SYSTEM. ENERGY STORAGE.

Borovkov V. M, Mihajlov S. A. DISTRIBUTION OF EXPENSES TO REPAIR ON STRUCTURAL DIVISIONS OF THE GENERATING COMPANIES

The mathematical model of calculation of distribution of «constant» character expenses to repair of fixed assets on structural divisions of the generating companies is resulted. Definition of expenses of «constant» character is made. The accepted assumptions are specified. Comparison of calculated data with actual for 2008 is presented. The analysis of results received after the use of mathematical model of distribution of expenses is carried out. The factors influencing the subsequent adjustment of calculated data are designated. Advantages before «Methodical recommendations about definition of normative size of expenses on maintenance service and repair of the power equipment, buildings and constructions of power stations» are described.

MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION. EXPENSES OF «CONSTANT» CHARACTER. REPAIR OF FIXED ASSETS. COMPARISON OF CALCULATED DATA TO THE ACTUAL. DATABASE OF AN AUTOMATED WORKPLACE «POWER REPAIR». THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF EXPENSES. ADVANTAGES OF MATHEMATICAL MODEL.

Besedin S. N., Okunev E. I., Rassokhin V. A., MICROTURBINE GENERATOR OF POWER OF 100 KW (MTG-100)

The paper presents investigation and preparing of microturbine gas turbine unit of electrical power of 100 kW. The main attention is given to microturbine generator creation.

INDEPENDENT ENERGY SOURCES, GAS TURBINE INSTALLATIONS, SELF-ACTING GAS BEARING, TURBOGENERATORS, MICROTURBINES.

Borovkov V. M., Skulkin S. V. EXERGIC ANALYSIS OF THE THERMAL SCHEME OF INDIVIDUAL HEAT POINT ON THE DESIGN STAGE

Considered types of exergic losses, inherent in heat- and mass transfer equipment of individual heat point. Were calculated exergic losses for the project and alternative thermal scheme IHP of preschool educational institution. Calculated hidden reserve of fuel economy. Made the recommendations to promote reduction of exergetic losses IHP at the design stage.

EXERGIC ANALYSIS; EXERGIC LOSSES; INDIVIDUAL HEAT POINT; FUEL ECONOMY.

Pukhova O. V. ENERGY EFFICIENCY LIFTING PLATFORM FOR AUTOMATIC PALLETIZING EQUIPMENT

The article considers energy efficiency problems of palletizing technological equipment. Two developed schemes and descriptions of energy efficient lifting platforms which can be used for palletizing automatic equipment are performed. The lifting platforms include energy recuperators based on pneumatic and spring accumulators. Some equations for lifting platforms design parameters definition are shown.

ENERGY-EFFICIENCY. PALLETIZING. LIFTING PLATFORM. AUTOMATION. RECUPERATION.

Kozhubaev U. N., Prokofiev O. V., Filimonov V. I. THREAD-TRANSPORT BAND SYSTEM SIMULATION.

This paper explores the model of a thread-transport band system (TTBS), implemented in the environment of Matlab/Simulink. In particular, it is showed that the allowable short-term variation of input traffic and the TTBS parameters in the operation modes under adverse conditions can lead to emergency situations.

MODEL. CONVEYOR. THREAD-TRANSPORT BAND SYSTEM. DELAY.

Smirnov V. N, Nikitin S. V. LOGISTICAL MODEL OF RESEARCHES OF WAVE PROCESSES

New approaches to construction of dynamic model of conveyors with chain traction body are considered. The model based on a principle of modularity, allows not only to define efforts in knots and conveyor mechanisms more precisely, but also considerably simplifies algorithm of research of wave processes.

DYNAMIC MODEL. CONVEYOR. CHAIN TRACTION BODY. DYNAMIC EFFORTS. WAVE PROCESSES.

Yaskevich L. F. CALCULATION OF INDIVIDUAL CATERPILLAR SUSPENSION WITH THE BEST RUNNING SMOOTHNESS

A set of differential equations to determine design values corresponding to the best running smoothness of a caterpillar with an individual cushioning system is obtained.

VIBRATIONS. CATERPILLAR BODY. IRREGULARITY.

Rusinov R. V., Shelomov V. B., Dobretsov R. Yu. EFFICIENCY OF THERMAL PROCESS OF THE HIGH-SPEED DIESEL ENGINE WITH EXTREMELY HIGH DEGREE OF COMPRESSION

Questions on increase of profitability and specific power of high-speed diesel engines due to the organization of thermal process with maximum permissible pressure of a cycle are considered.

DIESEL ENGINE. RUNNING CYCLE. PROFITABILITY.

Sjusjuka E. N. INCREASE OF ACCURACY OF PROCESSING OF SURFACES ROLLING OF BASIC KNOTS OF CEMENT FURNACES ON THE BASIS OF THE STEP-BY-STEP DRIVE

Questions of working out of a linear electrohydraulic step-by-step drive as a part of adaptive system of regenerative processing of surfaces rolling basic knots of the rotating cement furnaces are considered, allowing to raise accuracy and productivity of processing. The information for calculation of a trajectory for correction of an error of installation of the machine tool is supplied.

MATERIAL STREAMS. DIJKSTRA'S ALGORITHM. CLARK AND WRIGHT ALGORITHM. ROUTES. OPTIMIZATION.

Zagorodnev D. I., Sanakulova L. A., Simonova L. A. OPTIMIZATION OF MATERIAL STREAMS ON THE BASIS OF HEURISTIC ALGORITHMS IN THE DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM OF A COMPANY FOR MECHANICAL ENGINEERING

Problems of optimization of material streams on an example of the machine-building enterprise are considered. Updating of algorithm of Clarke and Wright Algorithm with the integrated block of a choice of a vehicle and the block of its loading is offered.

MATERIAL STREAMS. DIJKSTRA'S ALGORITHM. CLARK AND WRIGHT ALGORITHM. ROUTES. OPTIMIZATION.

Smirnov V. N., Bazhenov A. A., Sapunova T. V. CALCULATION OF STRESS FIELD IN BULK MATERIALS AT WORK FABRICS STEEPLY INCLINED CONVEYOR WALLS

In the article the numerical method for calculating the stress field in a loose body on a cloth tape steeply inclined conveyor with partitions is described. The method of lines allows to calculate the level of the stress field in the loose bodies of complex geometric shapes commonly used in machines of continuous transport. A comparative check of accuracy of calculation by a method of the level lines with a variation method is given.

THE CONVEYOR. LOOSE CARGO. NUMERICAL METHOD. VARIATION METHOD.

Andronov A. A. SYSTEM ENGINEERING OF INDICATORS EF-FEKTIVNOSTI OF OPERATION TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL CARS OF THE FORESTRY

In article it is shown that efficiency of operation of wood cars op-redeljaetsja system of indicators. Operation is subdivided on proiz-vodstvennuju and technical operation which have various nazna-chenie. The author offers new system of indicators of efficiency eks-pluatatsii, including indicators industrial and technical ekspluatatsii.

SYSTEM OF INDICATORS. MAINTENANCE SERVICE. REPAIR. TRANSPORT TH AND TECHNOLOGICAL CARS.

Latyshonok M. B., Shemjakin A. V., Tarakanova N. M., Konov I. V. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF A DESIGN OF THE UNIVERSAL WASHING DEVICE OF ABRAZIVNO-CAVITATIONAL ACTION

The article contains the physical foundation for education cavitation bubble in a stream of washing liquid. The stages of its collapse and the impact on the abrasive particle located in the stream. We present an analytical dependence of the basic parameters of the nozzle and the value of the onset of intensive collapse of cavitation bubbles.

WASHING. CAVITATION. ABRASIVE, STREAM. NOZZLE.

Vitorsky Ia. M., Rudskoy A. I., Shaboldo O. P. HOT-COLD DEFORMATION FEATURES OF CREEP-RESISTING NIOBIUM ALLOY LN-1 DURING THE ROLLING

This paper is devoted to rolling of creep-resisting niobium alloy LN-1 sticks. The research of mechanical properties and structure was carried out. Cell formatted structure with high length boundaries was observed in the LN-1 sticks after its hot-cold rolling. The dislocation structure evolution of the alloy during hot-cold rolling determines its dependence type of cold brittle temperature and mechanical properties.

ROLLING. HOT-COLD DEFORMATION. CELLULAR STRUCTURE. CREEP-RESISTING NIOBIUM ALLOY.

Koltsova T. S., Nasibulin A. G., Tolochko O. V. NEW HYBRID COMPOSITE MATERIALS COPPER — CARBON NANOFIBERS

In this paper we propose a new method of preparing a composite material copper - carbon nanofibers (CNFs). A good dispersion was achieved by CNFs synthesis directly on the surface of the matrix of metal particles without the addition of the catalyst. The resulting composite material is almost 2 times more durable than copper, while maintaining the electrical properties.

GAS-PHASE SYNTHESIS. SYNTHESIS. COMPOSITE. COPPER. CARBON NANOFIBERS.

Galimov E. R., Maminov A. S., Belyaev A. V. DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED CONNECTIONS BY THE MULTIFRACTAL ANALYSIS METHOD

The possibility of mechanical properties' identification, as illustrated by hardness HV, for various zones of a welded connection of gas turbine engines parts made from steels of austenite grade on the basis of multifractal analysis of metallographic images of structure.

MATERIALS TECHNOLOGY. MULTIFRACTALS. MECHANICAL PROPERTIES. METALLOGRAPHY. WELDED CONNECTIONS.

Zharin D. E., Shafigullin L. N., Simonova K. V. SOUND-PROOF THERMOJET MATRIX COMPOSITE MATERIALS

Influence of matrix components (hardeners, softener, the modifier) on sound-proof properties epoxide and polyester composite materials is investigated. Effective structures of the rigid sound-proof materials concerning different classes of acoustic materials are defined.

COMPOSITE MATERIALS. THE POLYMERIC MATRIX. SOUND-PROOF PROPERTIES.

Bashenko V. V., Sharonov H. And. FEATURES of ELECTRON beam WELDING of RESSED NO-STAMPED ALUMINIUM ALLOYS

Similar and dissimilar weld joints of aluminum alloys are performed by electron beam welding. Optimal welding conditions with scanning "flattened clamp" are defined. Heat treatment for dissimilar weld joint of alloys 1560 M + Al – Zn – Mg is recommended. Mechanical and corrosion testing is carried out. Delayed in time fracture testing.

FUSION ELECTRON BEAM WELDING. "SOCKET – AND – SPIGOT" WELD JOINT. MECHANICAL AND CORROSION TESTING. IMPACT STRENGTH. DELAYED FRACTURE.

Sharonov N. I. APPLICATION OF ELECTRON BEAM WELDING IN TURBINE CONSTRUCTION

Brazing process during the obtaining of the heating channel of the gas turbines inlet directing apparatus (IDA) blades is substituted for the electron beam welding technology. Optimal variants of weld joint on blades design, depending on the allowance for machining are defined. Features of the thermal cycle of the weld and heat affected zone are marked. Metallographic examinations of the weld joints with various insertion materials are performed. Recommendations for heat treatment of weld joints are given.

BRAZING. ELECTRON BEAM WELDING. INSERTION. THERMAL CYCLE. "COSMETIC PASS". METALLOGRAPHIC EXAMINATIONS.

Drokina V. V. FEATURES OF DESIGNING OF THE CASTING MOULDS RECEIVED BY A METHOD OF THE THREE-DIMENSIONAL PRESS, BY MANUFACTURE ALUMINIUM CASTINGS

Nowadays a great number of Russian metallurgical works use 3D printing method for patterns production. The lack of information about mechanical and thermal properties of ZCast sand is a matter of some difficulty to optimize the wall thickness of the moulds while their designing. Therefore some tests were carried out in order to determine physical and technological properties of ZCast sand. These properties were studied depending on different forming conditions of the mould before pouring it with aluminium alloy.

RAPID PROTOTYPING TECHNIQUE. 3D PRINTING METHOD. ALUMINIUM ALLOYS. ZCAST. MOULD. CASTING. MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES.

Bogolepov I. I., Lapteva N. A. NOISE MAP OF THE CITY: PROBLEMS AND DECISIONS

Disadvantage of all noise maps of the city is unknown persons accuracy and reliability, the levels of a sound specified in them. Article is devoted the analysis of existing noise maps in Russia and in the European Union. The joint method of development of a noise map of the city with known accuracy and reliability is as a result offered.

NOISE MAP OF THE CITY. EQUIVALENT LEVEL OF A SOUND. ACCURACY AND RELIABILITY OF THE MEASURED VALUE.

Kuzevanov V. Ya., Sizykh S. V. ECOLOGICAL RESOURCES OF BOTANIC GARDENS: LINKING BIODIVERSITY AND HUMAN WELL-BEING

The review describes modern roles of botanic gardens (BGs) as unique ecological resources providing a preservation of biodiversity and a sustainable development of society. Modern botanic gardens should be also considered as innovative institutions, a natural and cultural heritage promoting of competitiveness of regions and improvement of human well-being.

BOTANIC GARDENS. BIODEVERSITY. HUMAN DEVELOPMENT INDEX. HUMAN WELL-BEING. INNOVATIONS. NATURAL HERITAGE. CULTURAL HERITAGE. ECOLOGY.

Filimonov A. A. DEVELOPMENT OF ECONOMY AND SAFETY OF BRIC COUNTRIES GENETIC DIVERSITY

The paper is devoted to the relationship between economic development of the BRIC countries and a possible threat to their genetic diversity caused by invasive alien species (IAS). Possible relationships between the current value of the socio-economic variables (GDP, HDI) and the number of universities and botanical gardens are discussed.

To prevent unintended invasions the botanical gardens are proposed to cooperate with the existing plant, animal and human health agencies.

BRIC COUNTRIES. ECONOMIC DEVELOPMENT. GDP. HDI. INVASIVE ALIEN SPECIES. BOTANICAL GARDENS.

Ovsyannikov S. V. ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND DYNAMICS OF INDICATORS OF THE MAINTENANCE OF HEAVY METALS IN SOILS (ON AN EXAMPLE OF THE KEMEROVO REGION)

One of indicators of an ecological condition of the geological environment is character of pollution of the soils accepting the basic share of anthropogenous influence. In article the questions connected with environmental contamination by heavy metals, on an example of the Kemerovo region are considered.

ECOLOGY. POLLUTION OF SOILS. HEAVY METALS. THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT.

Plakhova L. V., Vishnevskaya N. L. PROBLEMS OF MONITORING AND EVALUATION OF SAFETY NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY IN ENVIRONMENTAL HEALTH

An assessment of the physical-chemical methods of research for the control, certification and hygienic safety assessment nonomatarialov. Methods for determination of some heavy metals in biological environments, which are approved by the Health Ministry and Rospotrebnadzor Russian Federation and can be used to evaluate the safety of nanomaterials.

NANOMATERIALS. PHYSICAL-CHEMICAL METHODS. ATOMIC ABSORPTION. THE BIOLOGICAL MEDIA.

Vishnevskaya N., Sivak E., Chernishova V. WATER SUPPLY OF THE INDUSTRIAL CITY AND HEALTH OF CHILDREN

There is an ecological and hygiene characteristics of an industrial city water supply. Non infections and dental diseases are shown to be depended of fresh water quality, concentrations of natural minerals and pollutants.

DRINKING WATER MINERAL COMPOSITIONS CHILDREN NON INFECTIONS DENTAL DISEASES

Umanets V. N. PROBABILISTIC ESTIMATION GEOECOLOGICAL RISK OF POLLUTION OF GEOSPHERES DEPARTURE HOUSING-PUBLIC FACILITIES (HPF).

Is Offered probabilistic approach and concrete analytical dependencies for forecasting and quantitative estimation of geoecological risk of pollution of geospheres departure housing-public facilities.

GEOECOLOGY. GEOSPHERE OF THE EARTH. GYDROSPHERE. HOUSING-PUBLIC FACILITIES. INDEX OF POLLUTION. VARIABILITY. DISTRIBUTION OF PROBABILITY. GEOECOLOGICAL RISK.

Naumov I. V. AVERAGE HORIZONTAL MOVING OF ELASTIC SEMISPACE UNDER RECTANGULAR AREA OF LOADING FROM THE LOADING TANGENT

In article the formula of average horizontal moving of elastic semispace under rectangular area of loading from a tangent of in regular intervals distributed loading operating in a direction of an axis x is received.

THE ELASTIC SEMISPACE. IN REGULAR INTERVALS DISTRIBUTED LOADING. MOVING. PLATFORM OF LOADING.

Barushnikov S. O., Kulikov S. A. TECHNOLOGICAL OPERATIONS PRECISION RAISE TO INDUSTRIAL ROBOT IN SHIP REPAIR

This paper presents a new estimation technique for matrix position transformation to industrial robot in ship repair. The precision raise problem is formulated in the least absolute value sense with objective to minimize the absolute deviations. A set of overdetermined equations in matrix form for the unknown matrix is obtained.

SHIP REPAIR. INDUSTRIAL ROBOT. MATRIX POSITION TRANSFORM. PARAMETER ESTIMATION.

Antonova O. V., Borovkov A. I. DESIGN PROCEDURE OF A HYDRODYNAMIC CONDITION STEP-BEARINGS HYDROGENERATORS Hydrodynamic models of thrust bearing workspace filled by liquid lubricant were developed. The series of 3-D hydrodynamic problems for different values of minimum oil-wedge film thickness and pad angles were solved. The method for calculation of hydrogenerator thrust bearings hydrodynamic state was developed.

HYDROGENERATOR. THRUST BEARING. OIL-FILM WEDGE. CFD – ANALYSIS.

Tsaplin A. I., Bochkarev S. V. DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF LIQUEFIED NATURAL GAS SUPPLY TO THE ENGINE

Article presented model growth line pressure engine aircraft cryogenic when specific conditions, thermal insulation. Using the heat balance equation, managed to get a model in the simple linear form. This makes the model suitable for use in addressing practical tasks related to the design of the fuel systems of liquefied natural gas engine.

LIQUEFIED NATURAL GAS. ENGINE. PIPELINE. EXPERIMENT. CALCULATION. PRESSURE. HEAT.

Nurulin Y. R., Skvortsova I. V., Nurulin D. Y. THE ANALYSIS OF METHODS OF OPEN INNOVATIONS AT POLYTECHNICAL UNIVERSITY

Conceptual problems of development of the Open Innovations methodology are studied in the article. Extended SWOT analysis of polytechnical university from Open Innovation point of view has been done. Research directions that are necessary for practical realization of the Open Innovations conception in a university have been formulated.

OPEN INNOVATIONS. COMMERCIALIZATION OF SCIENTIFIC RESULTS. SWOT ANALYSIS. INNOVATION INFRASTRUCTURE. INNOVATION PROCESS.

Vinogradova E. B., Mudrova E. B. PROSPECTS OF PREPARATION OF SCIENTIFIC AND PEDA-GOGICAL SHOTS OF UNIVERSITY

The article represents a set of forecasts for Saint Petersburg State Polytechnic University scientific and educational personnel's structure depending on its process of reproduction characteristics. These forecasts were obtained through the dynamics stimulation model using systems and objective approach. Any solution to the problems of scientific and educational personnel training and rotation within a self-contained university system was proved impossible. The article also represents brief description of the research procedure.

STRUCTURE OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL PERSONNEL. POSTGRADUATE COURSE. DYNAMICS SIMULATION MODEL.

Kazakov V. A., Bareeva R. Z., Sajfetdinova M. K. RESCUES' PROFESSIONAL SKILLS SHAPING IN PROCESS OF PRACTICAL TRAINING

The role of practice as the particular kind of future rescuers training and professional kills forming is shown in this article.

PROFESSIONAL SKILLS. RESCUERS. PRACTICAL TRAINING. COMPETENCE. READINESS. VITAL ACTIVITY. EMERGENCY SITUATION. SELF-REGULATION. KNOWLEDGE. SKILLS. SPECIALIST. REGULATORY AND LEGAL FRAMEWORK (STANDARD LEGAL FOUNDATION). LEGISLATION. LABOR PROTECTION. ACTIVITY. LIQUIDATION

Kashevarov A. N. ABOUT SOME TENDENCIES OF THE CONTEMPORARY JOURNALISM AND POPULAR SCIENTIFIC LITERATURE IN THE REVIEW OF CHURCH LIFE DURING THE WORLD WAR II.

In the article two tendencies of the contemporary journalism and the popular scientific literature about the church life during of World War II are critically analyzed. Both tendencies rather prejudicedly shine position and activity of the Russian Orthodox Church during 1941 - 1945 and they do not consider the newest researches of the domestic historians on this theme.

HISTORY. THE WORLD WAR II. THE MOSCOW PATRIARCHATE. THE RUSSIAN CHURCH ABROAD. RELIGIOUS REVIVAL. THE COLLABORATION.

Aladushkin I. V. THE IMAGE «tHE ONLY THING ...» IN THE SOVIET HISTORIOGRAPHY

The article includes analysis of elaborated in soviet historiography stereotype of M. Stirner's philosophy criticize. On the base of exposing negative and positive aspects of science perception of egocentrism ideas in this period, undertaken attempt to trace a having prospects course in study of M. Stirner's theoretical heritage.

M. STIRNER. INDIVIDUALISM. EGOCENTRISM. SUBJECTIVISM. SOVIET HISTORIOGRAPHY.

Tebriaev A. A. ABOUT NOTION «SUCCESSION» AS CATEGORIES OF THE CIVIL RIGHT

Analysis position different authors is conducted in article about determination «succession» in russian civil right.

CIVIL RIGHT. OBLIGATION. ASSIGNEES. INHERITANCE. SUBJECTIVE RIGHT. SUBJECTIVE DUTIES.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ СПбГПУ

№ 3 (106) 2010

НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Учредитель – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Издание зарегистрировано в Госкомпечати РФ, свидетельство № 013165 от 23.12.94

Редакция

академик РАН *Ю.С. Васильев* – председатель редакционной коллегии
д-р ист. наук, профессор *Р.В. Дегтярева* – заместитель председателя
д-р техн. наук, профессор *В.Н. Боронин* – заместитель председателя
доцент *Л.В. Спиридонова* – научный редактор, корректор
Н.П. Измайлова – помощник выпускающего редактора
О.А. Матенев – технический секретарь

Телефон редакции (812) 294-47-72

E-mail:ntv-nauka@spbstu.ru

Компьютерная верстка *Е.А. Типцовой*

Директор Издательства Политехнического университета *А.В. Иванов*

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано в печать 08.10.2010. Формат 60×84 1/8. Бум. тип. № 1.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,0. Уч.-изд. л. 37,0. Тираж 1000. Заказ 299.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.
Издательство Политехнического университета,
член Издательско-полиграфической ассоциации университетов России.
Адрес университета и издательства: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29.

УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ

в журнале «Научно-технические ведомости СПбГПУ» Серия «Наука и образование»

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Журнал «Научно-технические ведомости СПбГПУ» является периодическим печатным научным рецензируемым изданием. Он зарегистрирован в Госкомпечати РФ (свидетельство № 013165 от 23.12.94) и распространяется по подписке агентства «Роспечать» (индекс 18390).

Журнал с 2002 года входит в Перечень ведущих научных рецензируемых журналов и изданий (перечень ВАК) и принимает для печати материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук по научным направлениям: Экономика, Управление, Информатика, Вычислительная техника, Физика, Энергетика, Машиностроение, Металлургия, Радиотехника и связь, Электроника, Измерительная техника.

В соответствии с решением Президиума ВАК от 24 ноября 2009 года журнал прошел перерегистрацию на 2010 год.

Периодичность выхода журнала — 4 номера в год.

Научные направления серии «Наука и образование», учитываемые ВАК Минобрнауки РФ при защите докторских и кандидатских диссертаций в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников: Энергетика. Машиностроение, Металлургия.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ МАТЕРИАЛАМ

2.1. Оформление материалов

1. Объем статей докторов наук, профессоров, докторантов, соискателей ученой степени доктора наук, как правило, 12–20 страниц формата А-4. Количество рисунков и фотографий не должно превышать 4, таблиц — 3, литературных источников — 15.

2. Объем статей преподавателей, сотрудников, аспирантов, соискателей ученой степени кандидата наук, как правило, 8–15 страниц формата А-4. Количество рисунков и фотографий не должно превышать 3, таблиц — 2, литературных источников — 10.

3. Авторы должны придерживаться следующей обобщенной структуры статьи: вводная часть (актуальность, существующие проблемы — объем 0,5–1 стр.); основная часть (постановка и описание задачи, изложение и суть основных результатов); заключительная часть (предложения, выводы — объем 0,5–1 стр.); список литературы.

4. Число авторов статьи — не более трех человек.

5. Набор текста осуществляется в редакторе MS Word, формул — в редакторе MS Equation. Таблицы набираются в том же формате, что и основной текст.

Шрифт — TNR, кегль шрифта основного текста — 14, интервал — 1,5. Таблицы большого размера могут быть набраны 12 кеглем. Параметры страницы: поля слева 3 см, сверху, снизу 2,5 см, справа 2 см. Текст размещается без переносов. Абзацный отступ — 1 см.

6. Рисунки, таблицы, фотографии размещаются по тексту статьи.

2.2. Представление материалов

Вместе с материалами статьи в редакцию должны быть обязательно представлены:

- номер УДК в соответствии с классификатором (в заголовке статьи);
- аннотация статьи (2–3 предложения) на русском и английском языках;
- ключевые слова статьи (5–7 слов) на русском и английском языках;
- сведения об авторах: ФИО, место работы, рабочий телефон, должность, ученое звание, ученая степень, контактный телефон, e-mail;
- рекомендация на имя заместителя главного редактора журнала, подписанная научным руководителем автора и/или руководителем структурного подразделения. Рекомендация должна быть ОБЯЗАТЕЛЬНО заверена в отделе кадров;
- рецензия на имя заместителя главного редактора, подписанная специалистом, имеющим ученую степень доктора наук и/или ученое звание профессора. Рецензия должна быть ОБЯЗАТЕЛЬНО заверена в отделе кадров. Рецензент несет ответственность за содержание статьи, достоверность представленных материалов.

При необходимости редколлегия может потребовать представления акта экспертизы.

Все материалы должны быть представлены по электронной почте: e-mail: **ntv-nauka@spbstu.ru**

2.3. Рассмотрение материалов

Представленные в редакцию материалы (п. 2.2) первоначально рассматриваются редакционной коллегией и передаются на рецензирование. После одобрения материалов, согласования различных вопросов с автором (при необходимости) редакционная коллегия сообщает автору решение об опубликовании статьи, в противном случае она направляет автору мотивированный отказ.

При отклонении материалов из-за нарушения требований по оформлению или как не отвечающих тематике журнала материалы не публикуются и не возвращаются.

Редакционная коллегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

Публикация материалов аспирантов осуществляется бесплатно в соответствии с очередностью.

При поступлении в редакцию значительного количества статей их прием в очередной номер может закончиться ДОСРОЧНО.

Более подробную информацию можно получить по телефону/факсу редакции:

(812) 294-47-72 (с 10 до 18 часов, Олег Александрович) или по e-mail: **ntv-nauka@spbstu.ru**