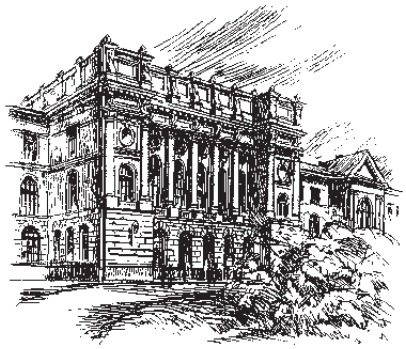
3-1(154)/2012



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., академик РАН; Патон Б.Е., академик НАН Украины и РАН;
Рудской А.И., чл.-кор. РАН; Федоров М.П., академик 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;
Бабкин А.В., к. техн. наук, д-р экон. наук, профессор;
Боронин В.Н., д-р техн. наук, профессор — зам. председателя;
Гуменюк В.И., д-р техн. наук, профессор;
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;
Кириллов А.И., д-р техн. наук, профессор;
Кузнецов Д.И., д-р филос. наук;
Рассохин В.А., д-р техн. наук, профессор;
Снетков В.Н., д-р полит. наук, профессор;
Толочко О.В., д-р техн. наук, профессор.

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

Журнал с 2002 года входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Сведения о публикациях представлены в Реферативном журнале ВИНИТИ РАН, в международной справочной системе «Ulrich´s Periodical Directory.

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

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

С 2005 года журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки на сайте http://www.elibrary.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, 2012

Содержание

Предисловие научного редактора 5

Васильев Ю. С., Козлов В. Н., Федоров М. П. *Математические модли управления динамикой устойчивого развития в условиях глобализации* 6

Игнатьев М. Б. *Проблемы устойчивого развития в информационном обществе* 12

Федоров М. П., Васильев Ю. С., Блинов Л. Н. *Устойчивое развитие и образование* 26

Васильев Ю. С., Романов П. И. *Рациональное прогнозирование потребности экономики в кадрах как элемент устойчивого развития* 37

Васильев Ю. С., Дубаренко К. А., Ермилов В. В. *Высшее образование – фактор устойчивого развития России* 40

Горюнов В. П. *Техносоциальные основания модернизации и устойчивого развития* 60

Снетков В. Н. *Правовые основы устойчивого развития* 67

Карпов Ю. Г. *Устойчивое развитие общества и обеспечение качества программных систем управления* 70

Шкодырев В. П. *Инновационные технологии в задачах управления большими распределенными системами* 73

Елистратов В. В. *Использование возобновляемых источников энергии – путь к устойчивому развитию* и энергоэффективности 77

Игнатьев М. Б., Яковлев Р. М. *Альтернативная ядерная энергетика и устойчивое развитие* 84

Козлов В. Н., Нгуен Х. Д., Фирсов А. Н. *Устойчивое развитие энергетики России на основе системы автоматического управления нефтеснабжением* 92

Козлов В. Н. *Обеспечение устойчивого развития электроэнергетических систем средствами управления частотой и перетоками активной мощности* 97

Козлов В. Н., Тросько И. У. *Устойчивые режимы энергетических систем на основе управления хаотическими процессами* 111

Сведения об авторах. Контактные данные 118

Аннотации. Ключевые слова 120

Contents

Foreword Science Editor 5

Vasilyev Y. S., Kozlov V. N., Fedorov M. P. *Mathematical model of management dynamics of sustainable development in the globalization* 6

Ignatyev M. B. *Sustainable development problems on informational societ* 12

Fedorov M. P., Vasiliev Y. S., Blinov L. N. *Sustainable development and education* 26

Vasilyev Y. S., Romanov P. I. *Management forecasting requirements for economy size as an element of sustainable development* 37

Vasilyev Y. S., Dubarenko K. A., Ermilov V. V. *Higher education is a factor of sustainable development of Russia* 40

Goryunov V. P. *Tehnosocial foundations of modernization and sustainable development* 60

Snetkov V. N. *Sustainable development legal bases* 67

Karpov Yu. G. *Sustainable social development and quality assurance of software systems to manage* 70

Shkodyrev V. P. *Innovative technologies in the problems of managing large distribution systems lennymi* . 73

Elistratov V. V. *Renewable energy sources — the path to the Sustainable Development and Energy Efficiency* 77

Ignatyev M. B. Jakovlev R. M. Alternative nuclear energetics and sustainable development 84

Kozlov V. N., Nguyen D. Kh., Firsov A. N. *Stable development of Russian power industry on basis of oil supply automatic control system* 92

Kozlov V. N. Towards sustainable development of power system controls and speed flow active power.... 97

Kozlov V. N., Trosko I. U. A stable modes of power systems based on chaos control 111

About the authors. Contact information 118

Abstracts. Keywords 123

ПРЕДИСЛОВИЕ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА К ТЕМАТИЧЕСКОМУ ВЫПУСКУ «УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЭНЕРГЕТИКА»

В 1992 г. Россия в числе 179 государств на Саммите глав государств и Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро) подписала ряд программных документов, определяющих согласованную политику стран мира по обеспечению устойчивого развития. Руководствуясь ими, Президент России утвердил «Основные положения государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» (Указ № 236 от 4.02.94 г.) и «Концепцию перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» (Указ № 440 от 1 апреля 1996 г.).

В 2002 г. в Йоханнесбурге состоялась «Всемирная встреча на высшем уровне по устойчивому развитию». Принятая на этом форуме декларация отразила эволюцию мирового консенсуса по расширению трактовки (ранее в основном экологического) понятия «устойчивое развитие». В политической декларации форума записано: «Мы, представители народов мира, вновь подтверждаем нашу приверженность устойчивому развитию. Исходя из этого, мы берем на себя коллективную ответственность за усиление и упрочение взаимосвязанных основ устойчивого развития — экономического развития, социального развития и охраны окружающей среды — на местном, национальном, региональном и глобальном уровнях».

Для достижения целей, сформулированных в политической декларации, форум утвердил «План выполнения решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию». В нем подчеркивается, что: «Существенно важное значение для устойчивого развития имеет благое управление в рамках каждой страны и на международном уровне. Основу устойчивого развития на национальном уровне составляют продуманная экологическая, социальная и экономическая политика». Особая роль в этом документе, как ключевому фактору перемен отводится образованию. Это не случайно, так как система образования закладывает основы для экономического, социального и экологического развития страны. Духу и букве подписанных Россией в Йоханнесбурге документов отвечает «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года».

Таким образом, устойчивое развитие как категория в настоящее время приобретает особое значение, расширяет свои границы. Начинаясь с устойчивости предприятия, отрасли, страны, эта категория включает глобальные угрозы экономического, экологического и социального характера, без учета которых проблема устойчивого развития не может быть решена.

В данном сборнике представлены результаты исследований ученых СПбГПУ. Статьи посвящены философским, социальным, экономическим, экологическим, образовательным и, особенно, энергетическим аспектам комплексной проблемы устойчивого развития. Эти результаты дополняют работы в области устойчивого развития, выполненные в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт» под руководством академика Национальной академии наук Украины, доктора технических наук, профессора, Почетного доктора СПбГПУ М.З. Згуровского.

Президент СПбГПУ, академик РАН
Ю. С. Васильев

Ю. С. Васильев, В. Н. Козлов, М. П. Федоров

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Глобализация мирового сообщества по совокупности природно-экологических [1, 2], возобновляющихся [2], энергетических [2, 3], экономических, финансовых, кадровых, интеллектуальных, социальных и других видов ресурсов требует координации внутригосударственного и межгосударственного управления ими. Для синтеза методов *координации устойчивого развития ресурсами* необходимы математические модели, целевые условия и ограничения, описывающие динамику взаимодействия по ресурсам. Далее рассматриваются вопросы постановки и *математические формулировки задачи координации* на основе локально-оптимальных стратегий, приближенных моделей связи между ресурсами и управлениями с учетом ограничений.

Постановка задач координации. Постановка задачи координации определяется совокупностью требований к классам используемых моделей, целевым функционалам и ресурсным ограничениям. Математические модели проблем взаимодействия по перечисленным группам ресурсов могут быть сформулированы на основе требований к универсальности представления целевых условий, моделей влияния управлений (координации) на ресурсы государств-участников процесса и ограничений по ресурсам. Данным требованиям удовлетворяют модели, представленные в виде дифференциальных или разностных уравнений, описывающих *динамику стратегий государств*.

Координирующие управления должны обеспечивать требования, заданные решениями задач *математического программирования*. Последнее условие определяется известной универсальностью постановок задач математического программирования, однако требует для конструктивного синтеза разработки методов и алгоритмов для аналитического представления оптимальных решений. Ниже рассматривается математическая формулировка задачи локально-оптимального управления ресурсами на основе операторного представления численно-аналитических решений проекционного типа [3, 4].

Математическая формулировка задачи координации. Формулировка проблемы координации может быть дана следующим образом (при этом рассматриваются уравнения динамики систем, управляющих ресурсами, минимизирующих функционал качества на конечном интервале и асимптотически устойчивых на полубесконечном интервале). Общий вид минимизируемого функционала и ограничения на координаты и управления приводят к необходимости решения задачи математического программирования на каждом шаге процесса управления. Учитывая дискретность управления, можно представить уравнения объекта разностными кусочно-линейными системами, адекватными в дискретном времени одной из канонических форм [3, 4]. Уравнения координатора должны быть представлены *операторами оптимизации*, описывающими алгоритмы координации на основе операторов конечномерной оптимизации.

Системы координации с операторами оптимизации на целевом многообразии могут формулироваться следующим образом. Структура и алгоритмы управления систем должны обеспечивать асимптотическую устойчивость в условиях минимизации локального критерия качества. Объекты межгосударственного координированного управления можно описать каноническими урав-

нениями, удовлетворяющими условию управляемости [3, 4]:

$$x' = A\Phi_x(x) + B\Phi_u(u),\ x(t_0) = x^0,\ \ y = cx. \quad (1)$$

Как и ранее, $x \in \mathbb{R}^n, u \in \mathbb{R}^m, y \in \mathbb{R}^s$ — векторы состояний, управлений и выходных координат $(s \le n)$; A, B и C — числовые матрицы размера $(n \times n), (n \times m)$ и $(s \times n)$; $\Phi_x(x) \in \mathbb{R}^n$ и $\Phi_u(u) \in \mathbb{R}^m$ — операторы с кусочно-линейными координатными функциями $\varphi_i(\cdot)$, такими, что $\Phi_x(0) = 0$ и $\Phi_u(0) = 0$. Предположим, что в силу последних свойств операторов система (1) может быть представлена следующим образом:

$$x' = A_1 x + B_1 u + \psi_0(x,u),\ x(t_0) = x^0,\ \ y = cx, \quad (2)$$

где $\psi_0(x,u)$ — кусочно-линейный оператор, такой, что $\lim \|\psi_0(x,u)\| / (\|x\| + \|u\|) = 0, \|x\| + \|u\| \to 0.$ Предполагается, что в уравнениях первого приближения

$$x' = A_1 x + B_1 u,\ x(t_0) = x^0,\ \ y = cx, \quad (3)$$

матрица A_1 имеет собственные числа с отрицательными вещественными частями, т. е. $\operatorname{Re}\lambda_i < 0,\ i = 1, 2, \ldots, n.$ Выполнение последних предположений создает предпосылки для существования стабилизирующих управлений, синтезированных на основе уравнений первого приближения, когда $u = u(x)$.

Дискретный характер управления в управляемых системах приводит к необходимости адекватного описания объекта (1) разностными уравнениями:

$$x_{k+1} = \tilde{\Psi}[x_k, \Phi_x(x_k), \Phi_u(u_k), h],$$

$$x_{k_0} = x_0^0\ y_k = cx_k, \quad (4)$$

где x_k, u_k, y_k — векторы состояний, управлений и выходных координат (ресурсов) в дискретные моменты времени $kh,\ k \in N$; $\tilde{\Psi}(\cdot)$ — оператор с кусочно-линейными координатными функциями. Стабилизация системы (4) с *координирующей обратной связью*, заданной операторами оптимизации проекционного типа при ограничениях на координаты и управления, может оказаться невозможной в классе статических регуляторов. Для обеспечения асимптотической устойчивости управляемых систем координации целесообразно использовать динамические устройства управления. Поэтому управление будет задано в классе разностных уравнений:

$$u_{k+1} = Gu_k + L\hat{u}_k^*(\cdot),\ u_{k_0} = u^0, \quad (5)$$

где G и L — соответственно, $(m \times m)$ и $(m \times m)$ — числовые матрицы, а вектор $\hat{u}_k^*(\cdot) = P(u_k, x_k)$ определяется векторным кусочно-линейным оператором управления, обеспечивающим выполнение заданных целевых условий. Пусть векторы состояний x_k и выходов y_k — *текущие значения ресурсов*, определяются непосредственно (или оцениваются) и необходимо определить *координирующие управления* u_k для достижения интервальных целевых условий:

$$y_{k+1} \in D_l^y, \quad l = 1, 2, 3, 4, \quad (6)$$

при некотором $k \ge k^* > k^0$. Одновременно должен приближенно минимизироваться один из *суммарных функционалов:*

$$J(y_k, u_k) = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\Delta y_k^{коорд}\right)^T Q\left(\Delta y_k^{коорд}\right) +$$

$$+ \sum_{k=0}^{\infty} \hat{u}_k^T R\hat{u}_k,\ Q = Q^T > 0,\ R = R^T > 0, \quad (7,а)$$

$$\Delta y_k^{коорд} = y_k - y_k^{коорд},$$

где $y_k^{коорд}, y_k$ — *векторы заданных координирующих требований* по совокупности ресурсов и текущие значения ресурсов. Смысл функционала состоит в том, что первое слагаемое определяет отклонение от координации текущих значений ресурсов, а второе — затраты на *координирующие управления*. В частном случае, для иллюстрации методики решения задачи стабилизации устойчивого развития на заданных значениях ресурсов, можно использовать квадратичный функционал

$$J(y_k, u_k) = \sum_{k=1}^{\infty} y_k{}^T Q y_k + \sum_{k=0}^{\infty} \hat{u}_k{}^T R\hat{u}_k,$$

$$Q = Q^T > 0,\ R = R^T > 0. \quad (7,б)$$

Приближенную минимизацию (7,б) можно выполнить минимизацией отдельных слагаемых на каждом шаге процесса координации. С этой целью вектор $z_k^* = \left(y_{k+1}^*, \hat{u}_k^*\right)^T$ должен вычисляться в соответствии с условием *локальной минимизации:*

$$z_k^* = \arg\min\left(y_{k+1}^T \; Qy_{k+1} + \hat{u}_k^T R\hat{u}_k\right), \qquad (8)$$

при ограничениях на выходные координаты и управления:

$$y_{k+1} \in D_l^y, l = 1,2,3,4, \;\; u_{k+1} \in D_l^u, l = 1,2,3,4.$$

Множества D_l^y и D_l^u могут представлять собой многомерный параллелепипед $(l=1)$, «полосу» $(l=2)$, полупространство $(l=3)$ или шар $(l=4)$. При окончательной формулировке ограничений задачи используются разностные уравнения:

$$x_{k+1} = H_1 x_k + F_1 \hat{u}_k, \qquad (9,а)$$

адекватные в дискретном времени системе первого приближения (3). Прогнозирование значений выходных координат будет осуществлен на основе алгебраической системы:

$$y_{k+1} = cx_{k+1}. \qquad (9,б)$$

В результате задача пошаговой минимизации формулируется в виде отыскания вектора z_k^*, определенного равенством (8), при ограничениях:

$$y_{k+1} - CF_1\hat{u}_k = CH_1 x_k, \;\; y_{k+1} \in D_l^y, \;\; \hat{u}_k \in D^u,$$

сформулированных с учетом целевых условий (6) и уравнений (9.а) и (9.б). Для использования операторов оптимизации при решении сформулированной задачи необходимо преобразовать функционал в (8) к виду, представляющему норму в некотором пространстве. Предположим, что матрицы Q и R функционала диагональные: $Q = diag\, Q_{ii} \neq 0, \quad i = 1, 2, \ldots, s,$ и $R = diag\, R_{jj} \neq 0,$ $j = 1, 2, \ldots, m.$ В соответствии с методикой преобразования вводятся новые переменные, определенные равенством:

$$\begin{pmatrix} \hat{y}_{k+1} \\ \hat{u}_k \end{pmatrix} = \left(\begin{array}{c|c} Q^{1/2} & 0 \\ \hline 0 & R^{1/2} \end{array}\right) \begin{pmatrix} y_{k+1} \\ \hat{u}_k \end{pmatrix},$$

в котором квадратные корни из числовых матриц Q и R представляют собой диагональные матрицы с элементами $Q_{ii}^{1/2}$ и $R_{jj}^{1/2}$. Тогда задача квадратичного программирования формулируется следующим образом: найти пару, задаваемую вектором

$$\tilde{z}_k^* = \left(\tilde{y}_{k+1}^*, \tilde{u}_k^*\right)^T = \arg\min\left(\left\|\tilde{y}_{k+1}\right\|^2 + \left\|\tilde{u}_k\right\|^2\right) \qquad (10)$$

при ограничениях

$$\tilde{y}_{k+1} - \tilde{F}_1\tilde{u}_k = \tilde{H}_1 x_k, \qquad (11)$$

$$\tilde{y}_{k+1} \in D_l^{\tilde{y}}, \; \tilde{u}_k \in D^{\tilde{u}}, \qquad (12)$$

где $\tilde{F}_1 = Q^{1/2}CF_1\left(R_1^{1/2}\right)^{-1}$, $\tilde{H}_1 = Q^{1/2}CH_1$, а множества $D_l^{\tilde{y}}$ и $D_l^{\tilde{u}}$ соответствуют D_l^y и D_l^u в новом пространстве. Ограничения (11) определяют линейное многообразие в расширенном пространстве, а (12) — простейшие множества этого пространства. Поскольку функционал в (10) представляет собой сумму квадратов норм, то точка условного минимума определяется оператором оптимизации, если множества $D_l^{\tilde{y}}$ и $D_l^{\tilde{u}}$ одинакового типа. Тогда уравнения алгоритмически управляемой системы с динамическим регулятором при наблюдаемом векторе x_k можно представить следующим образом [3, 4]:

$$x_{k+1} = \tilde{\Psi}\left[x_k, \Phi_x\left(x_k\right), \Phi_u\left(u_k\right), h\right], x_{k_0} = x^0,$$

$$y_k = Cx_k,$$

$$u_{k+1} = Gu_k + L\tilde{u}_k^*\left(\cdot\right), \; u_{k_0} = u^0, \qquad (13)$$

где $\tilde{u}_k^*\left(\cdot\right) = T\left[P^0\left(\tilde{z}_k^0\right) + \alpha_k \tilde{P}^0\left(P_l^-\left(P^0\left(\tilde{z}_k^0\right)\right) - P^0\left(\tilde{z}_k^0\right)\right)\right]$ — *оператор оптимизации*, согласованный с рассматриваемой задачей. Последнее приводит к тому, что вектор $\tilde{z}_k^0 = \left(\tilde{y}_{k+1}^0, \tilde{u}_k^0\right)^T$ — нулевой, что соответствует совпадению точки безусловного минимума с началом координат; матрица $T = \left(0 \;\vdots\; \left(R^{1/2}\right)^{-1}\right)$ выделяет вектора $\hat{u}_k^*$

из вектора $\tilde{z}_k^*$. Оператор проецирования $\tilde{z}_k^0$ на линейное многообразие (11) имеет вид:

$$P^0\left(\tilde{z}_k^0\right) = \tilde{A}^T\left(\tilde{A}\tilde{A}^T\right)^{-1}\tilde{H}_1 x_k\,, \qquad (14)$$

причем матрица $\tilde{A} = \left(E \mid -\tilde{F}_1\right)$. Оператор P_l^- в (13) осуществляет проецирование вектора $P^0\left(\tilde{z}_k^0\right)$ на одно из множеств $D_l^{\tilde{z}}$ с учетом преобразования D_l^y и D_l^u в пространство векторов $\tilde{z}_k$. Скалярный параметр α_k определяется как наименьшее значение шага из точки $P^0\left(\tilde{z}_k^0\right)$ в направлении $\tilde{P}^0\left(P_l^-\left(P^0\left(\tilde{z}_k^0\right)\right) - P^0\left(\tilde{z}_k^0\right)\right)$ в сторону допустимой области, а оператор:

$$\tilde{P}^0(z) = \left(E - \tilde{A}^T\left(\tilde{A}\tilde{A}^T\right)^{-1}\tilde{A}\right)z \qquad (15)$$

осуществляет ортогональное проецирование вектора z на линейное подпространство $\tilde{D}^0 = \left\{z \middle| \tilde{A}z = 0\right\}$, связанное с линейным многообразием D^0 типа (11). Если $i = 1$, то $\tilde{A} \in R^{5\times(5+1)}$.

Уравнения (13) описывают динамику координированного управления при различных видах областей, ограничивающих изменения выходных координат и управлений. Конкретизация операторов управления для отдельных видов областей будет дана ниже при рассмотрении систем с управлениями, синтезированными с использованием уравнений квазистационарных состояний для описания объекта координации.

Как следует из приведенных выше уравнений, вычисление управлений на каждом шаге процесса предполагается на основе известных уравнений первого приближения (9). Для многих задач управления характерно отсутствие информации о матрицах динамической модели. В ряде случаев можно пользоваться оценками указательных матриц, полученными в процессе одновременной идентификации и управления.

Идентификация матриц в условиях замкнутой системы управления возможна при соблюдении условий идентифицируемости. Поскольку в данном случае должна осуществляться идентификация кусочно-линейного объекта, то необходимо выполнение условий идентифицируемости по отношению ко всему семейству линейных систем, локально адекватных идентифицируемой кусочно-линейной системе. Условия идентифицируемости, формулируемые в терминах невырожденности матриц, зависящих от параметров объекта и текущих значений координат, и использующие условия управляемости, являются труднообеспечиваемыми в замкнутом контуре, поэтому в практике управления могут применяться характеристики квазистационарной чувствительности. Этот вид характеристик задает связь между управлениями и координатами для квазистационарных состояний объекта. Идентификация таких характеристик объекта в ряде случаев возможна в замкнутом контуре управления при использовании дополнительной информации, позволяющей построить оценки независимо от вида обратной связи благодаря измерению взаимосвязей стационарно связанных групп координат объекта.

Используя уравнения (9) и полагая $x_{k+1} = x_k$, можно качественно определить характеристики квазистационарной чувствительности:

$$x_{k+1} = \beta\tilde{u}_k\,, \qquad (16,а)$$

где $\beta = \left(E - H_1\right)^{-1}F_1$ — $(n\times m)$ — матрица характеристик объекта в квазистационарных состояниях. При синтезе управлений будем допускать, что приближенное описание выходных координат в окрестности текущего состояния y_k^t может быть представлено системой:

$$y_{k+1} = y_k^t + C\beta\hat{u}_k\,. \qquad (16,б)$$

Вектор $\hat{u}_k^*$ в уравнении регулятора (5) можно определить равенством:

$$\hat{u}_k^* = \arg\min\left\|\hat{u}_k\right\|^2 \qquad (17)$$

при ограничениях:

$$A_0\hat{u}_k = b_0\,,$$

$$y_{k+1} = y_k^t + CB\hat{u}_k \in D_1^y =$$

$$= \left\{y_{k+1} \middle| y^- \le y_{k+1} \le y^+\right\},$$

$$u_{k+1} \in D_1^u = \left\{ u_{k+1} \middle| u^- \le Gu_k + L\hat{u}_k \le u^+ \right\}, \quad (18)$$

$$\hat{u}_k^* = \arg\min \left\| \hat{u}_k \right\|^2, \quad (19)$$

где y^-, y^+ и u^-, u^+ — допустимые значения выходных координат, а управлений $A_0 \in \mathbb{R}^{m_1 \times m}$. Вычисление координирующих управлений, минимизирующих затраты в рамках приближенного описания объекта квазистационарными уравнениями, не позволяет учесть динамику процессов. Поэтому целесообразно отыскивать управления, которые одновременно с минимизацией затрат «стремятся» поддерживать координаты на оптимальном (в некотором смысле) расстоянии от границ допустимой области.

Достижение этой обобщенной цели управления возможно введением вектора p_k, характеризующего расстояние y_{k+1} от верхней границы D_l^y, и вектора q_k, определяющего расстояние этого вектора от нижней границы области. Тогда для минимизации функционала на шаге процесса необходимо вычислить вектор:

$$z_k^* = \left(\hat{u}_k^*, p_k^*, q_k^* \right) =$$

$$= \arg\min \left(\left\| \hat{u}_k \right\|^2 + \left\| p_k^* \right\|^2 + \left\| q_k^* \right\|^2 \right) \quad (20)$$

при ограничениях (18), (19), преобразованных для обобщенной задачи к виду:

$$C\beta\hat{u}_k + p_k = y^+ - y_k^{\,t}, \; -C\beta\hat{u}_k + q_k =$$

$$= y_k^{\,t} - y^-, A_0\hat{u}_k = b_0,$$

$$u^- - Gu_k \le L\hat{u}_k \le u^+ - Gu_k, \; p_k \ge 0,$$

$$q_k \ge 0, \; m_1 = m - 1, \quad (21)$$

из (20) и (21) следует, что вектор управления вычисляется при использовании информации о наблюдении только вектора выходных координат. Для определения z_k^* — решения задачи обобщенной оптимизации — можно воспользоваться оператором минимизации нормы, использованным выше. Тогда уравнения замкнутой алгоритмически управляемой системы будут аналогичны (13) и представляют собой разностные уравнения:

$$x_{k+1} = \tilde{\Psi}\left[x_k, \Phi_x\left(x_k\right), \Phi_u\left(u_k\right), h \right], \; x_{k_0} = x^0,$$

$$y_k = Cx_k,$$

$$u_{k+1} = Gu_k + L\hat{u}_k^*\left(\cdot\right), \; u_{k_0} = u^0, \quad (22)$$

в которых *вектор координирующих воздействий*

$$\hat{u}_k^*\left(\cdot\right) = S\left[P^0\left(z_k^0\right) + \alpha_k \tilde{P}^0\left(\bar{z}\right) \right],$$

где $z_k = \left(\hat{u}_k, p_k, q_k\right)^T$ — расширенный вектор; z_k^0 — точка безусловного минимума функционала в (20), причем $z_k^0 = 0$ — нулевой вектор. Матрица $S = \left(E, 0, 0\right)$ необходима для выделения вектора $\hat{u}_k^*$ из расширенного вектора оптимального решения — z_k^*. Как и в (13), параметр α_k определяет наименьшую длину шага из точки $P^0\left(z_k^0\right)$ по направлению $\tilde{P}^0\left(\bar{z}\right)$ до границы допустимой области, причем поскольку $z_k^0 = 0$, то $P^0\left(z_k^0\right) = A^T\left(AA^T\right)^{-1} b$, а матрицы оператора $P^0\left(z_k^0\right)$ равны: $A = \left(\bar{A}_0 \mid A_1\right)^T$, $b = \left(b_0 \mid b_1\right)^T$,

$$\bar{A}_0^{\,T} = \left(A_0 \mid 0 \mid 0\right), \; A_1^{\,T} = \left(\begin{array}{c|c|c} C\beta & E & 0 \\ \hline -C\beta & 0 & E \end{array} \right),$$

$$b_1^{\,T} = \left(\begin{array}{c} y^+ - y_k \\ \hline y_k - y^- \end{array} \right)$$

в соответствии с ограничениями (21). Вектор $\tilde{P}^0\left(\bar{z}\right)$ в (22) представляется следующим образом:

$$\tilde{P}^0\left(\bar{z}\right) = \left(E - A^T\left(AA^T\right)^{-1} A \right)\bar{z},$$

$$\bar{z} = P_1^-\left(P^0\left(z_k^{\,0}\right)\right) - P^0\left(z_k^{\,0}\right),$$

где $P_1^-\left(P^0\left(z_k^{\,0}\right)\right) =$

$$=0.5\left(\left|P^0\left(z_k{}^0\right)-z^-\right|-\left|P^0\left(z_k{}^0\right)-z^+\right|+z^-+z^+\right)$$ —

оператор ортогонального проектирования на множество D_1^-. В последнем равенстве модули векторов вычисляются покомпонентно, и в целом оператор осуществляет покоординатное проектирование. Векторы z^- и z^+, согласованные с рассматриваемой задачей, равны:

$$z^- = \begin{pmatrix} \tilde{L}^{-1}\left(u^- - Gu_k\right) \\ \hline 0 \\ \hline 0 \end{pmatrix},$$

$$z^+ = \begin{pmatrix} \tilde{L}^{-1}\left(u^+ - Gu_k\right) \\ \hline M\cdot e \\ \hline M\cdot e \end{pmatrix},\ M>1,$$

если матрица L диагональная. Матрица $\tilde{L}^{-1}$ определяется с учетом знаков диагональных элементов матрицы L, а вектор e — единичный $e=(1,\ldots,1)^T$.

Оператор $\tilde{P}^0$ представляет собой оператор ортогонального проецирования на линейное подпространство $Az=0$ и задается равенством, аналогичным (15). Обобщенные методы аналитического решения задач квадратичного и линейного программирования приведены в [5].

Таким образом, уравнения алгоритмически управляемых локально-оптимальных систем при ограничениях на выходные координаты и управления представляют собой систему кусочно-линейных разностных уравнений в расширенном пространстве.

Таким образом, задача синтеза межгосударственной координации по ресурсам для устойчивого развития сформулирована как задача экономической динамики на основе разностных уравнений динамики формирования ресурсов и операторов математического программирования. Для описания моделей влияния управлений на формирование ресурсов или их компонентов можно воспользоваться стационарными моделями. Предложенная методика позволяет исследовать свойства устойчивого развития на основе подходов, сформулированных в [1—4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Ю. С. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: учеб. пособие / Ю. С. Васильев, П. П. Безруких, В. В. Елистратов, Г. И. Сидоренко — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 250 с.

2. Экологические основы управления природно-техническими системами / под ред. М. П. Федорова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. - 506 с.

3. Козлов В. Н. Метод нелинейных операторов в автоматизированом проектировании динамический систем. / В. Н. Козлов - Л.: Изд-во ЛГУ им. А. А. Жданова, 1986. - 170 с.

4. Козлов В. Н. Управление энергетическими системами и объединениями. / Козлов В. Н. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. - 398 с.

5. Козлов В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. / Козлов В. Н. - М.: Изд-во «Проспект», 2010. - 170 с.

М. Б. Игнатьев

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

На заседании комиссии по модернизации и технологическому развитию при Президенте России в июне 2009 г. были определены пять приоритетных направлений, в том числе стратегические информационные технологии, включая вопросы создания суперкомпьютеров и разработки программного обеспечения. Принятый в международной практике индикатор состояния информационного общества учитывает 23 показателя, разделенные на четыре группы — компьютерная инфраструктура, информационная инфрастуктура, Интернет-инфраструктура, социальная инфраструктура. Предстоит много сделать, чтобы Россия успешно строила информационное общество.

Санкт-Петербург по праву считается пионером российской информатизации. Первая в мире рекурсивная многопроцессорная вычислительная система сверхвысокой производительности и надежности была запущена в ЛИАП в 1979 г, первая конференция по школьной информатике была проведена у нас в городе в 1981 г., а в 1991 г. был подготовлен первый документ «Концепция информатизации Ленинградского региона».

Социально-экономические системы как самоорганизующиеся структуры. Экономика со времен Адама Смита существенно изменилась и представляет собой сложную самоорганизующуюся систему. После великих географических открытий 15–16 вв. в мире сложился глобальный социокультурный цикл. В наше время этот цикл охватывает все страны и регионы. Каждый человек может быть творцом в отдельный момент времени. Творцы производят множество инноваций — проектов, патентов, песен и т. д. Эти инновации после апробации в микросредах, после прохождения цензуры попадают в средства массовой информации и обрушиваются на людей через телевидение, прессу, Интернет и вызывают по ассоциации у некоторых людей рождение новых идей, новых инноваций и, таким образом, цикл повторяется многократно. Часть инноваций, проходя через конструкторские бюро и различные производства, превращается в вещи (одежду, машины и т. п.) и опять-таки обрушивается потоком на людей.

Этот социокультурный цикл является основой процессов глобализации, в который погружено все человечество. Непрерывный поток инноваций в самых разных областях человеческой деятельности — неотъемлемый элемент современной картины мира и основа существования потребительского общества. Вместе с тем безудержное развитие потребительского общества ведет к исчерпанию природных ресурсов и росту социальных противоречий в обществе. Растет разница в доходах самых богатых и самых бедных слоев общества, самых богатых и самых бедных стран мира, что ведет к росту напряженности и терроризму. Необходимость международного регулирования этих проблем привело к рождению концепции устойчивого развития. «Устойчивое развитие» в русской транскрипции — это неточный перевод с английского словосочетания *«sustainable development»*, что означает «поддерживающее развитие».

В современном обществе большую роль играют деньги, поэтому финансовый цикл оказывает большое влияние на экономику. В финансовом цикле все большую роль играют вычислительные системы и сети. Если в 1950 г. в торгах на биржах мира участвовали тысячи людей, то в 2000 г. — свыше 100 миллионов человек (через компьютерные сети). Изобретение кредитной карточки и развитие компьютерных сетей, которые связали магазины и банки, позволило ускорить оборот наличности в 10 раз.

В настоящее время в виртуальном финансовом мире оборачивается гигантское количество денег, во много раз превосходящее валовой национальный продукт, что послужило источником многочисленных афер и спекуляций и вызвало в конце 2008 г. мировой финансовый кризис. Существует множество моделей социально-экономических процессов, ниже рассматривается возможность их лингво-комбинаторного моделирования.

Самая древняя книга — это китайская «книга перемен», которая утверждает, что мир непрерывно меняется. Это видно отчетливо в жизни каждого человека — все перемены отражаются в его памяти. В обобщенном виде факт непрерывного изменения нашего человекоразмерного мира отражается в понятии глобального социокультурного цикла. Глобальный социокультурный цикл складывается из отдельных частных циклов. Во-первых, это большие циклы отдельных стран, потому что главный обмен информацией идет с использованием национального языка и каждая из стран стремится развить свою промышленность и сельское хозяйство таким образом, чтобы максимально удовлетворить потребности своих граждан. При этом необходимо учитывать внешнюю торговлю и обмен информацией и людьми с другими странами. Во-вторых, глобальный цикл и большие циклы распадаются на другие отдельные циклы (например, циклы печатных сообщений, музыкальных сообщений, изобразительных сообщений и пр., которые имеют свою специфику).

Роль культуры состоит в том, что она дает человеку «экран понятий» [3], на который он проецирует свое восприятие внешнего мира. Современный человек открывает для себя окружающий мир, как с помощью системы образования, так и по законам случая, в процессе проб и ошибок, в силу случайности своей биографии. Совокупность его знаний определяется статистически, он черпает их из жизни, из газет, их телевидения, из сведений, добытых по мере надобности. Лишь накопив определенный объем информации, он начинает обнаруживать скрытые в ней структуры. Экран знаний формировался по-разному. Классический широко пользовался логической дедукцией и приемами формальных рассуждений, и экран знаний напоминал хорошо организованную решетку. В наше время фактура экрана знаний иная — он все больше похож на волокнистое образование, знания складываются из разрозненных обрывков, связанных простыми, чисто случайными отношениями близости по времени усвоения, по созвучию или ассоциации идей. Эти обрывки не образуют регулярной структуры, но она обладает силой сцепления, которая не хуже старых логических связей придает экрану культуры плотность, не меньшую, чем у традиционной структуры. Такую культуру называют «мозаичной».

В настоящее время основой социокультурного цикла являются вычислительные системы и сети, которые пронизывают все частные циклы и оплетают паутиной весь земной шар, благодаря чему формируется глобальный гибридный интеллект.

Анализ процессов глобального социально-культурного цикла выявил большую степень неравенства между различными социальными группами. По методике ООН вычисляют, какой доход приходится на каждые 20 % населения. 20 % самых богатых получают свыше 80 % дохода, а 20 % самых бедных получают 1,4 % доходов, что несправедливо и ведет к росту напряженности во взаимоотношениях между различными социальными группами людей. Очевидное неравенство ведет к росту катаклизмов в мировом сообществе. При социализме в СССР такого неравенства не было. Концепция устойчивого развития призвана смягчить это противоречие.

Оценки состояния капиталистической системы лидерами экономически развитых стран, производящих свыше 80 % мировой промышленной продукции, близки к выводам К. Маркса о неизбежности гибели капитализма. Разработанная Российским правительством антикризисная программа определяет конкретные меры по преодолению кризиса (сохранение реальной экономики, сокращение безработицы, поддержка сельского хозяйства). Но ее недостаток — отсутствие идеологической базы, определяющей конечную социальную цель и технологию реализации намеченных мероприятий в их системном единстве, становление новой системы, выходящей своими качественными показателями за рамки капитализма. Капитализм является обществом потребления, людям навязывается ипоте-

ка и другие способы потребления в долг. Ориентация человека не на труд, а на потребление, лишает его смысла жизни, означает его деградацию до уровня животного существования.

С 70-х годов Д. Беллом, О. Тоффлером, Дж. Гилбрейтом и другими разрабатывается концепция постиндустриального (посткапиталистического) общества. Новым системным качеством должна быть социальная справедливость, имеющая своим содержанием всеобщую основу, вознаграждение по результатам труда, доминирование государственной собственности, новый уровень самоорганизации общества на разных уровнях.

В настоящее время слова «система» и «системный подход» широко используются во всех сферах деятельности и именно поэтому нуждаются в уточнении. Существуют несколько десятков определений понятия «система», со временем оно изменялось не только по форме, но и по содержанию. Мы будем пользоваться таким определением системы: системой называется целостная совокупность элементов, в которой все элементы настолько тесно связаны между собой, что она выступает по отношению к другим системам и окружающей среде как нечто единое.

С понятием «система» часто связывают понятие «цель». Использование слова « цель» в случае нефинальных инструкций не совсем корректно, в этом случае правильнее говорить не о конечных целях, а о принципах поведения, выраженных в императивах, как показал И. Кант. Для живой системы таким категорическим императивом будет сохранение жизни, во что бы то ни стало и при любых обстоятельствах. Выигрыш при этом невозможен, проигрыш недопустим, а вся деятельность направлена на то, чтобы «игра в жизнь» продолжалась как можно дольше.

Императив в лингвистике — повелительное наклонение глагола (например, посмотрите, отойдите и т. д.). Междометный императив — разряд глагольных слов с повелительно-восклицательным значением (например, в русском языке — «вон!», «прочь!», «долой!»). Императивная норма, норма права — установленное государством общеобязательное правило общественного поведения.

Гораздо лучше эта картина описывается так называемым «странным аттрактором», при котором и процесс, и положительная обратная связь удерживаются не в пространстве одного параметра, а в некоторой зоне многомерного фазового пространства как показал И. Пригожин. Происходит как бы притяжение параметров процесса к центру или центрам аттрактора, но в силу инерционных эффектов возникают сложные движения вокруг него (в одномерном случае — знакомые инженерам автоколебания).

В процессе непрерывной погони за выживанием изменяются свойства живой системы и среды ее существования, поэтому система оказывается в каждый данный момент времени в новой ситуации, в новом месте многомерного фазового пространства внешних и внутренних параметров. Там требуются, соответственно, и новые специфические действия, обеспечивающие поддержание процесса жизни. С такими действиями могут быть связаны временные цели, которые часто перестают быть актуальными еще до того, как они оказываются достигнутыми (императив сохранения жизни важнее частных целей).

Во второй половине 19 в. началось проникновение понятия «система» в различные области научного знания. Важное значение имело создание эволюционной теории Ч. Дарвина, теории относительности, квантовой физики, структурной лингвистики и др. Многие научные принципы анализа систем были сформулированы в тектологии А. А. Богданова, в праксеологии Т. Котарбинского, в работах В. И. Вернадского и др. Предложенная в конце 40-х годов 20 в. Л. Берталанфи программа построения «общей теории систем» явилась одной из первых попыток обобщенного анализа системной проблематики. При определении понятия «система» необходимо учитывать теснейшую взаимосвязь его с понятиями целостности, структуры, связи, элемента, отношения, подсистемы, иерархии и др. Со времен В. Л. Канторовича, ученые в области экономики внесли большой вклад в изучение сложных систем, что отразилось и в Нобелевских премиях по экономике.

Проблемы устойчивого развития и вопросы войны и мира. *Устойчивое развитие* (англ. *sustainable development*) — процесс изменений, в котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий по-

тенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений.

Концепция *устойчивого развития* (УР) явилась логическим результатом экологизации научных знаний и социально-экономического развития, бурно начавшимся в 1970-е годы. Вопросам ограниченности природных ресурсов (ПР), а также загрязнения природной среды, которая является основой жизни, экономической и любой деятельности человека, в 1970-е годы был посвящен ряд научных работ. Реакцией на эту озабоченность было создание международных неправительственных научных организаций по изучению глобальных процессов на Земле, таких как Международная федерация институтов перспективных исследований (ИФИАС), Римский клуб (с его знаменитым докладом «Пределы роста»), Международный институт системного анализа, а в СССР — Всесоюзный институт системных исследований.

В докладе «Наше общее будущее» Международная комиссия по окружающей среде и развитию (МКОСР) уделила основное внимание необходимости «устойчивого развития», при котором *«удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывает способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности»*. Эта формулировка понятия «устойчивое развитие» сейчас широко используется в качестве базовой во многих странах.

Теория и практика показали, что экологическая составляющая является неотъемлемой частью человеческого развития. В основе деятельности Международной комиссии по окружающей среде и развитию и ее заключительного доклада «Наше общее будущее» была положена новая триединая концепция устойчивого (эколого-социально-экономического) развития. Всемирный саммит ООН по устойчивому развитию (межправительственный, неправительственный и научный форум) в 2002 г. подтвердил приверженность всего мирового сообщества идеям устойчивого развития для долгосрочного удовлетворения основных человеческих потребностей при сохранении систем жизнеобеспечения планеты Земля. Концепция устойчивого развития во многом перекликается с концепцией ноосферы, выдвинутой академиком В. И. Вернадским еще в середине XX века.

Понятие и определения устойчивого развития. Фактически речь может идти не о немедленном прекращении экономического роста вообще, а о прекращении, на первом этапе, нерационального роста использования ресурсов окружающей среды. Последнее трудно осуществить в мире растущей конкуренции и роста таких нынешних показателей успешной экономической деятельности, как производительность и прибыль. В то же время переход к «информационному обществу» — экономике нематериальных потоков финансов, информации, изображений, сообщений, интеллектуальной собственности — приводит к так называемой «дематериализации» хозяйственной деятельности: уже сейчас объемы финансовых сделок превышают объемы торговли материальными товарами в семь раз. Новую экономику двигают не только дефицит материальных (и природных) ресурсов, но во все большей степени изобилие ресурсов информации и знаний. Удельная энергоемкость хозяйственной деятельности продолжает снижаться, хотя общее энергопотребление пока растет.

Большинство международных организаций системы ООН включило в свою деятельность существенную экологическую составляющую, ориентированную на переход к устойчивому развитию. Эксперты Всемирного банка определили устойчивое развитие как процесс управления совокупностью (портфелем) активов, направленный на сохранение и расширение возможностей, имеющихся у людей. Активы в данном определении включают не только традиционно подсчитываемый физический капитал, но также природный и человеческий. Чтобы быть устойчивым, развитие должно обеспечить рост — или, по крайней мере, неуменьшение во времени всех этих активов. Для рационального управления экономикой страны применяется та же логика, что используется для рационального управления личной собственностью.

В соответствии с приведенным определением устойчивого развития главным показателем устойчивости, разработанным Всемирным банком, являются «истинные темпы (нормы) сбережения» или «истинные нормы инвестиций» в стране. Принятые сейчас подходы к измерению накопления богатства не учитывают истощение и деградацию природных ресурсов, таких как леса и нефтяные месторождения, с одной стороны, а, с другой, инвестиции в людей — один из самых ценных активов любой страны. При переходе на вычисление истинных темпов

сбережений (инвестиций) этот недостаток исправляется корректировкой рассчитываемых традиционными методами темпов сбережений: в сторону уменьшения — путем оценки истощения природных ресурсов и ущерба от загрязнения окружающей среды (потеря природного капитала), и в сторону увеличения — путем учета возрастания человеческого капитала (прежде всего из-за инвестиций в образование и базовое медицинское обслуживание).

Концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек зрения: экономической, социальной и экологической.

Экономическая составляющая. Экономический подход к концепции устойчивости развития основан на теории максимального потока совокупного дохода Хикса-Линдаля, который может быть произведен при условии, по крайней мере, сохранения совокупного капитала, с помощью которого и производится этот доход. Эта концепция подразумевает оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологичных - природо-, энерго-, и материало-сберегающих технологий, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов. Однако при решении вопросов о том, какой капитал должен сохраняться (например, физический или природный, или человеческий капитал) и в какой мере различные виды капитала взаимозамещаемы, а также при стоимостной оценке этих активов, особенно экологических ресурсов, возникают проблемы правильной интерпретации и счета. Появились два вида устойчивости — слабая, когда речь идет о неуменьшаемом во времени природном и произведенном капитале, и сильная — когда должен не уменьшаться природный капитал (причем часть прибыли от продажи невозобновимых ресурсов должна направляться на увеличение ценности возобновимого природного капитала).

Социальная составляющая. Социальная составляющая устойчивости развития ориентирована на человека и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем, в том числе на сокращение числа разрушительных конфликтов между людьми. Важным аспектом этого подхода является справедливое распределение благ. Желательно также сохранение культурного капитала и многообразия в глобальных масштабах, а также более полное использование практики устойчивого развития, имеющейся в недоминирующих культурах. Для достижения устойчивости развития, современному обществу придется создать более эффективную систему принятия решений, учитывающую исторический опыт и поощряющую плюрализм. Важно достижение не только внутри-, но и межпоколенной справедливости. В рамках концепции человеческого развития человек является не объектом, а субъектом развития. Опираясь на расширение вариантов выбора человека как главную ценность, концепция устойчивого развития подразумевает, что человек должен участвовать в процессах, которые формируют сферу его жизнедеятельности, содействовать принятию и реализации решений, контролировать их исполнение.

Экологическая составляющая. С экологической точки зрения, устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем. Особое значение имеет жизнеспособность экосистем, от которых зависит глобальная стабильность всей биосферы. Более того, понятие «природных» систем и ареалов обитания можно понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, например, города. Основное внимание уделяется сохранению способностей к самовосстановлению и динамической адаптации таких систем к изменениям, а не сохранение их в некотором «идеальном» статическом состоянии. Деградация природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению.

Единство концепций. Согласование этих различных точек зрения и их перевод на язык конкретных мероприятий, являющихся средствами достижения устойчивого развития, — задача огромной сложности, поскольку все три элемента устойчивого развития должны быть сбалансированы. Важны также и механизмы взаимодействия этих трех концепций. Экономический и социальный элементы, взаимодействуя друг с другом, порождают такие новые задачи, как достижение справедливости внутри одного

поколения (например, в отношении распределения доходов) и оказание целенаправленной помощи бедным слоям населения. Механизм взаимодействия экономического и экологического элементов породил новые идеи относительно стоимостной оценки и интернализации (учета в экономической отчетности предприятий) внешних воздействий на окружающую среду. Наконец, связь социального и экологического элементов вызвала интерес к таким вопросам как внутрипоколенное и межпоколенное равенство, включая соблюдение прав будущих поколений и участие населения в процессе принятия решений.

Индикаторы. Важным вопросом в реализации концепции устойчивого развития (особенно в связи с тем, что она часто рассматривается как эволюционирующая) стало выявление практических и измеряемых индикаторов. В этом направлении сейчас работают как международные организации, так и научные круги. Исходя из вышеуказанной триады, такие индикаторы могут связывать все эти три компонента и отражать экологические, экономические и социальные (включая психологические, например, восприятие устойчивого развития) аспекты.

Устойчивое развитие и традиционная экономика. Появление концепции УР подорвало фундаментальную основу традиционной экономики — неограниченный экономический рост. В одном из основных документов Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) «Повестке дня на XXI век», в главе 4 (часть 1), посвященной изменениям в характере производства и потребления, прослеживается мысль, что надо идти дальше концепции устойчивого развития, когда говорится, что некоторые экономисты «ставят под сомнение традиционные понятия экономического роста» и предлагаются поиски «схем потребления и производства, которые отвечают существенным потребностям человечества».

Традиционная экономика утверждает, что максимизация прибыли и удовлетворение потребителей в рыночной системе совместимо с максимизацией благополучия людей и что недостатки рынка можно исправить государственной политикой. Вторая полагает, что краткосрочная максимизация прибыли и удовлетворение индивидуумов-потребителей в конечном итоге приведет к истощению природных и социальных ресурсов, на которых зиждется благосостояние людей и выживание биологических видов.

Экономика устойчивого развития. Прогресс экономической науки заставил учитывать природный фактор. С одной стороны, большинство традиционных природных ресурсов стали дефицитными. Причем это относится не только к невозобновляемым, но также и к так называемым возобновляемым ресурсам — прежде всего, ресурсам экосистем (экосистемным «товарам» и «услугам») и биоразнообразию. Одно из определений устойчивого развития — это неистощительное развитие в долгосрочном, межпоколенном плане. Поскольку природа является основой жизнедеятельности человека, ее истощение и деградация при существующих экономических отношениях негативно сказывается на социальных отношениях, росте нищеты и структурах производства и потребления. С другой стороны, оказалось, что многие возобновляемые природные блага не имеют должной ценности, что является источником их истощения и деградации. Поэтому произошел переход к экологической экономике и экономике устойчивого развития. В то же время взаимодействие социальных и экологических факторов привело к рассмотрению еще одного фактора производства — социального капитала.

Устойчивое развитие территорий. XX век, ставший периодом беспрецедентного роста городов и систем расселения, выявил также потребность человечества в разработке и внедрении принципов УР в области градостроительства и территориального планирования. Соответствующая концепция получила название «устойчивое развитие территорий», подразумевающее *обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений*. В таком виде термин попал в Градостроительный кодекс России 2004 г.

Следует заметить, что, несмотря на множество индикаторов, выхода для человечества не видно в рамках существующей картины мира. Слишком много людей на планете и слишком

ограничены ее ресурсы. Необходим учет конфликтных ситуаций и опасности распространения ядерного оружия [24].

Лингво-комбинаторное моделирование и операция поляризации. Лишь для небольшого числа реальных систем имеются математические модели. Прежде всего, системы описываются с помощью естественного языка. Предлагается способ перехода от описания на естественном языке к математическим уравнениям. Например, пусть имеется фраза:

$$WORD1 + WORD2 + WORD3 . \qquad (1)$$

В этой фразе мы обозначаем слова и только подразумеваем смысл слов. Смысл в сложившейся структуре естественного языка не обозначается. Предлагается ввести понятие смысла в следующей форме:

$$(WORD1)^* (SENSE1) + (WORD2)^* (SENSE2) + \\ + (WORD3)^* (SENSE3) = 0 . \qquad (2)$$

Будем обозначать слова как Ai от английского Appearance, а смыслы — как Ei от английского Essence. Тогда уравнение (2) может быть представлено как:

$$A1 * E1 + A2 * E2 + A3 * E3 = 0 . \qquad (3)$$

Уравнения (2) и (3) являются моделями фразы (1). Образование этих уравнений, приравнивание их к нулю и есть операция поляризации.

Лингво-комбинаторная модель является алгебраическим кольцом, и мы можем разрешить уравнение (3) либо относительно Ai, либо относительно Ei путем введения третьей группы переменных — произвольных коэффициентов Us [4–7]:

$$\begin{aligned} A1 &= U1 * E2 + U2 * E3; \\ A2 &= -U1 * E1 + U3 * E3; \\ A3 &= -U2 * E1 - U3 * E2 \end{aligned} \qquad (4)$$

или

$$\begin{aligned} E1 &= U1 * A2 + U2 * A3; \\ E2 &= -U1 * A1 + U3 * A3; \\ E3 &= -U2 * A1 - U3 * A2, \end{aligned} \qquad (5)$$

где $U1, U2, U3$ — произвольные коэффициенты, которые можно использовать для решения различных задач (3).

В общем случае, если имеем n переменных и m многообразий, ограничений, то число произвольных коэффициентов S будет равно числу сочетаний из n по $m + 1$, что показано в [4], табл. 1:

$$S = C_n^{m+1}, \quad n > m. \qquad (6)$$

Число произвольных коэффициентов является мерой неопределенности и адаптивности. Лингво-комбинаторное моделирование может опираться на анализ всего корпуса текстов на естественном языке, это трудоемкая задача по извлечению смыслов для суперкомпьютеров, его

Таблица 1

Коэффициенты

n / m	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1							
3	3	1						
4	6	4	1					
5	10	10	5	1				
6	15	20	15	6	1			
7	21	35	35	21	7	1		
8	28	56	70	56	28	8	1	
9	36	84	126	126	84	36	9	1

можно также использовать, опираясь на ключевые слова в конкретной области, что позволяет получать новые модели для конкретных областей знания. В этом случае лингво-комбинаторное моделирование заключается в том, что в конкретной предметной области выделяются ключевые слова, которые объединяются во фразы типа (1), на основе которых строятся эквивалентные системы уравнений с произвольными коэффициентами. В частном случае они могут быть дифференциальными уравнениями, и при их исследовании может быть использован хорошо разработанный математический аппарат. Лингво-комбинаторное моделирование включает все комбинации и все варианты решений и является полезным эвристическим приемом при изучении плохо формализованных систем [4–6]. В лингвистической литературе имеется множество трудов, в которых исследуются понятия «смысла» и «значения», но эти теории во многом оказались неконструктивными, что ярко показал Л. Витгенштейн в своей Голубой книге. Использование в качестве модели фразы (1) уравнения (2) позволяет построить исчисление смыслов, которое хорошо реализуемо на компьютерах. По мнению Д. А. Леонтьева, смысл (будь то смысл текстов, образов сознания, душевных явлений или действий) определяется, во-первых, через более широкий контекст и, во-вторых, через интенцию или энтелехию (целевую направленность, предназначение или направление движения). В нашем определении смысла наличествуют эти две характеристики — контекстуальность (смыслы вычисляются, исходя из контекста) и интенциальность (произвольные коэффициенты позволяют задавать те или иные устремления).

Переход к информационному обществу требует построения новой картины мира, где бы информация заняла достойное место (вместо механицизма — компьютеризм).

Успехи современной науки со времен Ньютона неоспоримы, но чем энергичнее внедряются ее результаты в виде различных машин и технологий во все сферы жизни, тем явственнее проступают ее недостатки. Один из главных недостатков заключается в том, что современные технологии рассчитаны на использование больших количеств энергии и материалов, на использование больших давлений, напряжений, усилий, температур, что приводит к загрязнению окружающей среды, исчерпанию источников энергии и материалов, гибели живой природы — то есть к тому, что называют экологическим кризисом.

Истоки этих недостатков лежат в самой парадигме современной науки, ее деятели слишком часто пользовались «бритвой Оккама», срезая как бы все лишнее и слишком упрощая проблемы. В итоге сложилось стремление к «гениальной» простоте, физика заполнилась формулами «из трех букв» (например, закона Ома). И если это было простительно в докомпьютерный век, то с появлением мощных компьютеров, которые буквально входят в каждый дом, неоправданное упрощение недопустимо, недопустимо пренебрежение тонкими сущностями. Информатика имеет дело со слабыми сигналами, которые могут управлять большими процессами. Слабое человеческое слово способно приводить в действие мощные армии. Информатизация всех отраслей человеческой деятельности — это, прежде всего, выявление возможностей управления с помощью слабых сигналов, слабых по мощности, температуре, напряжению.

Но для того, чтобы управлять системами, необходимо иметь новые модели различных процессов, в сами эти модели должна быть заложена возможность информационного управления. В этом сущность процесса информатизации. Обычно под информатизацией понимается процесс внедрения новых информационных технологий, прежде всего, компьютерных и телекоммуникационных, в различные сферы социально-экономической жизни, но этого недостаточно.

Любая отрасль науки опирается на модели реальных процессов, в одних отраслях науки эти модели более формализованы, в других менее, но все они используют естественный язык. Естественный язык — это мощная моделирующая система, созданная усилиями всего человечества, очень важно разобраться, как работает эта моделирующая система. Лингво-комбинаторное моделирование — это универсальный метод моделирования плохо формализованных систем в самых различных областях науки, техники, в различных областях человеческой деятельности. В каждом конкретном применении этого метода необходимо осуществлять верификацию

модели, проверять ее на соответствие поведению реального объекта. Наличие произвольных коэффициентов и возможность расширения модели, возможность включения новых переменных, новых ключевых слов, позволяют настраивать модель для моделирования сложных реальных объектов.

Лингво-комбинаторное моделирование позволяет сформировать новую картину мира, которая опирается на все достижения современной науки и, прежде всего, информатики. Лингво-комбинаторная картина мира состоит из трех групп переменных, во-первых, это явления (*Appearances*), во-вторых, это смыслы (*Essences*), в-третьих, — это структурированная неопределенность (*Structural Uncertainty*), из которых состоят все неживые и живые системы. Лингво-комбинаторное моделирование — это математический аппарат постнеклассической науки. На уровне неклассической науки был введен наблюдатель, на уровне постнеклассической науки введен управитель [2].

Адаптационные возможности сложных систем. В структуре эквивалентных уравнений систем со структурированной неопределенностью есть произвольные коэффициенты, которые можно использовать для приспособления системы к различным изменениям, чтобы повысить точность и надежность функционирования систем, их живучесть в потоке перемен. Теперь рассмотрим феномен адаптационного максимума в жизненном цикле сложных развивающихся систем.

Биологические системы (от живой клетки до многоклеточных организмов) проходят свой цикл развития от рождения до смерти. Социально-экономические системы (семья, предприятия, банки, города, села, регионы, страны) проходят сложный путь развития, находясь под воздействием различных внутренних и внешних факторов. Одни предприятия и банки процветают, другие терпят крах и банкротятся, одни города и страны процветают, другие переживают стагнацию, о чем свидетельствует мировая статистика. Все эти системы являются сложными развивающимися системами и в жизненном цикле этих систем проявляются закономерности, свойственные многомерным системам.

Важной закономерностью, оказывающей большое влияние на социально-экономические системы, является феномен наличия адаптационного максимума, который заключается в следующем [7, 8, 9]. Установлена ранее неизвестная закономерность наличия адаптационного максимума в жизненном цикле сложных развивающихся систем, заключающаяся в том, что при наложении ограничений на систему из n переменных ($n > 6$) число произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений, описывающих поведение системы, сначала возрастает, достигает максимума, а потом начинает убывать, и, соответственно, изменяются адаптационные возможности системы — сначала они растут, достигают максимума, а потом начинают убывать, и если наложение ограничений продолжается, то система делается жесткой и погибает в потоке перемен окружающей среды. Отсюда вытекает стратегия управления различными сложными системами — они должны управляться так, чтобы удержать их в зоне адаптационного максимума, если нужно обеспечить их живучесть в потоке перемен.

Уже давно известно, что существуют ритмы в биологических системах. Например, из результатов переписи населения (табл. 2) ясно видно наличие минимума смертности для людей в возрасте 10–14 лет, при этом следует отметить, что он сохраняется независимо от социально-экономических условий и в период 1896–1897 гг., и в период 1984–1985 гг., но объяснения этому минимуму смертности не было. Из статистики развития экономики известны циклы Кондратьева и другие циклические явления в экономике, как отдельных предприятий, так и более крупных экономических образований.

В технических системах известны периоды максимальной надежности и устойчивости систем. Предложенная математическая модель развивающихся систем позволяет говорить о наличии закономерности адаптационного максимума, которая объясняет многочисленные факты и позволяет предсказывать поведение сложных систем.

Система — целостная совокупность элементов, в которой все элементы настолько тесно связаны между собой, что она выступает по отношению к другим системам и окружающей среде как нечто единое. На рис. 1 представлена схема, где система взаимодействует со средой и использует два механизма адаптации: настойка или самонастройка системы с помощью произ-

Таблица 2

Результаты переписи населения

Годы / Возраст	1896–1897	1958–1959	1969–1970	1978–1980	1982–1983	1984–1985
0–4	133,0	11,9	6,9	8,1	7,9	7,7
5–9	12,9	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6
10–14	5,4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
15–19	5,8	1,3	1,0	1,0	1,0	0,9
20–24	7,6	1,8	1,6	1,7	1,6	1,5
25–29	8,2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,0
30–34	8,7	2,6	2,8	2,9	2,9	2,8
35–39	10,3	3,1	3,7	4,3	3,8	3,6
40–44	11,8	4,0	4,7	5,4	5,6	5,7
45–49	15,7	5,4	6,0	7,8	7,4	7,3
50–54	18,5	7,9	8,7	10,3	10,9	11,3

вольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений системы и обучение или самообучение системы, которое заключается в наложении новых ограничений на систему. Кроме этих механизмов адаптации возможны и другие, такие как рост числа переменных системы, размножение, эффективное забывание, ограничение контактов со средой, объединение систем в коллектив и др. В общем случае число произвольных коэффициентов S в структуре эквивалентных уравнений системы определяется как число сочетаний из n по $m + 1$ и определяется формулой (6) (см. табл. 1).

Сложная система — это система, в которой проявляется феномен адаптационного максимума, т. е. система с числом переменных больше шести. У системы есть две возможности приспособиться к изменениям в среде, это, во-первых, настойка с помощью манипуляции произвольными коэффициентами, и чем больше этих коэффициентов, тем выше адаптационные возможности, и, во-вторых, обучение, наложение новых ограничений на переменные системы.

В режиме непрерывного обучения число произвольных коэффициентов изменяется в соответствии с формулой (6), и это приводит к появлению циклов в развитии систем, что иллюстрируется рис. 1, где цикл развития системы начинается в точке *1*, проходит через максимум в числе произвольных коэффициентов и заканчивается в точке *2*, где должна наступить трансформация, сброс ранее накопленных ограничений, далее начинается в точке *3* новый цикл, опять система проходит через максимум адаптационных возможностей, достигает точки *4*, где опять происходит трансформация, и система начинает новый цикл в точке *5* и так далее. Эта модель позволяет объяснить наличие циклов

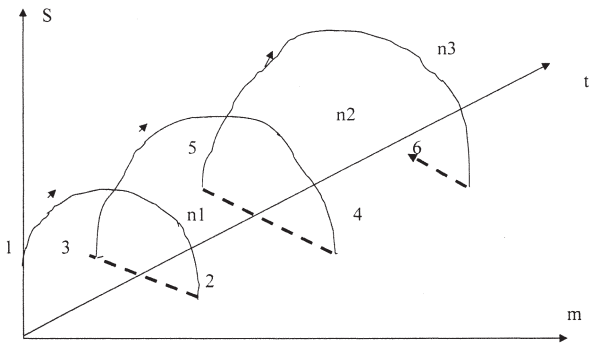


Рис. 1. Трансформация развивающейся системы, $n1 < n2 < n3$, траектория системы: *1–2-3–4-5–6-...*

в развитии сложных биологических, социально-экономических и технических систем.

Предложенная модель процессов самоорганизации сложных развивающихся систем реализует закономерность наличия адаптационного максимума в жизненном цикле систем в потоке перемен. Жизненный цикл — совокупность фаз развития, пройдя через которые система достигает зрелости и становится способной эффективно функционировать и дать начало новому поколению.

Как показывает статистика, существуют циклы в развитии экономики, в частности — циклы Кондратьева. Учет закономерности наличия адаптационного максимума позволяет объяснить эти циклы [12]. Надежность сложных человеко-машинных комплексов достигает своего максимума в зоне адаптационного максимума и технические системы должны строиться таким образом, чтобы при изменении этих систем они оставались в зоне адаптационного максима как можно дольше.

Число примеров систем можно было бы увеличивать, но уже ясно, что феномен адаптационного максимума существует, и учет закономерности наличия адаптационного максимума в жизненном цикле сложных развивающихся систем позволит лучше понять механизмы их функционирования и значительно улучшить их характеристики. Для того, чтобы выжить, этносоциум должен находиться в зоне адаптационного максимума.

Структурная стабильность, совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т. е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних воздействиях, обеспечивается адаптационными возможностями [4, 5]. В представленных лингво-комбинаторных моделях адаптационные возможности систем определяются числом произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений, и наибольшая структурная стабильность достигается в зоне адаптационного максимума, который обнаруживается у различных систем с числом переменных больше шести [4], см таблицу. Для удержания систем в зоне адаптационного максимума можно использовать различные методы — рост числа переменных, наложение и снятие ограничений, объединение систем в коллективы. Действительно, если имеем две системы:

$$S1 = C_{n1}^{m1+1}, \quad S2 = C_{n2}^{m2+1}, \tag{7}$$

то путем наложения общих ограничений *mcol* получим коллектив:

$$S_{col} = C_{n1+n2}^{m1+m2+mcol+1}. \tag{8}$$

При этом в зависимости от конкретных параметров может быть $Scol > S1 + S2$, когда объединение в коллектив приводит к росту адаптационных возможностей, а может быть $Scol < S1 + S2$, когда адаптационные возможности меньше суммы адаптационных возможностей исходных систем. Наличие неопределенности в структуре системы, произвольных коэффициентов, позволяет реализовать различные механизмы самоорганизации.

Наличие феномена адаптационного максимума в жизненном цикле различных сложных развивающихся систем позволяет объяснить эволюцию систем в условиях изменяющейся среды. Феномен адаптационного максимума является основой самоорганизации в природе и обществе. Структура неопределенных коэффициентов задает матрицу картины мира, в рамках которой и разыгрываются различные события. Произвольные коэффициенты в структуре эквивалентных уравнений могут быть и волновыми функциями, а различные системы могут рассматриваться как квантовые макрообъекты.

Стратегические технологии. Пока в России топчутся на месте и только говорят об инновационном росте, не решаясь применить ясное целеполагание, весь мир живет иначе. Особенно разителен контраст с Соединенными Штатами, где не только смело заглядывают в будущее, но и активно его формируют — в своих, естественно, интересах. Американцы прекрасно понимают: прежняя модель мирового развития исчерпала свои возможности, впереди переход в совершенно новый (шестой) технологический уклад. И они готовятся возглавить этот переход [19, 22]. Растет понимание, что вот-вот на смену пятому технологическому укладу пойдет шестой. Что имеется в виду? Рассмотрим карту технологических укладов.

V технологический уклад: компьютеры, малотоннажная химия, телекоммуникации, электроника, Интернет.

VI технологический уклад: Биотехнологии, нанотехнологии, вложения в человека, новое

природопользование, робототехника, новая медицина, высокие гуманитарные технологии, проектирование будущего и управление им.

Приходит понимание, что глубинные причины нынешнего кризиса — в исчерпании возможностей пятого уклада.

Николай Кондратьев в свое время выяснил, что локомотив экономики — «Большие волны», несущие с собой новые технологические уклады. Каждый уклад проходит в своем развитии три этапа. Сначала возникает наука, связанная с новыми возможностями — это 10–15 лет, потом наступает стадия создания опытных образцов техники — еще 10–15 лет. Столько же длится и третий этап — проникновение нового техноуклада в экономику.

СССР смог максимально воспользоваться преимуществами четвертого уклада. Но лидерство в укладе требует от страны сверхусилий. Постсоветская Россия полностью «проспала» пятый уклад, занявшись саморазгромом, самопроеданием и сверхпотреблением.

Вложения в инновации пятого уклада уже не дают прежних отдачи и успехов. России поздно заниматься персональными компьютерами, программированием и мобильными телесистемами: главные «сливки» уже сняты другими. Нас пускают лишь в аутсайдерские ниши. Ну, есть в РФ 150 миллионов мобильников — и что дальше? Человек не может покупать новый сотовый телефон раз в четыре месяца — это бессмысленно. Отрасли пятого уклада достигли стадии насыщения и не в состоянии поглотить большие деньги. Но и новые отрасли (шестого уклада) пока не готовы принять огромные инвестиции: ни нанотехнологии, ни новая медицина, ни «зеленая» химия. Будущее за формированием новой картины мира — компьютеризмом, из которого вытекают новые технологии.

Нужно понимать, что прежний мир кончился. Нужно провести серьезные конференции по проектированию будущего и по выработке «технического задания» на будущее. Наступление эры компьютеризма так же неизбежно, как наступление эпохи двигателей внутреннего сгорания после века паровых машин.

Пожалуй, высшая стадия нанотеха — создание крохотного ассемблера-сборщика, который сможет из атомов собирать все необходимые вещи на нанофабрике размером с комнату [6]. На Западе уже ходит теория «Двухнедельной технологической революции». Вот ее компоненты:

• принципиально новые устройства могут быть созданы в маленькой лаборатории (стоимость новых форм живого — 200 тыс. $);

• возможность редактировать геном (евгеника);

• наноассемблеры позволяют производить все желательные вещества очень быстро;

• плотность записи информации 1015 / см^2 (сейчас — 108/см^2);

• принципиально новые растения, животные, другие формы жизни (например, выведенная в одном из наших научных центров суперсосна, растущая в несколько раз быстрее, чем обычная);

• универсальные анализаторы, мониторинг состояния организма [7].

Страна, первой совершившая такой прорыв, обгонит все прочие страны и превзойдет их так же, как европейцы превосходили ацтеков и инков. Такой нанотех основа и для революции в военном деле: он позволяет создать совершенное и чистое, абсолютное оружие. Например, микророботов и целые их сообщества. Впрочем, очертания такой революции уже видны: на рис. 2 показан сидящий на пальце миниатюрный беспилотный разведчик «Шмель» израильского производства.

Необходимые и достаточные условия создания нанороботов были определены в моей статье

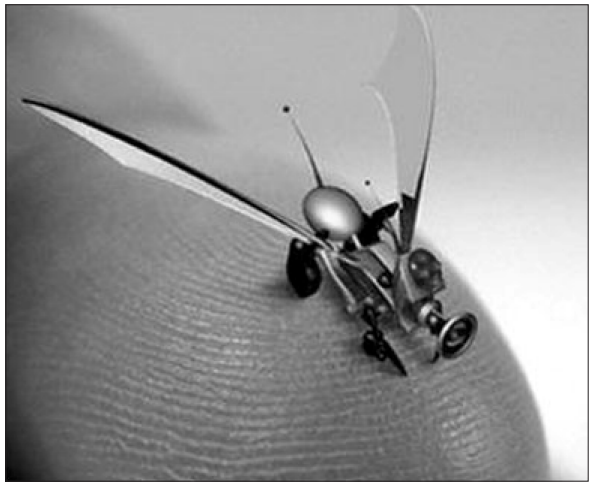


Рис. 2. Беспилотный разведчик «Шмель» израильского производства

[6]. Из нанотрубок можно создавать материал в сто раз легче стали и в шесть раз ее прочнее. Это не только возможность получить, например, абсолютно пуленепробиваемые доспехи или суперброню. Из нанотрубок можно создать «канатную дорогу» между Землей и спутником на геостационарной орбите (36 тыс. км), и по этой дороге запускать в космос грузы, используя центробежную силу. Это тот самый «космический лифт», о котором писал Артур Кларк в «Фонтанах рая» и который проектировал советский ученый Юрий Арцутанов.

Россия также могла бы начать смелые нанотехнологические проекты. Начиная от памперсов, впитывающих объем жидкости в сто раз больший по объему нежели абсорбент в самом подгузнике, и, заканчивая технологией создания «эльфийского плаща-невидимки» Виктора Веселаго. Он еще в 1967 г. высказал идею создания материала, который может отклонять лучи света и радиоволны, заставляя их как бы обтекать объект, закутанный в «эльфийский» материал.

Всякое эпохальное свершение проходит три стадии развития. Возьмем для примера космонавтику. Сначала чем-то новым занимаются «безумцы-визионеры». Например, Циолковский с его идеей космических полетов. Потом приходят энтузиасты, вроде Цандера или Тихонравова, строящие первые действующие модели ракет. Они доказывают техническую возможность воплощения Мечты. Наконец, венчают дело профессионалы вроде Сергея Королева, строящие космическую промышленность.

Как-то я спросил одного из сподвижников Королева: «Как же вы справились с таким невероятно трудным делом?» Он ответил: «Мы были уверены, что мы — лучшие и непременно выйдем в космос. Нас воспламенили книги: «Межпланетные полеты» Якова Перельмана (1904 г.) и советская «Энциклопедия межпланетных полетов», изданная в 1934—1936 годах...» Мечтатели-воспламенители умов у нас сегодня есть.

Чтобы двигаться по инновационному пути, России необходимо сформировать новую «повестку дня» и определить главные направления работы, к этому нас призывает сама жизнь. Нам нужна новая идеология, новая система ценностей.

В заключение хотелось бы отметить, что в любой сложной системе имеет место феномен адаптационного максимума, удаление от которого и влечет кризис;

для того, чтобы уменьшить глубину кризиса, необходимо следить за зоной адаптационного максимума и стремиться удерживать систему в этой зоне, накладывая и снимая ограничения, объединяясь в коллективы или выходя из них, разрабатывая новые технологии и т. д.;

для того, чтобы человечество преодолело кризис, необходимо построить новую картину мира, в которой информация заняла бы достойное место.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мерло-Понти М.. Феноменология восприятия / М. Мерло-Понти, — СПб., 1999.

2. Степин В. С. Теоретическое знание / В. С. Степин, — М., 2003.

3. Моль А. Социодинамика культуры / А. Моль, — М., 1973 .

4. Игнатьев М. Б. Голономные автоматические системы / М. Б. Игнатьев, — М. — Л.: Изд-во АН СССР, 1963, — 204 с.

5. Ignatiev M. B. Simulation of Adaptational Maximim Phenomenon in Developing Systems Proceedings of The SIMTEC'93—1993. International Simulation Technology Conference. — San Francisco, USA. — 1993. —P. 41—42.

6. Игнатьев М. Б. Роботы на основе нанотехнологий и пути перехода из одной мировой точки в другую / М. Б. Игнатьев // Вестник Северо-Западного отделения Метрологической академии. Вып. 2, 1998.

7. Ignatyev M. B., Makina D. M., Petrischev N. N., Poliakov I.V., Ulrich E.V., Gubin A. V. Global model of organism for decision making support // Proceedings of the High Performance Computing Symposium — HPC 2000, Ed. A. Tentner, 2000 Advanced Simulation Technologies Conference. - Washington D.C. USA. — 2000. — P. 66—71.

8. Ignatyev M. B. Linguo-combinatorial method for complex systems simulation // Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Vol. XI, Computer science II. — Orlando, USA. — 2002. — P. 224—227.

9. Игнатьев М. Б. Семиблочная модель города для поддержки принятия решений // Труды семинара «Компьютерные модели развития города». — СПб.: Наука, 2003. — С. 40—45.

10. Игнатьев М. Б. Роботы, аватары и люди как системы со структурированной неопределенностью // Новое в искусственном интеллекте. — М., 2005.

11. Игнатьев М. Б., Никитин А. А., Никитин А. В., Решетникова Н. Н. Архитектура виртуальных миров / Изд. 2-е. — СПб., — 2009.

12. Ignatyev M. The study of the adaptation phenomenon in complex systems // AIP Conference Proceedings. Melville — New York, 2006. Vol. 839. P. 322–330.

13. Игнатьев М. Б. Информационные технологии в микро-, нано- и оптоэлектронике // М. Б. Игнатьев. — СПб., 2008. — 200 с.

14. Ignatyev M. Semantics and self-organization in nanoscale physics // International Journal of Computing Anticipatory Systems. Vol. 22. 2008. P. 17–23. (Edited by D.M. Dubois, HAOS, Liege, Belgium).

15. Игнатьев М. Б. Вселенная как самоорганизующаяся система // Тезисы докладов Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2009». — СПб., 15–19 июня 2009. — С. 19–20.

16. Ignatyev M. Universe as Self-Organization System // Abstract book of 9th International Conference on Computing Anticipatory Systems, HEC-ULg, Liege, Belgium, August 3–8, 2009, Symposium 3, p. 14.

17. Игнатьев М. Б. О совместном использовании принципов введения избыточности и обратной связи для построения ультраустойчивых систем // Труды Ш Всесоюзного совещания по автоматическому управлению. Т. 1, 1968.

18. Glushkov V., Ignatyev M., Miasnikov V., Torgashev V. Recursive machines and computing technology // Proceedings IFIP-74, computer hardware and architecture, p. 65–70, Stockholm, August 5–10, 1974.

19. Малинецкий Г. Г. и др. Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие // Г. Г. Малинецкий и др., М.: Наука, 2002.

20. Медведев Д. А. Россия, вперед! (газета «Известия» от 11.09.2009).

21. Игнатьев М. Б. Компьютеризм // Программа 29-й международной конференции по информатике и проблемам устойчивого развития, СПб., 23–24 апреля 2010. С. 83–84.

22. Гвишиани Д. М. Мосты в будущее. / Д. М. Гвишиани. — М., 2004.

23. Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ. / Под ред. С. А. Евтеева и Р.А. Перелета. — М.: Прогресс, 1989.

24. Яковлев Р. М., Данилевич Я. Б., Игнатьев М. Б., Суглобов Д. Н. // Атомная энергетика без плутония и Чернобыля / Р. М. Яковлев, Я. Б. Данилевич, М. Б. Игнатьев, Д. Н. Суглобов / Мир и согласие. — № 2. — 2008. — С. 58–71.

М. П. Федоров, Ю. С. Васильев, Л. Н. Блинов

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ

Проведенный анализ основных вопросов, связанных с разработкой инновационного подхода и его научно-методического обеспечения по созданию необходимой образовательной среды для устойчивого развития, показал, что необходимо привлечение смежных дисциплин, прежде всего, экологии.

Создаваемые основы научно-методического обеспечения должны базироваться на анализе и учете следующих факторов: образование и устойчивое развитие; устойчивое развитие: концепция, основные положения, задачи, пути реализации; устойчивое развитие через призму авторских мнений и высказываний; образование для устойчивого развития; экологическое образование.

Образование и устойчивое развитие. В настоящее время одной из важнейших актуальных предпосылок гармоничного и устойчивого развития системы «человек-общество-природа» становится образование [1, 2]. По сути, образование сейчас — важнейшая составная часть устойчивого развития России. Во всей системе образования все более значимую роль должны играть как *образование для устойчивого развития и экологическое образование*, так и *экологизация образования,* под которой понимается интегральное внедрение идей, понятий, принципов, подходов экологии в систему подготовки специалистов технического профиля, не являющихся экологами. Только на основе современного образования, интегрирующего обучение, воспитание и развитие, включающего в себя как важнейшую составную часть *образование для устойчивого развития* и *экологическое образование*, возможно не только готовить кадры для решения экологических проблем, но и вырастить поколение жителей Земли, обладающих новым мировоззрением, способных решать социальные, экономические и экологические проблемы в их глубокой взаимосвязи, в локальных и глобальных проявлениях [3–7]. В первую очередь, это относится к специалистам технических направлений, *создателям техносферы*. В конечном итоге, именно *экологическое образование и образование для устойчивого развития являются необходимыми предпосылками наличия в стране культурного и интеллигентного общества, экологически образованной плеяды специалистов и руководителей, способных не только видеть экологические проблемы и готовых их решать, но и предвидеть возможные негативные последствия, не допускать их* [2, 8].

В последние годы стало очевидным, что отсутствие или недостаточность развития системы образования для устойчивого развития, а тем более снижение их качества, становится реальной угрозой национальной безопасности во всех ее составляющих — в экономической, социальной, технической и, конечно, в экологической. Для повышения эффективности образования важной задачей является системная реализация принципов опережающего и непрерывного экологического образования для устойчивого развития в системе «школа-вуз-поствузовское обучение», органичное внедрение в программы учебных курсов естественнонаучных, гуманитарных, экологических и специальных дисциплин *основополагающего принципа В. В. Вернадского о единстве естественнонаучного и гуманитарного познания в решении проблем жизни*.

В настоящей статье приведены специально отобранные высказывания видных ученых, общественных деятелей, педагогов, писателей, выдержки из решений международных форумов и конференций, относящиеся к устойчивому развитию, образованию для устойчивого развития и экологическому образованию. Знание различных точек зрений по указанным вопросам имеет не только самостоятельный интерес, но может

быть полезным при изучении, преподавании и понимании дисциплин естественнонаучного, гуманитарного и экономического циклов, их взаимосвязи. В целом, их системный учет позволяет более эффективно реализовывать алгоритмы устойчивого развития образовательной среды для естественнонаучных дисциплин с учетом перехода на уровневую систему подготовки специалистов; определять возможности повышения качества образования в целях устойчивого развития.

Для начала попробуем рассмотреть имеющуюся нормативно-правовую базу по устойчивому развитию.

Устойчивое развитие: концепция, основные положения, задачи, пути реализации. «Осуществление государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и *обеспечению устойчивого развития* (выделено нами) предусматривает реализацию закрепленного в Конституции Российской Федерации права граждан на благоприятную окружающую среду, прав будущих поколений на использование природно-ресурсного потенциала в целях поддержания устойчивого развития, а также решение текущих социально-экономических задач в неразрывной связи с осуществлением адекватных мер по защите и улучшению окружающей среды, сбережению и восстановлению природных ресурсов», (*из Указа Президента РФ № 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» (04.02.1994 г.)).*

«Переход к устойчивому развитию предполагает постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды. Этого можно достичь усилиями всего человечества, но начинать движение к данной цели каждая страна должна самостоятельно.

Переход к устойчивому развитию должен обеспечить перспективу сбалансированного решения проблем социально-экономического развития и сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала, удовлетворение потребностей настоящего и будущих поколений людей», (*из указа Президента РФ № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» (01.04.1996 г.)).*

«Люди имеют право на здоровую и плодотворную *жизнь в гармонии с природой*.

— Сегодняшнее развитие не должно осуществляться во вред интересам развития и охране окружающей среды на *благо нынешнего и будущих поколений*.

— Государства имеют суверенное право разрабатывать свои собственные ресурсы, но без ущерба окружающей среде за пределами их границ.

— *Для достижения устойчивого развития защита окружающей среды должна составлять неотъемлемую часть процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него*.

— *Мир, развитие и охрана окружающей среды взаимосвязаны и неразделимы*», *(из основных принципов «Декларации по окружающей среде и развитию», принятой на конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.)).*

«В дальнейшем постепенно должна решаться проблема гармонизации взаимодействия с природой всего мирового сообщества. Россия, на долю которой приходится значительная часть ненарушенных экосистем, будет играть в этом процессе одну из ключевых ролей. Движение человечества к *устойчивому развитию* (выделено нами), в конечном счете, приведет к формированию предсказанной В.И. Вернадским сферы разума (ноосферы), когда мерилом национального и индивидуального богатства станут духовные ценности и знания Человека, живущего в гармонии с окружающей средой», (*из «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию»).*

«Единственный способ обеспечить себе более безопасное, более процветающее будущее — это решение проблем окружающей среды и экономического развития в комплексе и согласованным образом. Мы должны удовлетворять основные нужды людей, повышать уровень жизни для всех и в то же время лучше защищать и сохранять экологические системы. Ни одна страна не может добиться такого будущего в одиночку, но *мы можем его добиться совместными усилиями в рамках всемирного сотрудничества в целях устойчивого развития*», (*из преамбулы к «Повестке дня на XXI век», принятой на конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992 г.)).*

«... устойчивое развитие — это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способ-

ности будущих поколений удовлетворять свои потребности», *(из доклада Международной комиссии по окружающей среде и развитию под председательством Г. Х. Брундтланд «Наше общее будущее» (1987 г.))*.

«Для перехода к устойчивому развитию необходимы управленческие решения и действия, которые должны с опережением приниматься в условиях риска и неопределенности.

Упреждающе должны развиваться наука и образование, которые должны формировать глобальное общественное сознание и определять ноосферные приоритеты», *(из «Основных положений стратегии устойчивого развития России», раздел «Концепция стратегии устойчивого развития», подраздел «Развитие цивилизации и биосферы»)*.

«Концепция устойчивого развития действительно констатирует наличие пределов — не абсолютных пределов, но ограничений, налагаемых современным уровнем развития технологий и социальной организации на ресурсы окружающей среды и способность биосферы «поглощать» последствия хозяйственной деятельности человека», *(из доклада Комиссии ООН по проблемам окружающей среды и развитию (1987 г.))*.

«Во-первых, *социальная устойчивость* не может быть достигнута без равномерного распределения того, что является дефицитным, или без возможности совместного участия в решении социальных проблем. Во-вторых, *глобальное общество не может быть устойчивым*, если потребности в пище в любое время не будут значительно ниже глобального уровня обеспечения, а уровень выбросов загрязнений — ниже способности их аккумуляции экосистемами. В-третьих, новая социальная организация окажется устойчивой лишь при условии, что *масштабы использования невозобновляемых природных ресурсов не превзойдут рост ресурсов за счет технологических инвестиций*. Наконец, устойчивое функционирование общества требует такого *уровня активности общества, на который не могут негативно повлиять никогда не прекращающиеся сильные и частые природно обусловленные изменения глобального климата*», *(из материалов экуменической конференции, созванной Всемирным советом церквей (1974 г.))*.

«... *устойчивое развитие* (выделено нами) требует удовлетворения основных потребностей всех людей и распространения на всех возможности удовлетворить свои ожидания лучшей жизни. ... мир, которому свойственна нищета, окажется всегда подверженным экологической и другим катастрофам», *(из доклада Комиссии ООН по проблемам окружающей среды и развитию (1987 г.))*.

«Мы должны осознать необходимость такого нового пути развития, который обеспечивает устойчивый прогресс жизни людей не в нескольких местах в течение нескольких лет, но на всей планете вплоть до отдаленного будущего», *(из доклада Комиссии ООН по проблемам окружающей среды и развитию (1987 г.))*.

«На конференции в Рио (1992 г.) был декларирован принцип *«sustainable development»*, который получил не только биологический, но и экономический акцент. На русский язык это выражение было переведено как «устойчивое развитие», хотя более точным был бы перевод как «допустимое» или «согласованное с состоянием природы и ее законами развитие», *(распространенное мнение многих ученых)*.

Далее мы хотим привести высказывания известных ученых по вопросу устойчивого развития и образованию [16].

Устойчивое развитие через призму авторских мнений и высказываний. *К. Я. Кондратьев:* «Одна из важных причин разрыва между декларациями и реальной действительностью связана *с расплывчатостью понятия «устойчивое развитие», которое, с одной стороны фиксирует внимание на проблеме устойчивости, но, с другой стороны, — подчеркивает важность развития (в этой связи очевидно, что понятия «устойчивости» и «устойчивого развития» нельзя рассматривать как тождественные,* и поэтому их взаимозаменяемое использование в «Повестке дня на XXI век» безусловно, некорректно)».

Е. А. Когай: «*Ценностный компонент образования в области окружающей среды* ориентирует учащихся на преодоление потребительской позиции по отношению к этой среде, позиции, несущей биосфере смертельную опасность. На преодоление данной позиции нацелена *концепция устойчивого развития,* не противопоставляющая экономические интересы экологическим, региональные — глобальным. Ценностный подход нацеливает на повышение качества жизни в достижении баланса с природой, а, в конечном

счете, — на повышение качества жизни всех живых существ».

Т. А. Трифонова и др.: «... речь идет о нахождении оптимального решения для развития общества. В современной науке в связи с этим говорят о *концепции устойчивого развития*. В этом состоит оптимизм для будущего у человека, который живет в условиях непрерывно развивающегося общества. Именно об этом говорится в учении о ноосфере, которое основал В. И. Вернадский, и в котором предмет исследования — перспектива современной цивилизации на основе понимания сложнопереплетенных процессов развития природы и человеческой деятельности».

Н. Ф. Глазовский: «Устойчивое развитие предполагает гармоничное сочетание трех основных направлений деятельности: обеспечения экономического роста, социальной справедливости и *высокого качества окружающей среды*. Таким образом, речь идет об устойчивом развитии сложной природно-социальной системы».

В. В. Меньшиков, Т. В. Савельева: «*Наряду с военной, социально-экономической, информационной, экологическая безопасность является важнейшим компонентом национальной безопасности России*. Обеспечение экологической безопасности — это система мер и действий, направленных на устойчивое развитие экологических природных систем в интересах личности, общества и государства, обеспечение минимизации ущерба при взаимодействии человека с природой, восстановление природной среды там, где ей был нанесен существенный ущерб».

В. А. Корчагин и др.: «Объективные тенденции в развитии цивилизованного мира таковы, что они с необходимостью подводят его к его переходу к эпохе *устойчивого, разумного развития*, где действует закон опережающего развития качества образовательных систем и качества общественного интеллекта (по отношению к росту социальной, технологической и экономической формой жизни) при обеспечении приоритетности благоприятного качества окружающей среды. *Эта триада является базисом фундаментальных основ образовательного процесса в динамике его развития*».

Н. Ф. Глазовский: «*...все больше людей осознает необходимость перехода человечества к устойчивому развитию*, которое позволило бы не только более успешно решать существующие проблемы и удовлетворять насущные духовные и материальные потребности нынешнего поколения, но и дало бы возможность достойно развиваться будущим поколениям».

Н. А. Добротина: «В свете создания современной идеологии — экологический компонент (энвайроментализм) занимает совершенно особое первостепенное место. В условиях глобального экологического кризиса, бифуркационного развития биосферы, кризиса духовности необходимо новое, глубинное понимание экологии как науке о Доме, экологическое мироощущение. Об острой необходимости активного становления экологической идеологии, энвайроментализма, натурфилософии, экофилии и экологического мироощущения говорит цивилизованный прогрессивный мир. Именно *экологическая идеология и соответствующее мироощущение является основополагающей идеей устойчивого экоразвития* и приближения к ноосфере...».

К. Я. Кондратьев: «*Концепция устойчивости (sustainability) развития в ее современном понимании впервые появилась в 1974 г. в документах Всемирного совета церквей* как реакция на возникновение в развивающихся странах возражения по поводу преувеличенности опасений относительно состояния окружающей среды в таких условиях, когда миллионы людей страдают от нищеты и голода».

А. Д. Урсул: «Устойчивое развитие представляет собой *систему* экономических, экологических, социально-культурных и других аспектов человеческой деятельности, ориентированных на цели выживания цивилизации и становление ноосферы, что должно найти адекватное выражение в образовании».

С. А. Черникова: «*Концепция устойчивого развития — это не догма, не окончательное сформированный свод постулатов и законов*. Это опирающееся на знание фундаментальных эволюционных закономерностей понимание экологических пределов и необходимости изменения развития человечества в направлении обеспечения сохранения окружающей природной среды. И на этой основе обеспечение качества жизни всех жителей планеты».

И. Т. Суравегина: «Генерализованным условием *устойчивого развития* (выделено нами) в системе «общество — природа» является высокая экологическая культура населения планеты, ко-

торая должна быть задана семьей и образовательными системами. А потому обостряется проблема разработки программ разных уровней, как для учащихся, так и для подготовки и повышения квалификации преподавателей».

К. Я. Кондратьев: «Важный итог развития событий во второй половине XX века состоит также в том, что основу для успешного развития тех стран, которые только становятся участниками процесса глобализации, должна составлять государственная поддержка. Этот процесс должен развиваться в духе принципов *устойчивого развития* на основе взвешенного учета взаимодействующих *экономических, социальных и экологических факторов*».

Н. Н. Моисеев: «Термин «*sustainable development*», который мы переводим как «устойчивое развитие», следует интерпретировать как «*стратегию*» перехода к такому состоянию природы и общества, которое мы можем характеризовать термином «*коэволюция*» или «*эпоха ноосферы*».

В. В. Хаскин: «*Sustainable development* — понятие, которое у нас поспешили искаженно перевести «устойчивое развитие» (видимо, вспоминая привычный «неуклонный рост материального и духовного благосостояния...»), означает на самом деле — по первоначальному смыслу — *развитие, поддерживающее состояние общества на допустимом уровне, без количественного роста потребления природных ресурсов* (выделено автором). По существу, это не более, чем лозунг, плохо завуалированное и абсолютно безнадежное желание богатых стран и слоев общества сдержать стремление бедных к повышению благосостояния».

Ю. Д. Железнов: «Попытка положить в основу общепланетарных межгосударственных отношений учет экологической обстановки на планете была сделана в 1992 г. на известной конференции руководителей всех государств в Рио-де-Жанейро. На конференции речь шла об отказе от антропоцентрического гуманизма и узкоэтнического эгоизма с целью *формирования мировоззрения коэволюции сосуществования Общества и Природы* и коэволюционного сотрудничества народов мира на Земле. Но в Рио-де-Жанейро на это не хватило ни нравственной, ни интеллектуальной зрелости тех лидеров, которые приняли участие в конференции».

К. Я. Кондратьев: «... перевод слов «*sustainable development» как «устойчивое развитие» является, несомненно, неточным*. Правильнее было бы: *«устойчивое поддерживаемое развитие»*.

С. А. Черникова: «Концепция устойчивого развития — это динамично развивающееся осознание происходящих процессов в современном мире, попытки понять тенденции, выявить безопасный путь развития. Такое осознание возможно *при сбалансированном изучении естественнонаучных, социальных и экономических дисциплин, формировании системного, критического мышления, способности воспринимать многообразие культурных особенностей*».

А. Г. Аганбегян: «Проблема устойчивого общественного развития осложняется еще и тем, что кризис мегасистемы «экономика — экология — общество» проявляется также в разрушении духовной основы русского общества; разрушение его научно-технического потенциала; росте преступности; появления тенденции вымирания населения России, прежде всего, русского народа. В этих условиях необходимы принципиально иные подходы к анализу сложнейших социо-эколого-экономических проблем и выбору оптимальной стратегии и тактики решения».

А. Д. Урсул: «... переход к устойчивому развитию — это появление в системе «общество — природа» отрицательной обратной связи, которая и сможет обеспечить гомеостазис этой системы как коэволюцию человечества и биосферы..... переход на путь устойчивого развития ноосферной ориентации потребует *кардинальных трансформаций сознания и деятельности по производству знаний и в образовании — как главной и всеобщей деятельности по их передаче и усвоению*».

К. Я. Кондратьев: «Человечество столкнулось с противоречием между неизбежностью быстрого развития цивилизации и невозможностью устойчивого развития биосферы с той же скоростью. Скорость научно-технического прогресса количественно характеризуется средним временем смены технологий. Это около 10 лет. Эквивалентная этому естественная «биотическая смена технологий» количественно характеризуется средним эволюционным временем смены видов, генетическая программа которых полностью заменяется за сто миллионов лет. То есть скорость прогресса на 7 порядков величины превосходит скорость эволюции, и *никакого «устойчивого» развития биосферы, сопоставимого со скоростью развития человечества, быть не может*».

Н. Ф. Глазовский: «... все современные идеи об устойчивом развитии, так или иначе, антропоцентричны, поскольку в этом контексте *бессмысленно обсуждать устойчивость биосферы без человечества*. Поэтому наиболее важно обсуждать проблемы устойчивости биосферы, пригодной для обитания человека».

В. В. Хаскин: «Что касается ноосферы — «сферы разума» (ее принято считать конечной целью устойчивого развития), то, при всем уважении к идеям В. И. Вернадского, *человечество еще очень нескоро станет достойным контроля над биосферой*».

А. Д. Урсул: «С принятием стратегии устойчивого развития наступает новая точка бифуркации на пути революционных изменений науки, которая либо погибнет вместе с человечеством, либо вместе с ним вступит в новую — ноосферную эру своего развития, выбрав новые цели и ценности своего преобразования».

К. Я. Кондратьев: «Экономическое развитие восточноазиатских стран достигнуто, однако, ценой серьезных экологических потерь (обезлесивание, загрязнение окружающей среды, спад биоразнообразия и др.). В этой связи несомненно, что *развитие восточноазиатских стран (как и Запада в целом) было экологически неустойчивым*».

В. В. Хаскин: «... с экологической точки зрения «устойчивое развитие» — бессмыслица: для экосистемы устойчивость и развитие (в нашем — «экономическом» — понимании) альтернативны».

А. И. Субетто: «*Конференция в Рио-де-Жанейро 1992 г.*, уже ставшая выдающимся событием XX века, зафиксировала факт *резкого повышения «неустойчивости» развития человечества*, конфликта человечества с природой, угрожающих темпов уничтожения биологического разнообразия, вырубки лесов, сокращения природных запасов пресной воды, сокращения площадей плодородных земель и падения плодородия почвы».

А.Д. Урсул: «.... важно при проведении *любых экологических мероприятий* следить за тем, чтобы глобальная экологическая ситуация не ухудшилась, а еще лучше, если антропогенный пресс на биосферу уменьшался бы за счет всего комплекса природоохранных мероприятий, ориентированных на реализацию целей устойчивого развития. Переход к устойчивому развитию имеет, как не раз отмечалось, принципиально планетарный характер в силу целостности и сильных экологических взаимосвязей компонентов биосферы».

К. Я. Кондратьев: «Две основополагающих взаимосвязанных проблемы имеют особое значение в контексте устойчивого развития: *глобализация и перспективы развития современного общества потребления*».

Г. А. Ягодин: «*Самоподдерживающее развитие* предусматривает сохранение на Земле биоразнообразия за счет сохранения ареалов других живых существ, в том числе сохранения тропических лесов, увеличения числа территорий, охраняемых от человеческой деятельности, предохранения от загрязнений поверхностных и подземных вод и океанов, принятия мер против эрозии почв и опустынивания, разрушения озонового слоя и быстрого изменения климата».

Н. Ф. Глазовский: «Устойчивость биосферы — важнейшая научная и практическая проблема, поскольку с ней связаны вопросы о допустимом антропогенном воздействии на биосферу, предельно возможной численности населения Земли, приоритетах глобальной политики и т. д.».

А. Д. Урсул: «И хотя еще Римский клуб в свое время призвал думать глобально, а действовать локально, но этот призыв был понят в основном в смысле проведения локальных мероприятий. Никто и не намеревался, проводя эти мероприятия, одновременно улучшать и глобальную экологическую ситуацию. *Сейчас, имея в виду перспективы устойчивого будущего, необходимо уже и думать и действовать глобально и локально, не разрывая их взаимосвязь на мыслительную и практическую составляющие*».

К. Я. Кондратьев: «В особенности важно, чтобы XXI век стал периодом изменения экономической политики для того, чтобы сделать *экологически приемлемым соотношение между потреблением и производством*. Это означает необходимость разработки не только модели развития для стран Юга, но (и в еще большей степени) стран Севера с целью установления нового международного экономического порядка, обеспечивающего достижение необходимых *социальных и экологических целей*».

Экологическое образование. Составной частью образования для устойчивого развития

является экологическое образование, точнее — экологическая составляющая образования. Особое значение экологическое образование имеет при подготовке специалистов технических специальностей в вузах и, особенно, в технических университетах.

Основная цель деятельности по данному вопросу для технических университетов — разработка и внедрение эффективной системы экологического образования, воспитания и переподготовки кадров в технических университетах, направленной на решение вопросов устойчивого и бескризисного развития России на базе экологически ориентированных образовательных и промышленных технологий, чистых производств с учетом отечественного и зарубежного опыта [1, 2].

Суть деятельности должна заключаться в создании интегрированного образовательного экологического комплекса, его блоков, механизмов, реализации, подходов и алгоритмов их внедрения в рамках учебного процесса, производственной практики, совместных работ с промышленными, научными и учебными отечественными и зарубежными партнерами. Для иллюстрации приведем примеры на основе деятельности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Основные структурные блоки и принципы, разработанные, апробированные и реализованные в СПбГПУ. В рамках данной деятельности создание «Концепции экологического образования в техническом университете»; разработка, с учетом подходов геоэкологии, научно-методической базы и системы принципов моделирования и функционирования природно-технических систем (ПТС); создание комплекса учебных и научных центров по экологическому образованию, в том числе Центра экологического образования для переподготовки кадров и повышения их квалификации, Учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем»; реализация принципов опережающего и непрерывного экологического образования в системе «школа-вуз-поствузовское обучение»; внедрение в программы учебных курсов естественнонаучных, гуманитарных, экологических и специальных дисциплин *основополагающего принципа В. И. Вернадского о единстве естественнонаучного и гуманитарного познания в решении проблем жизни*; создание системной учебной, учебно-методической и научной литературной базы (учебники, учебные пособия, монографии), обеспечивающей реализацию экологического образования на всех этапах обучения; создание современной учебно-лабораторной и научно-исследовательской базы для проведения конкретных работ экологического направления для промышленных, научно-исследовательских и учебных организаций России и зарубежных стран, разработка и реализация программ международного сотрудничества, относящихся к проблеме устойчивого развития [3–7].

В системном плане экологическим образованием, решением научно-технических задач, связанных с окружающей средой, СПбГПУ занимается с середины 70-х годов XX века. Так, с 1975 по 1991 гг. СПбГПУ возглавлял комплексную научно-техническую программу «Человек и окружающая среда» Минвуза РСФСР. В этой программе были объединены усилия более 200 высших учебных заведений России с целью более эффективного использования научного потенциала вузов для решения важнейших научно-технических проблем в области природопользования и совершенствования экологической подготовки специалистов.

По итогам работ опубликовано свыше 200 монографий, получено свыше 1000 авторских свидетельств, более 60 патентов, защищено свыше 100 докторских и 800 кандидатских диссертаций. Около 100 работ, выполненных в рамках программы, отмечены дипломами и медалями ВДНХ СССР, ряд из них удостоен премий Госкомобразования СССР. Значительное количество работ было включено в международную программу ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАВ) и в программу ООН по окружающей среде (ЮНЕП). В рамках выполнения указанной программы были подготовлены тысячи специалистов, обладающих не только экологическими знаниями, но и экологической культурой, экологической компетентностью, многие из которых сейчас успешно работают во многих вузах, НИИ, фирмах, как в нашей стране, так и за рубежом [9].

В середине 80-х годов в СПбГПУ был разработан и внедрен «Комплексный план-программа непрерывной экологической и природоохранной подготовки студентов», рассчитанный на весь период обучения для дневного и вечернего отделений [10]. Уже тогда, понимая важность реше-

ния проблемы экологической безопасности, для осуществления целенаправленной работы по развитию системы экологического и природоохранного образования и воспитания студентов, при научно-методическом совете СПбГПУ была создана постоянно действующая секция «Экологическое и природоохранное образование современного инженера», сформулирован ряд важных идей для дальнейшего развития высшего образования, для подготовки кадров, определены рамки различий между классическими университетами, техническими университетами и традиционными техническими вузами. Классические университеты ведут фундаментальные исследования и учебный процесс преимущественно в области естественных и гуманитарных наук. Технические университеты, опираясь на естественные науки как на базу, должны вести столь же глубокие исследования и разработки в области «наук об искусственном» и на этой основе готовить своих студентов как будущих создателей техносферы, понимающих перспективы развития человечества с учетом социальных, экологических и экономических проблемных вопросов глобального, регионального и локального масштаба.

Для системного повышения качества экологического образования, более эффективной деятельности будущих специалистов и качества подготовки инженерных кадров в целом, в СПбГПУ в 1998 г. была разработана «Концепция экологического образования в техническом университете» [3]. Данная концепция была создана на базе систематизации, органичного интегрирования и развития многолетнего опыта по экологическому образованию, накопленного, прежде всего, в СПбГПУ, а также в ряде технических университетов России и зарубежной Европы (Королевский Технический университет (Стокгольм), ТУ (Грац), ТУ (Гамбург-Харбург), ТУ (Штутгарт), «Миккели Политехник» и др.). Этот базовый документ был положен в основу формирования и совершенствования системы экологического образования в техническом университете. В Концепции сформулированы основные цели и задачи экологического образования в технических университетах, определено его современное базовое содержание, рассмотрены новые образовательные технологии, дан понятийный аппарат современной инженерной экологии (рис. 1).

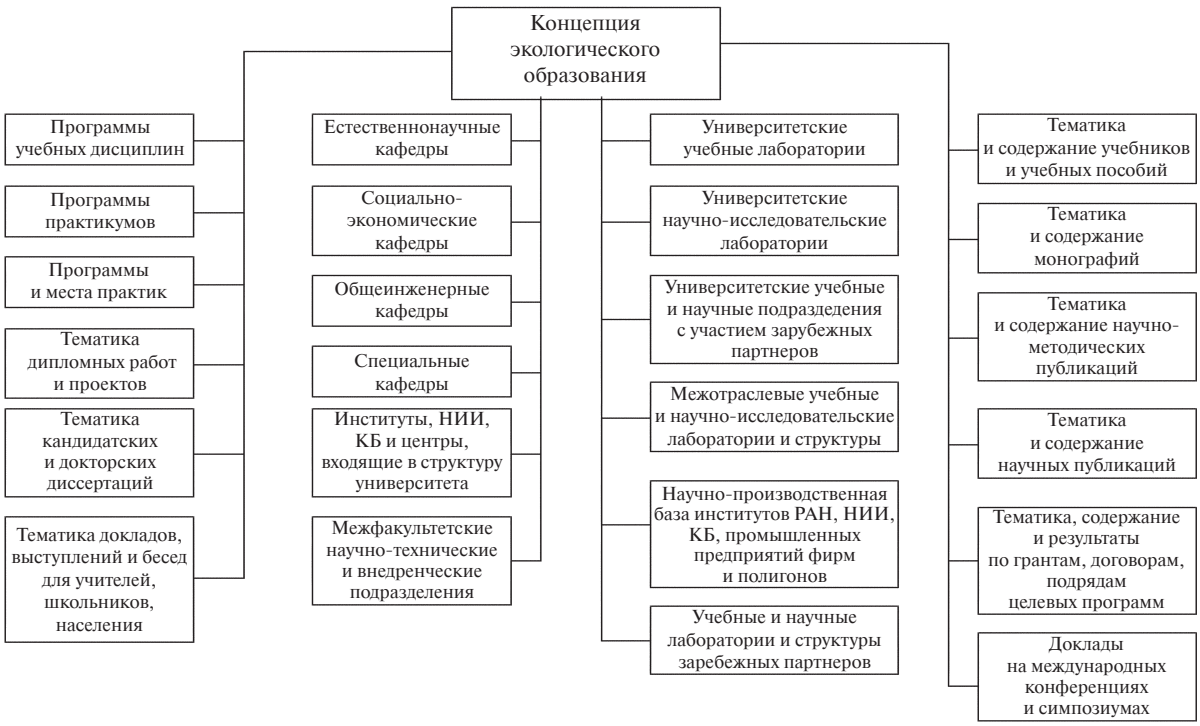


Рис. 1. Структурная схема реализации концепции экологического образования в техническом университете для устойчивого развития

В настоящее время при подготовке кадров в технических вузах, и, особенно, в технических университетах, экологическое образование перестает быть элементом сопровождения, «фоновым компонентом» существующей образовательной системы, становится доминантой во всех разделах образовательных стандартов и технологиях обучения. Новая образовательная цель формулируется «*от образования об окружающей среде — к образованию для окружающей среды*». Достижение новой образовательной цели невозможно только с помощью одних лишь косметических мер; оно требует введения экологического императива в оболочку образовательных программ для всех этапов подготовки и переподготовки специалистов.

Развитие концепции экологического образования в техническом университете направлено на обеспечение и системную поддержку идей устойчивого развития, развития, не разрушающего окружающую среду, а сохраняющего земную биосферу как общий дом человечества, то есть на развитие без разрушения.

Целью экологического образования в техническом университете стало формирование системы подготовки кадров для обеспечения развития и охраны окружающей среды научными и инженерными способами. Это возможно только при интеграции знаний об окружающей среде и предмете профессиональной подготовки специалистов, позволяющей предвидеть экологические коллизии и решать экологические проблемы в рамках их индивидуальной специализации [2–6]. Это возможно только тогда, когда каждый выпускник технического университета будет обладать не только системой экологических знаний, но и экологической культурой, экологической компетентностью (рис. 2).

В итоге основными целями и задачами экологического образования в техническом университете (в техническом вузе) являются: показ гуманитарного характера технических и естественнонаучных знаний; развитие представления о человеке как о части природы, о единстве и самоценности всего живого и невозможности выживания человека без сохранения биосферы с определенным запасом экологического разнообразия; обучение грамотному восприятию явлений, связанных с жизнью человека в природной среде, в том числе и его профессиональной деятельностью; внедрение новых перспективных «экологически чистых» ресурсо- и энергосберегающих технологий и методов природопользования; обеспечение непрерывного,

Рис. 2. Основное содержание экологического образования в техническом университете

системно-интеграционного характера экологического образования, создающего у будущего специалиста необходимый уровень экологической культуры и экологической компетентности; обеспечение возможностей для опережающего экологического образования, дающего в дальнейшем продолжение своеобразного «образования внутри». Такой целевой подход особенно важен, ибо только в этом случае можно внести свой «образовательный вклад» в обеспечение устойчивого и гармоничного развития систем «человек — общество — природа» и «человек — геосистема — экосистема».

Непрерывный характер экологического образования в вузах должен обеспечиваться различными дисциплинами, поскольку качество экологического образования зависит от ряда факторов фундаментальности, целостности, непрерывности, ориентированности на конкретные специальности и др.

На первоначальном этапе фундаментальность и системность экологического образования должны закладываться естественнонаучными дисциплинами, такими, как химия, физика и др. [11–15]. В целом, современное состояние экологического образования позволяет решать текущие задачи насыщения производства квалифицированными кадрами. Однако проблематика устойчивого (поддерживающего) развития часто требует подготовки специалистов более высокого класса, совмещающих в себе фундаментальные знания, педагогическое мастерство и владеющих новейшей методологией решения экологических проблем. Усилиями одних только вузов трудно обеспечить подготовку таких специалистов на требуемом уровне из-за недостаточной материальной базы, отсутствия ориентированности на узкие научные направления.

С другой стороны, академическая наука не обладает опытом подготовки в необходимом количестве и в сжатые сроки квалифицированных специалистов. Интеграция науки и высшего образования позволяет передать накопленную сумму знаний академической науки наиболее перспективным студентам и аспирантам на ранней стадии их подготовки, исключив их переучивание. В СПбГПУ имеется положительный опыт такой интеграции по ряду направлений. Так, одной из первых удачных попыток реализации комплексного использования полученных знаний для решения проблем экологической безопасности энергетики стало сотрудничество Санкт-Петербургского научно-исследовательского Центра экологической безопасности РАН (СПб НИЦЭБ РАН) и СПбГПУ.

За последние годы исполнителями проекта выпущено более 50 монографий, учебников, учебных пособий, связанных с экологическим образованием и воспитанием, разработкой экологически ориентированных технологий, созданием математических экологических моделей, системных функциональных схем, выполнено более 30 научных и научно-технических проектов экологического профиля

В целом, экологическая составляющая образования в СПбГПУ ориентирована на решение ключевых вопросов устойчивого развития через экологическое образование, воспитание и просвещение, поскольку без необходимого количества высококвалифицированных инженерных кадров, обладающих экологической грамотностью, компетентностью и культурой, невозможно принимать обоснованные решения с учетом комплекса экологических, экономических, юридических и социальных факторов [16–19].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление качеством высшего образования: теория, методология, организация, практика. В 3-х т. / Под ред. А. И. Субетто — СПб.; Кострома, 2005.

2. Устойчивое развитие и экологический менеджмент. Вып. 1 // Материалы международной конференции. — СПб.: СПбГУ: ВВМ, 2005. — 484 с.

3. Концепция экологического образования в техническом университете / М. П. Федоров, М. Б. Шилин, К. К. Гомоюнов [и др.]; отв. ред. М. П. Федоров. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 1998. — 45 с.

4. Васильев Ю. С. Экологическая безопасность и подготовка кадров // Ю. С. Васильев, М. П. Федоров, Л. Н. Блинов // Научно-технические ведомости СПбГТУ. — 2003. — № 2. — С. 29–44.

5. Васильев Ю. С. Экологические аспекты гидроэнергетики. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. — 247 с.

6. Федоров М. П. Экология для гидротехников. / М. П. Федоров, М. Б. Шилин, Н. Н. Ролле. — СПб.: Изд-во ВНИИГ, 1992. — 80 с.

7. Экологические проблемы и пути их решения в XXI веке: образование, наука, техника: Тр. междунар. науч.-техн. конф. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. — 159 с.

8. Моисеев Н. Н. Универсум. Информация. Общество // Н. Н. Моисеев. — М.: Устойчивый мир, 2001. — 200 с.

9. Итоги работы по комплексной научно-технической программе «Человек и окружающая среда» // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды: Межвуз. сб. — Вып. 14. — Л., 1991. — С.3–5.

10. Комплексный план-программа непрерывной экологической и природоохранной подготовки студентов Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина / под ред. Ю. С. Васильева. — Л. 1988. — 163 с.

11. Романов М. Ф. Математические методы в экологии. / М. Ф. Романов, М. П. Федоров. — М.: Академия, 2004. — 272 с.

12. Курс лекций по общей и экологической химии / Л. А. Байдаков [и др.]. — СПб.: Изд-во СПбГУ, — 1993. — 246 с.

13. Экологические основы природопользования / Л. Н. Блинов, И. Л. Перфилова, Л. В. Юмашева. — М.: Дрофа. — 2004. — 96 с.

14. Блинов Л. Н. Экология: Опорный конспект. / Л. Н. Блинов, Н. Н. Ролле. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, — 2006. — 116 с.

15. Блинов Л. Н. Основы экологической химии. Ч. I: учеб. пособие. / Л. Н. Блинов, Т. Н. Оркина, Н. П. Танцура. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. — 78 с.

16. Блинов Л. Н. Устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития / Л. Н. Блинов, В. В. Полякова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 90 с.

17. Экологические основы управления природно-техническими системами / под ред. М. П. Федорова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 506 с.

18. Арсеньев Д. Г. Концепции современного естествознания: Толковый словарь-справочник / Д. Г Арсеньев, Л. Н., Блинов, В. П. Горюнов [и др.], — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 298 с.

19. Блинов Л. Н. Автотранспорт, экология, безопасность / Л. Н. Блинов, В. В. Букреев. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 267 с.

Ю. С. Васильев, П. И. Романов

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЭКОНОМИКИ В КАДРАХ КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В 2002 г. (через 30 лет после Стокгольмской конференции) в городе Йоханнесбург состоялась Всемирная встреча на высшем уровне по устойчивому развитию. Принятая на этом форуме декларация отразила эволюцию мирового консенсуса по природоохранным вопросам за три десятилетия, начиная от Стокгольмской декларации. Если на конференции в городе Рио-де-Жанейро (1992 г.) доминировала проблема окружающей среды для достижения целей устойчивого развития, то в Йоханнесбурге этой проблеме уделялось такое же внимание, как обсуждению социальных и экономических вопросов. В политической декларации форума записано: «Мы, представители народов мира, собравшиеся на Всемирную встречу на высшем уровне по устойчивому развитию в Йоханнесбурге, Южная Африка, со 2 по 4 сентября 2002 года, вновь подтверждаем нашу приверженность устойчивому развитию. Исходя из этого, мы берем на себя коллективную ответственность за усиление и упрочение взаимосвязанных и подпирающих друг друга основ устойчивого развития — экономического развития, социального развития и охраны окружающей среды — на местном, национальном, региональном и глобальном уровнях» [1].

Для достижения целей, сформулированных в политической декларации, форум утвердил «План выполнения решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию». В нем подчеркивается, что: «Существенно важное значение для устойчивого развития имеет благое управление в рамках каждой страны и на международном уровне. Основу устойчивого развития на национальном уровне составляют продуманная экологическая, социальная и экономическая политика» [1]. Особая роль в этом документе, отводится образованию как «ключевому фактору перемен». Это не случайно, так как именно в системе образования страны закладываются основы для ее экономического, социального и экологического развития. При этом, отмечается, что необходимо «Обеспечить всем членам общества широкий диапазон официальных и неофициальных возможностей для непрерывного образования... подчеркивая при этом важность приобретения знаний в течение всей жизни и содействуя устойчивому развитию» [1].

Главным исполнителем решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию и решению новых задач в области устойчивого развития являются государства. В документах форума подчеркивается, что: «Каждая страна несет главную ответственность за свое собственное устойчивое развитие, в связи с чем роль национальной политики и стратегий в области развития невозможно переоценить. Всем странам следует содействовать достижению устойчивого развития на национальном уровне» [1].

Поэтому особое значение приобретает создание инструментария государственного регулирования процессов подготовки специалистов востребованных специальностей, обеспечивающих устойчивое развитие стран. Одним из главных направлений для решения данной проблемы является разработка системы прогнозирования потребностей в специалистах, при разработке которой в современных условиях необходимо учитывать следующие тенденции:

усиление глобальной конкуренции, охватывающей не только традиционные рынки товаров, капиталов, технологий и рабочей силы, но

и системы национального управления, поддержки инноваций;

ожидаемая новая волна технологических изменений, усиливающая роль инноваций. Отставание ряда стран в развитии новых технологий может снизить конкурентоспособность экономики этих стран, а также повысить ее уязвимость в условиях нарастающего геополитического соперничества;

возрастание роли человеческого капитала как основного фактора экономического и социального развития. Уровень конкурентоспособности и экологичности современной инновационной экономики в значительной степени определяется качеством профессиональных кадров. В этих условиях важным является преодоление тенденций поддерживания конкурентных позиций в мировой экономике за счет дешевизны природных ресурсов, рабочей силы и экономии на развитии образования;

международная миграция населения. В Концепции долгосрочного социально-экономического развития России до 2020 г. отмечается, что необходимо «увеличение доли иностранных студентов, обучающихся в России, до 5 % от общего числа студентов, создание условий для подготовки в образовательных учреждениях, обучающихся из государств — участников СНГ». В данном документе отмечается, что «повышение конкурентоспособности российского образования станет критерием его высокого качества, а также обеспечит позиционирование России как одного из лидеров в области экспорта образовательных услуг». Как показывают прогнозы, в среднесрочной перспективе в России начнет сокращаться численность трудоспособного населения и будут расти потребности в профессиональных кадрах. Отчасти сокращение трудовых ресурсов можно будет компенсировать ростом производительности труда и внедрением передовых технологий в экономику. Однако даже при самых благоприятных прогнозах покрыть нарастающий дефицит трудовых ресурсов только за счет внутренних резервов России не удастся, поэтому стране придется привлекать иностранных работников. В этих условиях необходимо определить, в каком количестве и качестве России нужны трудовые мигранты. С другой стороны, прогнозирование потребностей в специалистах должно проводиться с учетом оттока профессиональных кадров из России, активно возрастающим в эпоху глобализации [2].

В отечественной и зарубежной науке и практике накоплен определенный опыт методологического и методического обеспечения прогнозирования спроса на специалистов. Так, в США разработкой кадровых прогнозов занимается Бюро статистики труда. Прогнозы с горизонтом 10–15 лет уточняются каждые два года и являются частью среднесрочной программы управления экономическим ростом и занятостью. Во Франции прогнозирование рабочей силы осуществляется в режиме «пятилетних планов». Как отмечается во многих исследованиях, для зарубежной методологии характерно многообразие подходов к прогнозированию спроса на рабочую силу, однако общим для большинства из них остается дифференциация методологии относительно национального, регионального, локального и отраслевого уровней; выделение компонентов совокупной занятости и учет специфики их изменений. Зарубежные исследователи используют сочетание экспертных, статистических и математических методов, с помощью которых оценивается место каждой отрасли экономики в совокупной занятости в стране. В соответствии с главными параметрами развития на основе динамической модели отраслевого баланса и с учетом сводного планового баланса трудовых ресурсов рассчитывается кадровая потребность.

В современной России потребность региональной экономики в выпускниках с высшим профессиональным образованием впервые была сформулирована для субъектов Федерации при заполнении форм СФ-1 и СФ-2. Отсутствие единой методологии для среднесрочного прогнозирования спроса на рынке труда привело к тому, что разные регионы использовали различные подходы к этому прогнозированию. Около половины субъектов РФ ориентировалось на текущее состояние системы ВПО, другая часть использовала опрос крупных предприятий и организаций в регионе. Тем не менее, этот опыт прогнозирования оказался исключительно полезным, он показал необходимость разработки научно обоснованных методик прогнозирования потребностей рынка труда в выпускниках системы ВПО. Очевидно, что динамичной мо-

дели социально-экономического развития России должна соответствовать адаптивная система образования, быстро реагирующая на запросы рынка труда, стимулирующая экономический рост, воспроизводящая специалистов, способных эффективно работать в конкурентной экономической среде. В таких условиях региональные системы профессионального образования призваны обеспечивать перспективные потребности экономики субъектов РФ в профессионально-квалификационном обновлении и пополнении кадров. Прогнозирование потребностей рынка труда рассматривается как важная составная часть маркетинговой информации, необходимой для разработки мероприятий по регулированию и контролю над изменениями рынка образовательных услуг, по стратегическому планированию системы подготовки и переподготовки кадров, ориентированной на спрос. Очевидно, что горизонт прогнозирования кадровых потребностей социально-экономического развития регионов России должен быть не менее пяти-семи лет, поскольку формируемые на основе его результатов планы приема в учреждения профессионального образования определяют структуру выпуска соответствующих специалистов через 3–4 года (бакалавры) или 5–6 лет (специалисты). С другой стороны, более длительные горизонты прогнозирования невозможны в связи с высокой рыночной динамикой, характерной для современной России [3].

В рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» авторский коллектив Санкт-Петербургского государственного политехнического университета на протяжении ряда лет занимается разработкой комплексных моделей прогнозирования потребностей экономики в специалистах. Разработаны методики использования статистической информации о текущем состоянии экономики России для целей прогнозирования потребности экономики России в кадрах. Разработаны адаптивные методы оценки потребности экономики России в бакалаврах, магистрах и специалистах в условиях введения уровневой системы образования. Авторы надеются, что полученные результаты будут использованы Минобрнауки РФ в целях «благого управления» для устойчивого развития России. Точное прогнозирование потребности экономики в кадрах необходимо также для того, что бы «обеспечить всем членам общества широкий диапазон официальных и неофициальных возможностей для непрерывного образования... содействуя устойчивому развитию» [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклад Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию Йоханнесбург, Южная Африка, 26 августа — 4 сентября 2002 года. URL: http://www.un.org/russian/conferen/wssd/index.html.

2. Системные ресурсы качества высшего образования России и Европы / Н. И. Булаев, В. Н. Козлов, А. А. Оводенко, А. И. Рудской. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 460 с.

3. Балыхин Г. А. Государственное задание на подготовку специалистов как механизм реализации государственной политики в области модернизации образования / Г. А. Балыхин, М. В. Суровов, О. П. Маркова. Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: Сб. докладов по материалам Второй Всероссийской научно-практической Интернет-конференции. Т. 1. — Петрозаводск, 2005.

Ю. С. Васильев, К. А. Дубаренко, В. В. Ермилов

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ — ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

В Российской Федерации продолжается модернизация реформы системы высшего профессионального образования (ВПО). Вузы страны перешли на уровневую систему подготовки кадров. Разрабатываются государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ГОС ВПО) третьего поколения. По замыслу такой переход должен привести к повышению качества высшего образования, обеспечить эффективность системы ВПО в соответствии с перспективами развития страны.

При этом важно обеспечить устойчивость переходного процесса, сходимость заявленных целей и получаемых результатов, что возможно только при высоком качестве управления процессами. Жизнь и процветание народов предопределяются господствующим в них мировоззрением, миропониманием, нравственностью, являющихся основой этики отношений. То же самое касается стран и цивилизаций.

Важным фактором, влияющим на устойчивость развития любой общественной системы, является распределение населения по типам строя психики, то есть по общности психического склада, проявляющегося в особенностях культуры, преобладающих стереотипах поведения и образа жизни. Поэтому важно уметь оценивать статистику такого распределения, направленность и динамику ее изменения. Это задача далеко не тривиальная.

К возрасту 16–17 лет завершается телесное и психофизиологическое формирование человека в соответствии с генетически предопределенной программой. В основном завершается первоначальное становление характера, его нравственных и волевых свойств, выявляются творческие способности, формируются привычки и навыки самоуправления, этики совместной жизни и деятельности.

На следующем за школой этапе подготовки молодых людей к жизни и профессиональной деятельности в системе среднего и высшего профессионального образования происходит приобретение знаний, умений и навыков труда. По окончании учебного заведения (к 20–22 годам) заканчивается формирование характера человека, и он включается в общественное производство. Важнейшей задачей системы образования является формирование у студентов способностей, навыков самостоятельного поддержания своего профессионализма после окончания обучения. В ходе трудовой деятельности этот процесс осуществляется в режиме реального времени.

На всех стадиях обучения у индивида происходит углубление миропонимания, расширение кругозора, совершенствование нравственно-этических основ и развитие творческого потенциала.

Система образования влияет на текущее состояние общества, а также на динамику его развития или деградации. Именно этим определяется приоритетное значение системы воспитания и образования по отношению ко всем другим сферам жизнедеятельности общества. Активно обсуждаются эти проблемы непосредственно в системе образования, и требуется широкое привлечение инженеров, работающих в реальном секторе экономики.

Систему профессиональной подготовки и объемлющий ее народно-хозяйственный комплекс страны (НХК) необходимо рассматривать как единое целое. Как взаимно вложенные управляемые системы они влияют друг на друга по цепям прямых и обратных связей. При этом

применяемые схемы управления могут быть разными: схема программного управления, схема программно-адаптивного управления, схема управления «предиктор — корректор». В длительной перспективе наибольшая устойчивость и эффективность управления процессами достигается в последней схеме.

Заметим, что устойчивое развитие системы образования, в том числе ВПО, является необходимым, но не достаточным условием для устойчивого развития объемлющей системы. Обратимся к примеру системы высшего образования, действовавшей в СССР. Народно-хозяйственный комплекс СССР развивался как единая, самодостаточная система. Основой такого развития считались объективные законы: планомерного и пропорционального развития; роста общественной производительности труда; ускорения научно-технического прогресса; обеспечения наиболее полного и эффективного использования производительных сил, природных и трудовых ресурсов; приближения промышленности к источникам сырья, топлива к районам потребления продукции; комплексного развития и специализации хозяйства союзных республик и экономических районов, развития интеграции со странами социалистического содружества и другие.

Главной целью социально-экономического развития являлось наиболее полное удовлетворение растущих материальных и духовных потребностей населения.

Министерство высшего и среднего специального образования СССР совместно с Академией наук СССР и Государственным комитетом СССР по науке и технике при составлении комплексной программы научно-технического прогресса СССР на двадцатилетний период разрабатывали прогнозы подготовки специалистов с учетом развития производительных сил и перспективных направлений науки и техники. Они совместно с министерствами и ведомствами СССР и союзных республик готовили и представляли в Госплан СССР предложения к проекту Основных направлений экономического и социального развития СССР в части подготовки специалистов и укрепления материально-технической базы высшей школы. Исходя из прогнозов и основных направлений развития, формировались проекты пятилетних планов подготовки специалистов по укрупненным показателям (группам специальностей) с учетом договоров, заключенных с министерствами и ведомствами. После утверждения планы становились руководством к действию.

Таким образом, на основе перечисленных законов, прогноза демографического развития страны, научно-технического прогресса, формировался государственный заказ системе ВПО на подготовку кадров, квалификационные требования к специалистам, осуществлялось обязательное распределение выпускников. Планы распределения молодых специалистов с высшим образованием составлялись на 1—3 года и 5 лет, а со средним образованием — на 1 год.

Такая система удовлетворяла население, обладала предсказуемостью, обеспечивала потребности экономики и ее развитие, следовательно, она была устойчивой.

Число специалистов с высшим образованием постоянно возрастало. Только за 15 лет с 1979 по 1994 гг. их число увеличилось с 77 до 133 человек на 1000 человек населения, среднегодовые темпы прироста по этому показателю в этот период составляли 3,3—3,9 % [14, 26, 27]. Заметим, что эта тенденция сохранилась и даже усилилась в постсоветское время. По данным фонда общественного мнения высшее образование котируется в России чрезвычайно высоко. Подавляющее большинство опрошенных (74 %) полагает, что сегодня важно иметь высшее образование, и только 23 % придерживаются противоположной точки зрения. Молодежь убеждена в ценности образования особенно твердо — среди респондентов моложе 35 лет первое суждение разделяют 80 %, а второе — лишь 18 % (http://bd.fom.ru/report/cat/cult/edu_edu/high_education/dd013035). В этом проявляется общая закономерность глобального исторического процесса — повышение уровня образования населения. Так, например, в США, Норвегии, Израиле высшее образование имеют 30 % взрослого населения, в России — 21 % (данные за 2005 г., по РФ — за 2004 г.).

Директивно-адресный характер управления образованием и экономикой позволял эффективно решать многие задачи народно-хозяйственного развития.

Система образования в СССР, в том числе ВПО, на всех этапах исторического развития

страны играла ключевую роль в подготовке инженерно-технических кадров для решения сложных задач, таких как индустриализация страны, повышение ее оборонного потенциала, послевоенное восстановление народного хозяйства, развитие науки и техники. Так обстояло дело только в области естественных наук. В области общественных наук высшее образование неадекватно отражало процессы развития общества и его перспективы. Генеральный секретарь ЦК КПСС Ю. В. Андропов в 1983 г. выступил с фундаментальной статьей «Учение Карла Маркса и некоторые проблемы строительства социализма в СССР», где были высказаны новые положения в области марксистской теории и критические оценки предшествующего социалистического развития, которое осуществлялось не так, как виделось основоположникам теории. В дальнейшем, на июньском (1983 г.) пленуме ЦК КПСС, он развил эту мысль: «Если говорить откровенно, мы еще до сих пор не знаем в должной мере общество, в котором живем и трудимся, не полностью раскрыли присущие ему закономерности, особенно экономические. Поэтому вынуждены действовать, так сказать, эмпирически, весьма нерациональным способом проб и ошибок». И, не смотря на утверждение, что «учение Маркса всесильно, потому что оно верно» общественные науки оказались в мировоззренческом, методологическом и метрологическом смысле несостоятельны и способствовали созданию концептуальной и нравственно-этической неопределенности в обществе. Общество представляло собой внутренне напряженную систему. В конечном итоге, неадекватное знание законов общественного развития абсолютным большинством выпускников системы ВПО в СССР, как гуманитариев, так и инженеров, явилось одной из предпосылок к дезинтеграции страны в 1991 г.

Отсюда можно сделать вывод, что подготовка специалистов широкого профиля, а именно этим качеством отличались инженеры, выпускавшиеся техническими вузами СССР, хотя и позволяла выпускникам работать в различных отраслях народного хозяйства, была неполной, недостаточной, не соответствующей реальной жизни. Следовательно, на современном этапе реформирования системы ВПО, при переходе к четырехгодичной подготовке бакалавров и двухгодичной подготовке магистров, необходимо ответить на ряд существенных вопросов. В том числе, что должны представлять бакалавры, магистры, специалисты, какими нравственно-этическими и психофизиологическими характеристиками они должны обладать, что должны знать, понимать, уметь в избранной профессиональной сфере, а также в организации жизни общества, в объективных законах его развития для обеспечения устойчивого развития общества.

Прежде чем отвечать на эти вопросы, кратко проанализируем текущее состояние дел.

Известно, что в 1985–1991 гг. подходы к государственному управлению экономикой изменились принципиально. Предпосылки для этого формировались в послевоенном СССР задолго до начала этапа так называемой «перестройки и ускорения».

С начала 90-х годов управление осуществлялось преимущественно на основе рыночных механизмов и кредитно-финансовых инструментов, не подчиненных ни законодательной, ни исполнительной, ни судебной власти страны. На коротком историческом промежутке времени осуществлялась глубокая структурная перестройка экономики России, закрепление ее сырьевого характера, усиление зависимости от внешних поставок оборудования, продовольствия, изделий легкой промышленности. Одновременно ликвидировались предприятия, производства, деградировали отрасли тяжелой промышленности, отдельные моногорода, регионы.

Например, по сравнению с последним годом до распада СССР (1990 г.) в 2007 г. сократилось производство дизелей и дизель–генераторов в 9,3 раза, тракторов — в 12 раз, комбайнов — в 26 раз, плугов — почти в 41 раз, металлорежущих станков — в 14,5 раз, а станков с ЧПУ — более чем в 44 раза, автоматических и полуавтоматических линий — в 139 раз, в 2–5 раз сократилось производство турбин, насосов, кранов (мостовых и башенных) и многого другого оборудования. Существенные потери понесли легкая, пищевая, химическая промышленность, другие отрасли народного хозяйства. В тоже время ускоренными темпами происходил рост сферы услуг.

Сообразно этому происходили глубокие изменения и в сфере образования.

Так, если в 1990 г. только каждый четвертый выпускник вуза относился к гуманитарной, социальной, экономической или управленческой группам специальностей, то в 2005 г. их число превысило половину от всех выпускников. В настоящее время их число приближается к 60 из 100, хотя многие экономисты и юристы после окончания вуза не могут найти работу. Причем существенный дисбаланс вносят коммерческие вузы. Так, в 2007 г. число выпускников по указанным специальностям составило в негосударственных вузах почти 94 %, тогда как в государственных вузах — менее 52 %.

На рис. 1–4 приведены данные, характеризующие эти процессы.

Расчеты выполнены авторами на основе статистических данных, представленных на сайте Росстата (http://www.gks.ru/).

В настоящее время выпуск специалистов системой ВПО превышает потребности эконо-

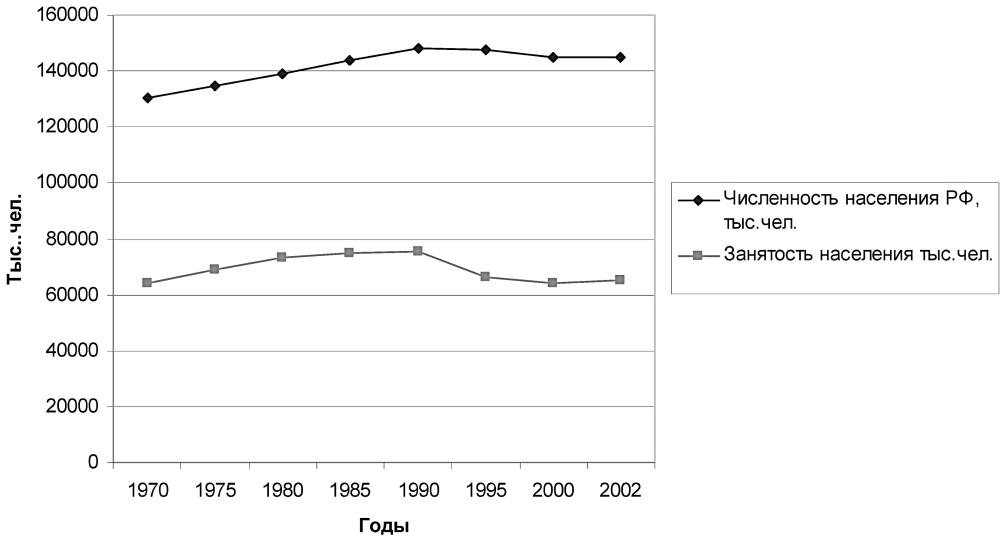


Рис. 1. Численность и занятость населения РФ

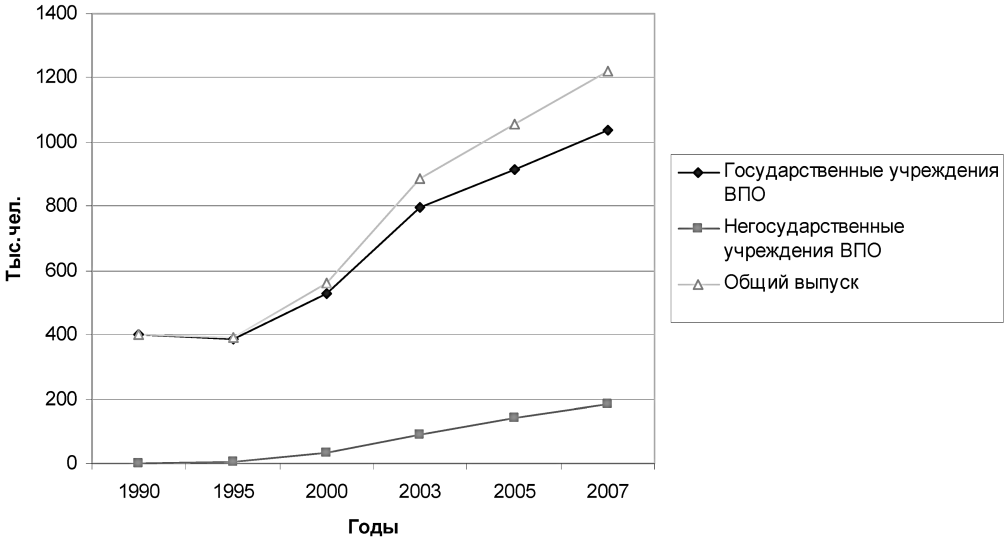


Рис. 2. Выпуск из учреждений ВПО

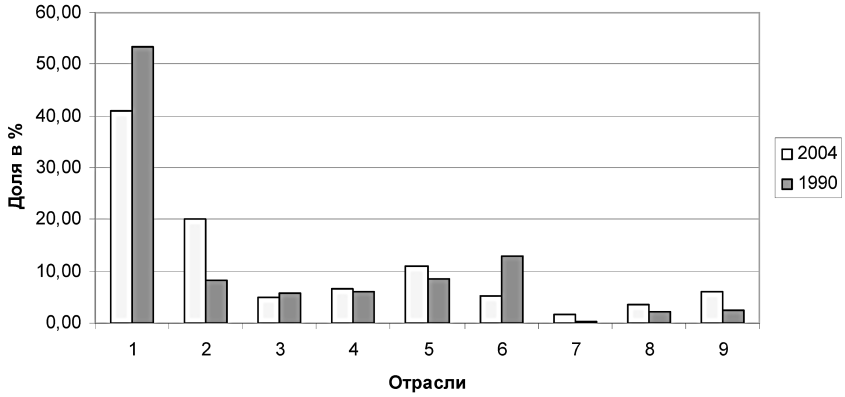


Рис. 3. Распределение экономически активного населения по отраслям в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1990 и 2004 гг.:

цифрами на горизонтальной оси обозначены: 1 — промышленность, сельское и лесное хозяйство, строительство, транспорт и связь; 2 — оптовая и розничная торговля; 3 — жилищно-коммунальное хозяйство; 4 — здравоохранение; 5 — образование; 6 — наука; 7 — финансы; 8 — управление; 9 — другие отрасли

мики, существует дисбаланс в пропорции выпуска учреждениями начального, среднего профессионального и высшего профессионального образования. Опережающими темпами растет выпуск специалистов гуманитарного профиля при растущем дефиците инженерно-технических кадров, техников, рабочих.

По некоторым данным в первые пять лет после окончания вузов 60 %(!) выпускников меняют профессию [31]. Нынешняя система образования реагирует лишь на отклонение выпуска специалистов высшей школой от текущих потребностей экономики. Причем эта реакция искажается на основе доминирующей мотивации значительной части молодежи и их родителей, полагающих, что специальность экономиста или юриста гарантирует трудоустройство, более высокие заработки, жизненный успех. В реальности же происходит крушение иллюзий у очень многих выпускников. Заметим, что на устойчивости системы образования и качестве подготовки специалистов отрицательно сказывается несогласованность действий различных министерств РФ. В таблице приведен перечень из нового квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и других служащих [23].

Из таблицы следует, что новый квалификационный справочник инженерных должностей

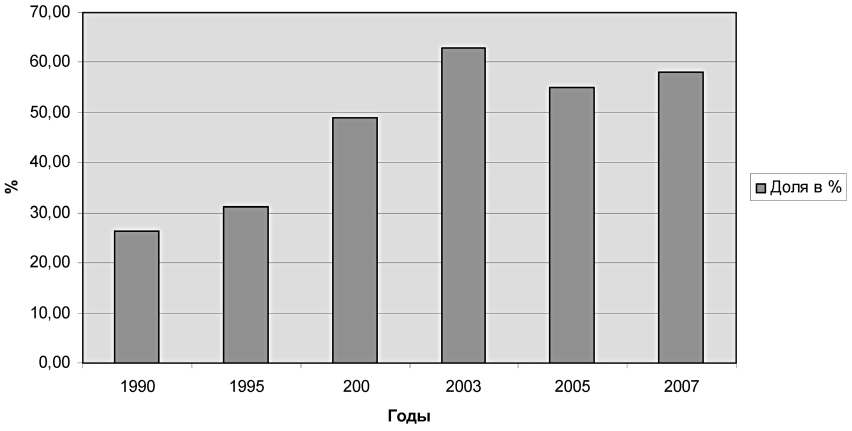


Рис. 4. Доля специалистов гуманитарного, социально-экономического и управленческого профиля в общем выпуске системы ВПО

Таблица

Перечень из Нового квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и других служащих

Номер п/п	Квалификация
1	Инженер
2	Инженер-конструктор (конструктор)
3	Инженер-лаборант
4	Инженер по автоматизации и механизации производственных процессов
5	Инженер по автоматизированным системам управления
6	Инженер по защите информации
7	Инженер по инвентаризации строений и сооружений
8	Инженер по инструменту
9	Инженер по качеству
10	Инженер по комплектации оборудования
11	Инженер по метрологии
12	Инженер по надзору за строительством
13	Инженер по наладке и испытаниям
14	Инженер по научно-технической информации
15	Инженер по нормированию труда
16	Инженер по организации труда
17	Инженер по организации управления производством
18	Инженер по охране окружающей среды (эколог)
19	Инженер по охране труда
20	Инженер по патентной и изобретательской работе
21	Инженер по подготовке кадров
22	Инженер по подготовке производства
23	Инженер по ремонту
24	Инженер по стандартизации
25	Инженер программист (программист)
26	Инженер-технолог (технолог)
27	Инженер-электроник (электроник)
28	Инженер-энергетик (энергетик)

составлен, мягко говоря, странно. Он неадекватен реальным потребностям экономики России и существующим сферам труда. Достаточно обратиться к сельскому хозяйству. Например, к осушению или орошению земель, где необходимы инженеры-мелиораторы, инженеры-геодезисты, инженеры-гидротехники, и др. Они готовятся в вузах и трудоустраиваются. Однако это тема специальных исследований. Здесь мы отмечаем лишь неполноту действующих нормативов. Двухуровневая система подготовки специалистов с высшим образованием (бакалавриат и магистратура) затрудняет трудоустройство выпускников вузов, так как входит в противоречие с существующим квалификационным справочником инженерных должностей.

Продолжая оценку структурных сдвигов в экономике, отметим, что в т. н. развитых странах около 70 % активного населения занято в сфере услуг [28]. Для США, Западной Европы, Японии характерно перераспределение экономически активного населения в третичный сектор экономики. Более 70 % ВВП этих стран производится в этом секторе (услуги, банковский, финансовый, спекулятивный капитал) и, по сути, является фиктивной ценностью (стоимость торговых марок, рыночные курсы валют и акций и т. п.) и не повышает эффективность экономики. Эти активы «высасывают» из реального сектора экономики монопольный доход владельцев спекулятивного капитала [29].

Для развитых стран такая политика является осознанной, обусловленной, прежде всего, концептуально, а не технико-технологическим ростом эффективности реального сектора экономики и производительности труда. Перенос обрабатывающей промышленности в Китай, страны Латинской Америки и другие создает мнимый избыток трудовых ресурсов. Высокий жизненный уровень поддерживается за счет неэквивалентного обмена реальных ресурсов (товаров) на необеспеченные доллары, евро, иены.

В Российской Федерации подобная тенденция обусловлена высокими ценами на нефть и газ, поддерживаемыми с весьма определенными политическими и экономическими целями. Рост населения и рост объемов реального производства в натуральных показателях в мире не обусловливает рост цен на эти и другие ресурсы. Удержание их на высоком уровне и до кризиса, и в текущем году позволяет России сравнительно успешно решать социальные задачи в краткосрочной перспективе. При этом одновременно продолжает нарастать степень износа основных фондов, утрачивается кадровый профессиональный потенциал, деградирует образование, сокращается население. Можно высказать гипотезу, что при достижении в развитии этих процессов некой «точки невозврата» цены на нефть и газ упадут и могут вызвать обвальные социальные, политические, дезинтеграционные процессы. Обломки РФ будут интегрированы частично в Китайский, частично в Европейский и Американский конгломераты. Такая точка зрения начинает превалировать.

Точечная модернизация экономики России проблемы не решает, нужны продуманные, последовательные действия по изменению нравственного, социально-психологического климата в стране, повышению уровня общего среднего и высшего профессионального образования на качественно новой основе. Это миссия системы образования — от семьи и детского сада до высшей школы. Политическая государственная воля может предъявить «замысел жизни», который может стать началом реального возрождения страны и народа. Второй вариант, не исключающий первый, — это общественная инициатива населения, но без устойчивого развития системы образования такая инициатива может вылиться или в «кровавый бунт, беЗсмысленный и беЗпощадный» (такое написание требуется по смыслу слов, который искажают действующие правила орфографии), его также может инициировать ускорение дезинтеграционных процессов. По оптимистическим оценкам для решения этой сложнейшей задачи Россия располагает временем не более 20—25 лет (т. е. одно поколение).

Прогнозы демографического развития России это подтверждают (рис. 5).

Система образования, формируя профессиональный состав экономически активного населения, в известной мере является инструментом управления развитием экономики страны. В свою очередь экономика активно воздействует на систему образования, особенно на краткосрочных интервалах времени.

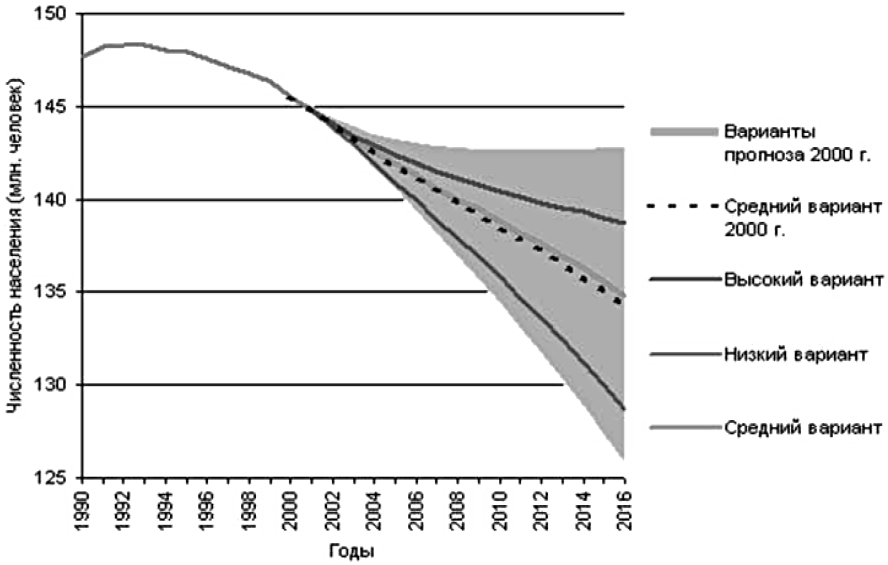


Рис. 5. Демографический прогноз

На длительных интервалах обе эти подсистемы подчинены, прежде всего, управляющим воздействиям, осуществляемых на высших информационных приоритетах (мировоззрение, методология, хронология, технологии и идеологии).

Цель системы образования как общественной подсистемы — готовить молодых людей к жизни и профессиональной деятельности. При этом уровень освоения генетически предопределенного потенциала развития человека и общества должен неуклонно повышаться.

Другими словами, мера развития и использования творческого потенциала общества в целом, различных социальных групп, каждого человека является критерием эффективности и устойчивости развития общества. Совершенно верно отмечено, что *концепция научно-образовательной деятельност должна быть сформулирована как всемерное развитие человеческого потенциала* [11].

Одновременно развитие творческого потенциала общества и создание условий для его максимального использования являются главной целью государственного управления системой образования.

Стратегия развития образования требует выработки новых научных и мировоззренческих подходов, соответствующих не только современным реалиям, но и предполагаемым перспективам развития в третьем тысячелетии. Как отмечено в [30], устойчивое развитие цивилизации не может быть достигнуто без опоры на образование, которое в XXI веке становится глобальным. Ныне существующая система образования не может «работать» на глобальный переход к устойчивому развитию, ибо она — «детище» глобальной модели неустойчивого развития, в которой отражаются все недостатки последней. Современное образование слабо связано с решением насущных и, особенно, глобальных проблем, многие из которых не просто «бросают вызов», но и угрожают гибелью человечеству». Ресурсно-демографический вызов представлен на рис. 6 [4, 5].

По нашему мнению, требуется повышение качества и эффективности управления системой образования. Целесообразно восстановление планового подхода к формированию государственного заказа в системе ВПО при сочетании директивно-адресного и индикативно-безадресного принципов [9, 11, 13, 17].

Планирование должно быть связанно не только с текущими и краткосрочными потребностями предприятий, рынка труда, но и долгосрочными потребностями (как минимум на срок 15–20 лет) и сверхдолгосрочными потребностями (одно-два поколения). При этом существенно возрастает роль прогнозирования развития общества в целом, научно-технического прогресса, экономики.

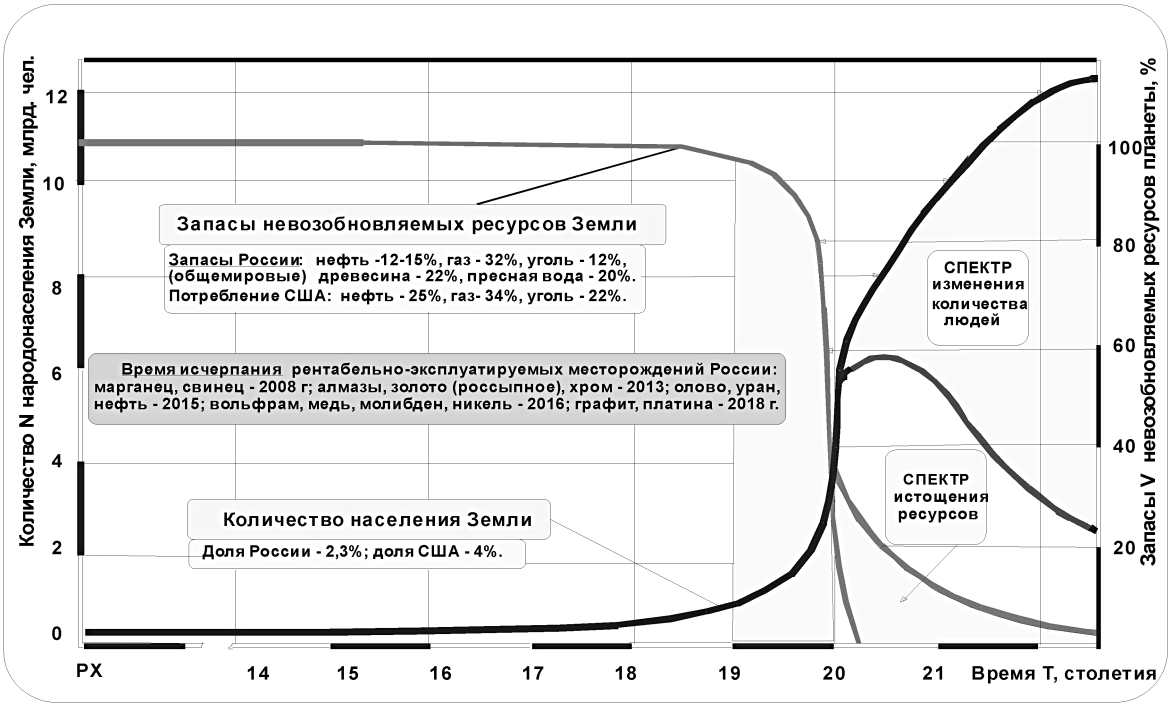


Рис. 6. Ресурсно-демографический вызов международной стабильности

Эта задача жизненно важна для России, которой предстоит осуществить ускоренную модернизацию в условиях продолжающегося сокращении населения, падения уровня образования в средней школе, снижения престижа научного, исследовательского, инженерного труда. Без нравственно-этического преображения общества, без большой идеи, сплачивающей общество, придающей ему смысл и цель существования, без социальной справедливости, изжития паразитизма, «неоэкономического рабовладения» модернизация страны останется лозунгом, демонстрацией отдельных «точек роста». Задача заключается в повышении общего уровня образования населения и среднего, и высшего, а, главное, в обеспечении сколь угодно высокого образования любому молодому человеку сообразно его способностям, независимо от национального, территориального, социального, имущественно статуса и иных факторов.

При этом высшее образование должно стать более широким, глубоким, фундаментальным, приобрести методологический характер. Наличие специалистов высшей квалификации и образованных граждан расширяет «коридор возможностей» государства [15].

Заметим, что СССР первым пришел к плановому механизму согласования возможностей высшей школы с потребностями жизни и экономики. Среди основных методов, которые использовались для определения перспективной потребности промышленности в специалистах можно выделить штатный, нормативный и комбинированный, балансовый, расчетно-аналитический и другие методы. Но их применение в даже условиях планового ведения хозяйства и директивно-адресного управления было сопряжено с определенными трудностями. Тем более в настоящее время при доминировании «беЗструктурного» управления задачи прогнозирования и планирования потребностей в бакалаврах, специалистах и магистрах усложнились и требуют концептуально состоятельного, всестороннего, глубокого обоснования с учетом многих факторов. Для этого необходимо ответить на целый ряд непростых мировоззренческих вопросов.

Точность прогноза определяется мерой нашего познания объективных процессов. Можно

ли утверждать, что объективные законы социализма были действительно объективны или они представляли ошибочный субъективизм Маркса, Энгельса, Ленина, возведенный в догму? На какие объективные законы следует опереться при планировании развития системы высшего образования? Можно ли на основе первичных категорий материализма или идеализма адекватно описывать природные, общественные, духовные процессы, верно ли описывается глобальный исторический процесс, роль и место религий, идеологий, насколько наука и технологии меняют нашу жизнь? Почему социология и другие общественные науки обладают низкими прогностическими возможностями?

Ответ на последний вопрос достаточно очевиден. Эти науки не опираются на объективные природные и социальные законы, не обладают метрологической состоятельностью, т. е. оперируют неизмеряемыми параметрами, что не позволяет анализировать процессы, осуществлять многовариантные прогнозы, обеспечивать объективные исходные данные для принятия решений и устойчивого управления процессами.

Какие же объективные законы могут и должны быть положены в основу как подготовки кадров и воспитания входящих в жизнь поколений, так и в организацию общества и управление (самоуправление) процессами жизни общества?

Человек — существо биосоциальное, т. е. информационное обеспечение его поведения складывается на основе двух составляющих: информации, передаваемой генетически, и информации социальной, воспринимаемой в процессе воспитания и обучения. Причем, по мере исторического развития, вторая составляющая приобретает большую значимость.

В истории развития цивилизации произошло несколько информационных революций. Они качественно изменяли человеческое общество. Первая революция была связана с изобретением письменности, что обеспечило *передачу знаний от поколения к поколению*. Первые формы письменности в виде особым образом начертанных знаков появились около 4 тыс. лет до Рождества Христова. Задолго до этого существовали различные способы передачи и хранения информации: с помощью определенным образом сложенных ветвей, стрел, дыма костров и тому подобных сигналов. Из этих примитивных систем оповещения позже появились более сложные способы фиксирования информации. Вторая революция (середина XVI в.) была вызвана изобретением книгопечатания. Она радикально изменила индустриальное общество, культуру, организацию деятельности, *сделало систему образования более доступной*. Третья революция (конец XIX в.) была обусловлена изобретением электричества, благодаря которому появились телеграф, телефон, радио, позволившие оперативно передавать и накапливать информацию в любом объеме. Образование стало приобретать массовый характер. Четвертая революция (70-е годы XX в.) была связана с изобретением микропроцессорной технологии, появлением персонального компьютера, интернета. Во второй половине 1990-х годов доступный человечеству объем информации удваивался каждые 5 лет. В настоящее время этот период сократился до 18 месяцев (http://www.rb-edu.ru/articles/efficiency/article464.html). Кстати, возникает вопрос, существует ли предел роста объемов информации и есть ли порог восприятия человеком и обществом быстроменяющейся информации, за которым процессы развития теряют устойчивость? Фактически современные компьютерные техника и технологии создают технические условия для массового самообразования личности, овладения профессией и поддержания профессионализма.

Можно утверждать, что человеческая история представляет собой прогрессивно ускоряющийся процесс и этот процесс носит экспоненциальный характер.

Как справедливо отмечено, «эмпирически наш современник знает, как быстро происходит обновление исторической среды, в которой мы живем. Если ему сейчас 75 лет и если разделить его жизнь на три двадцатипятилетия, то они отчетливо покажут, что каждый отрезок много богаче новациями, чем предыдущий. При жизни его предка на аналогичные отрезки приходилось заметно меньше исторической динамики, и так далее в глубь времен. А в средние века, в античности, тем более на Древнем Востоке, индивидуальная жизнь человека вообще не была подходящей мерой для течения истории: его мерили династиями, целыми цепями жизней. Напротив, человек, который начинает сейчас свою жизнь, на протяжении будущих 75 лет,

несомненно, испытает значительно больше изменений исторической среды, чем испытал наш семидесятипятилетний современник. Все позволяет предполагать, что предстоящие технические, научные и социальные изменения будут все уплотняться и ускоряться на протяжении его жизни» [25].

Описанные информационные процессы отражают один из объективных законов общественного развития, так называемый *закон времени*. Суть его проиллюстрирована рис. 7.

На рис. 7 условно показана общая продолжительность глобального исторического процесса (шкала времени условная, неравномерная).

На рис. 7 изображены два процесса: в верхней части — процесс преемственной смены поколений людей; в нижней части — процесс обновления технологий и прикладных жизненных навыков. Частота смены поколений оценивалась по возрасту матери в момент появления первого ребенка. Этот возраст в среднем составляет 20–25 лет и может быть принят за константу. Частота обновления социальной информации может оцениваться на основе разных параметров, например, частоты смены технологий, применяемых в промышленности, строительстве, других отраслях экономики. Каждый из этих колебательных процессов характеризуется периодом $T_б$ и T_c, частотой $F_б$ и F_c, которые связаны известными соотношениями:

$$F_б = \frac{1}{T_б},\ F_c = \frac{1}{T_c}.$$

На протяжении всего глобального исторического процесса частота $F_б$ была неизменной, а частота F_c постоянно возрастала. В середине XX в. они сравнялись $F_б = F_c$, после чего частота смены технологий превысила частоту смены поколений, и это перемена качественная. Если до XX в. можно было, получив образование, в том числе высшее, безбедно жить всю свою жизнь, то после смены эталонных частот биологического и социального времени для поддержания профессионализма и успешности в жизни специалист должен *учиться постоянно*. Следовательно, система образования должна учить школьников и студентов не набору фактов, а *методологии освоения новых знаний в режиме реального времени по мере необходимости*. Из этого закона вытекают объективные требования к содержанию образования и воспитания входящих в жизнь поколений, смене логики социального поведения (http://dotu.ru/2004/06/23/20040623-dotu_red-2004/). Фактически, речь идет о подготовке бакалавров, специалистов и магистров в условиях неопределенности. Технологическое обновление общества является объективной основой для формирования вариативной части образовательных стандартов. Фундаментальные законы, научные парадигмы, мировоззренческие и нрав-

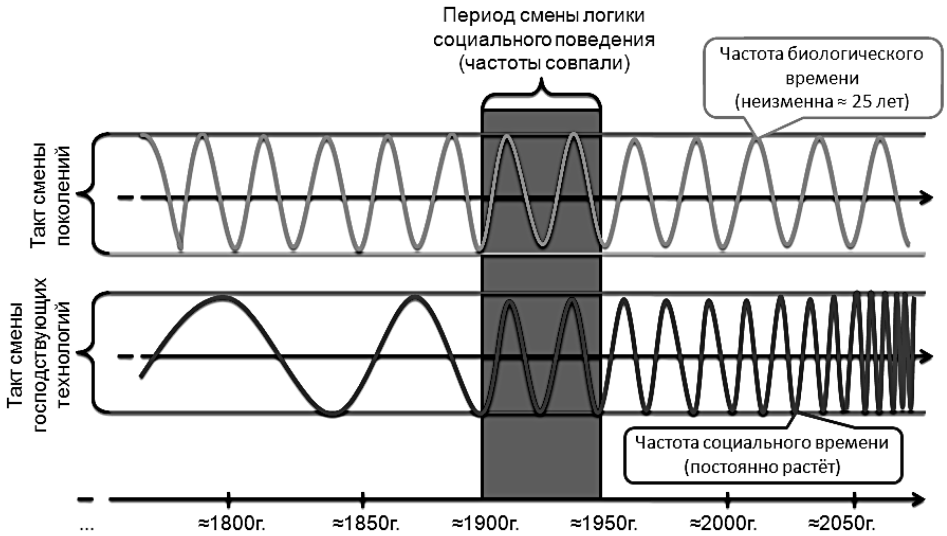


Рис. 7. Изменение соотношения эталонных частот биологического и социального времени

ственно-этические основы изменяются нечасто или остаются неизменными. Они составляют базовую часть образовательных стандартов ВПО.

Ряд авторов достаточно убедительно обосновывают наличие таких законов как *закон экономии времени; закон роста производительности труда; закон возвышения потребностей* [6, 8]. Приводятся данные об уменьшении доли рабочего времени в период с середины XIX в. до 1985 г. со значения 0,32 до 0,09, которые достаточно ясно показывают тенденцию к сокращению доли рабочего времени в бюджете социального времени. Эта тенденция и есть форма проявления закона экономии времени. Закон экономии времени может действовать стихийно в системе товарно-денежных отношений, а может использоваться сознательно в системе научного управления общественным развитием [8].

В дальнейшем был сформулирован *закон роста полезной мощности*, т. е. мощности, которую социальная система использует для воздействия на окружающую человека природу, и определено условие устойчивого развития. Общество развивается устойчиво, если имеет место исторический процесс: *сохранение неубывающего темпа роста эффективности использования полной мощности во все времена* [6, 24]. Кстати сказать, из этого закона вытекает необходимость расчета курса валют на основе энергоинварианта.

Кроме того, в глобальном историческом процессе можно выявить общественный *закон расширения кадровой базы управления*, проявляющийся в росте числа людей, участвующих в управлении. Если оценить численность аппарата управления в первобытном, рабовладельческом, феодальном, капиталистическом и современном обществе (независимо от его названия — социалистическое, индустриальное, постиндустриальное), число управленцев неуклонного растет.

Кроме того, необходимо упомянуть важнейшую закономерность, выраженную афористично В. О. Ключевским: «Закономерность исторических явлений обратно пропорциональна их духовности». А. С. Пушкин высказывался так: «Лучшие и прочнейшие изменения суть те, которые происходят от одного улучшения нравов, без насильственных потрясений политических, страшных для человечества» («Мысли на дороге»). А в программе размышлений «О дворянстве» содержится запись (по-французски): «Устойчивость — первое условие общественного блага. Как согласовать ее с бесконечным совершенствованием?»*

Эту закономерность можно по-иному сформулировать — как *нравственно-этическую обусловленность жизни человека и общества*.

На основании перечисленных законов можно сформулировать критерии оценки устойчивости развития общественных процессов, качества и эффективности управления ими. В контексте данной статьи под управлением понимается способность приводить объективно протекающие процессы к субъективно выбранной цели.

Как уже было отмечено, ключевой проблемой для обеспечения устойчивого развития страны и системы образования является развитие творческого потенциала, которым располагает общество. Поскольку задача непосредственного измерения и оценки этого потенциала, направленности и динамики его развития является далеко непростой, предлагается оценивать его опосредованно на основе таких показателей, как изменение бюджета социального времени и увеличение доли свободного времени, направленность и темпы изменения этого показателя [8]; темпы роста эффективности использования обществом полной мощности [6]; мера удовлетворения демографически обусловленных потребностей населения или, в другой терминологии, неисчезающих потребностей настоящего и будущих поколений [6, 8]; показатели экологического благополучия; индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП).

Заметим, что предложенные показатели являются объективными, физически измеримыми, достаточно просто поддаются статистическому сбору, обработке, анализу и прогнозированию. Тем самым создаются предпосылки для научного подхода к организации управления общественным развитием и объективной оценке профессионализма и качества деятельности органов государственной власти, в том числе, опосредованной оценки как системы ВПО, так и системы воспитания и просвещения в целом.

Также важно уметь оценивать направленность, эффективность, устойчивость процессов подготовки новых поколений к жизни, т. е. соб-

* С. Франк «Пушкин как политический мыслитель» (http://www.stihi-rus.ru/Pushkin/o_poete/11.htm).

ственно системы образования. Если рассматривать только систему высшего профессионального образования (ВПО), то ее эффективность можно оценить на основе ряда показателей, например, таких как отношение выпущенных специалистов, бакалавров, магистров к числу принятых на первый курс, доля отчисляемых в процессе обучения студентов, число трудоустроившихся после окончания вузов специалистов, в том числе по специальности, доля выпускников, меняющих профессию в первые годы (1–5 лет) после окончания вуза и т. п.

Дополняя этот список показателями потенциала населения, сферы образования и науки [11], использования трудовых, материальных, финансовых ресурсов, затрачиваемых на подготовку специалистов, можно оценить эффективность системы образования в целом, а также входящих в нее подсистем.

Подчеркнем еще раз, эффективность системы образования в целом должна оцениваться на основе повышения качества жизни населения на основе физически измеримых параметров.

Рассмотрим некоторые положения, связанные с сутью высшего образования. БСЭ определяет высшее образование так: «Высшее профессиональное образование — верхний уровень профессионального образования, следующий после среднего общего или профессионального образования в трехуровневой системе, включает в себя совокупность систематизированных знаний и практических навыков, которые позволяют решать теоретические и практические задачи *по профессиональному профилю*». Такое определение является неполным и явно не достаточным. Совершенно справедливо (применительно к современному этапу развития высшего образования в России) подчеркивается, что «формирование бакалавра как специалиста, *полностью готового к жизни* и деятельности в соответствующей профессиональной сфере» становится актуальной задачей [19–21]. Понятно, что высказанная мысль может и должна быть распространена на систему не только бакалавров, но и специалистов, магистров, аспирантов. Более того, быть не только профессионалами, но и адекватно понимать жизнь и быть готовыми к ней должны и выпускники системы начального и среднего профессионального образования, и выпускники школ, уходящие после школы непосредственно на производство. Эта задача максимум. Но из нее следует, что система подготовки на всех ее этапах должна быть непротиворечивой, связанной, целостной, развивать творческое мышление и способности любого человека [15].

Можно представить систему образования в виде объемлющих сфер. В семье и детском саду ребенок осваивает ядро, базу, основы, а затем на следующих этапах образовательной траектории он только непротиворечиво расширяет знание и понимание, вплоть до высшего образования, которое должно выходить на границу познанного и непознанного. Освоение базы, а затем совместный поиск решений в тандеме «студент — преподаватель» позволяет сформировать творческие, исследовательские способности обучаемого, передать невербальные знания и навыки, которые иным образом не могут быть восприняты студентом. Так обеспечивается преемственность поколений.

Если понимать, что деятельность в профессиональной сфере уже, чем жизнь, то тогда следует ответить на вопрос, что значит «полная готовность к жизни» [19–21] и какое образование обеспечивает такую подготовку? Понятно, что узкопрофессиональная подготовка не готовит к жизни по определению. В настоящее время, когда технологии и знания обновляются чрезвычайно быстро, готовить «узких» специалистов в стенах вуза, начиная с первого курса в течение длительного периода времени, нецелесообразно. Использование широкой бакалаврской подготовки с последующей специализацией в магистратуре или на производстве больше соответствует быстроменяющемуся рынку труда [6]. Следовательно, выпускник должен быть подготовлен как специалист широкого профиля, обладать фундаментальными знаниями, владеть методологией познания жизни, творческим мышлением, определенными нравственно-этическими характеристиками, глубоким пониманием общественно значимых для настоящего и будущих поколений процессов жизнедеятельности, «общего хода вещей». Заметим, что государственные образовательные стандарты ВПО третьего поколения дают возможность именно такой подготовки (1–3, 7, 16, 18).

Таким образом, можно утверждать, что перспективы развития России требуют введения фундаментального высшего образования широкого профиля как такового, независимо от

направления или профиля подготовки, т. е. академических бакалавров и магистров. «Образование должно как можно быстрее включать в свое содержание все новое фундаментальное и междисциплинарное общее, не дожидаясь пока это знание «установится» и тем самым существенно устареет в условиях удвоения информации каждый год. Это значит, что образование должно быть не просто процессом трансляции устаревшей информации (знаний, опыта, навыков, культуры и т. д.), а в полном смысле инновационным процессом, воспринимающим новую информацию как через науку, так и нововведения из окружающей среды» [30].

Нельзя не согласиться с мнением, высказанным рядом авторов [16, 19–21], что «бакалавр *любого профиля* должен быть подготовлен к реализации всех видов и задач профессиональной деятельности, которые сформулированы в образовательном стандарте соответствующего направления». И далее: «Широта профиля» бакалавра конкретного направления подготовки должна определяться не количеством интегрированных в рамках этого направления специальностей, а *способностями выпускника после окончания вуза,* уже в рамках производственной работы, *самостоятельно осваивать новые виды деятельности и функционально сопровождать объекты деятельности, относящиеся к смежным специальностям и даже направлениям подготовки, на всех этапах жизненного цикла этих объектов*» (выделено нами).

С учетом ранее отмеченных объективных законов общественного развития, этот тезис, на наш взгляд, следует дополнить: «Выпускник должен обладать способностями самостоятельно осваивать новые виды деятельности, *выходящие за границы профессиональной компетенции, связанные с управлением делами общественной в целом значимости и участвовать в них*». Именно в этом случае образование приобретает широкий профиль, достаточный для успешной жизни и профессиональной деятельности в быстро меняющемся мире.

Такие знания, понимание и навыки могут возникнуть только при фундаментальной и широкой подготовке бакалавров, специалистов, магистров по дисциплинам гуманитарного цикла (философия, глобальный исторический процесс, социология, этика, психология, педагогика и другие). Причем эти дисциплины должны осваиваться как единый междисциплинарный, строго *взаимосвязанный цикл*, построенной *на единой мировоззренческой и методологической базе*, адекватно отражающей объективные процессы развития природы, общества и человека, как единой системы.

В предлагаемой системе высшего образования образовательные приоритеты могут быть следующими: нравственно-этическое и психическое становление личности; гуманитарно-социологическая подготовка, адекватная жизни; фундаментальная естественнонаучная подготовка; профессиональная подготовка по направлению; профессиональная специализация.

Представляется целесообразным подбор, выдвижение и расстановку кадров, особенно в сфере государственного управления и муниципального самоуправления осуществлять, оценивая работников по шкале свойств и компетенций, упорядоченных аналогичным образом.

Такая модель высшего образования представляет систему, включающую следующие составляющие, которыми должен овладеть каждый выпускник вуза: собственно высшее фундаментальное образование в указанном выше смысле; высшее образование, ориентированное на определенную сферу жизнедеятельности общества, сектор экономики (I — IV); высшее образование, ориентированное на определенную отрасль, направление подготовки (широкий профиль); профильная подготовка.

Эта модель, по мнению авторов, позволяет организовать управление и планирование системы профессионального образования на различных интервалах времени от нескольких поколений (20–50 лет) до краткосрочного, текущего (1–3 года).

В *сверхдолгосрочной перспективе* (два — три поколения) планируются пропорции между средним общим и высшим фундаментальным образованием; между средним профессиональным и высшим профессиональным образованием; структурные пропорции профессионального образования, обоснованные научно-техническим, технико-технологическим развитием, изменением места и роли экономики страны в глобальном объединении производительных сил, демографическими процессами в стране.

Субъектом планирования являются высшие органы власти страны в лице, например, *концептуально властного планирующего органа*, наде-

ленного высшей законодательной властью. В основе лежит долгосрочный демографический прогноз.

В *долгосрочной перспективе* (в пределах времени смены одного поколения, т. е. 15–20 лет) все перечисленные пропорции уточняются и в них вносятся коррективы с учетом долгосрочных планов развития страны. В России на современном этапе это Энергетическая стратегия развития России на период до 2030 г., Стратегия демографического развития России на ближайшие 20 лет, Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г., Стратегия национальной безопасности до 2020 г. и другие.

Субъектами планирования и управления на этом этапе, кроме высших государственных органов страны, становятся органы власти республик, федеральных округов, отраслевые министерства.

В *среднесрочной перспективе* (до 10 лет) подготовка кадров осуществляется с учетом планируемых и реализуемых приоритетных национальных проектов. Среди них «Доступное и комфортное жилье», «Здоровье», «Образование», «Развитие АПК». На этом этапе включаются в деятельность субъекты РФ на уровне городов, областей.

В *краткосрочной перспективе* (до 5–6 лет) планируются задания по подготовке специалистов широкого профиля с привязкой к перспективным потребностям отраслей, регионов, предприятий. На этой стадии включаются в работу территориально-хозяйственные комплексы, крупные предприятия, саморегулирующиеся организации, вузы.

Текущее планирование (с горизонтом 1–3 года) обеспечивают вузы, предприятия, органы государственной власти городов, районов, структуры местного самоуправления. На этом этапе обеспечивается подготовка профессионалов под конкретный заказ предприятий, как на основе целевого приема, так и на основе механизмов индикативного и директивного регулирования (контрольные цифры приема, увеличенное финансирования обучения специалистов для приоритетных отраслей, установление существенно повышенных стипендий для студентов, обучающихся по соответствующим направлениям подготовки, налоговые льготы предприятиям, осуществляющим тесное взаимодействие с вузами и размещающих заказ предприятия, обеспеченный финансированием).

Опыт отечественной высшей школы показывает, что полноценное образование при серьезной, добросовестной работе самого студента и эффективной работе самой системы образования может быть достигнуто за 3,5 года. При этом разброс, соответствующий дисперсии, будет равен примерно полгода [15]. Таким образом, базовая фундаментальная подготовка в высшей школе может быть обеспечена при сокращении сроков обучения до 4 лет (бакалавриат) с последующей специализацией с учетом требований рынка труда и видов деятельности.

Специализация может также осуществляться после окончания бакалавриата в течение дополнительного года по программам, согласованным с работодателями. В этот период бакалавр уже может работать на избранном предприятии на условиях сокращенного рабочего дня, совмещая работу с обучением.

Дальнейшая образовательная траектория определяется как предпочтениями выпускника, так и его способностями. Это может быть либо продолжение образования в магистратуре, либо переход в народное хозяйство с последующим поддержанием профессионализма самостоятельно, или в системе последипломного образования, или на производстве.

Система управления на этапах текущего и краткосрочного планирования является программно-адаптивной, замыкающей обратные связи по отклонению. Этот контур управления охватывается контуром предиктор — корректор (предсказатель — поправщик). В нем управление строится не на основе состоявшегося прошлого или оценки текущей ситуации, а на основе прогноза, т. е. обратные связи замыкаются через прогнозируемое будущее, что, в принципе, может свести ошибку к нулю.

Устойчивость такой системы управления зависит от точности прогноза, который обусловлен мерой понимания объективных процессов, протекающих в обществе. Если функционирование, поведение такой системы в дальнейшем сходится с прогнозом, то можно говорить об *устойчивости такой системы по предсказуемости под влиянием внешних возмущений, внутренних изменений и собственно управления и самоуправ-*

ления. Это понятие является ключевым при организации и оценке управления. Заметим, что оно шире и глубже, чем применяемое в технических системах понятие устойчивости (т. н. «устойчивость по Ляпунову»).

В любом случае, фундаментальная подготовка должна создавать предпосылки для этого, т. е. носить методологический характер и способствовать развитию навыков самообразования, творческого потенциала выпускников. Выпускники системы ВПО, во всяком случае, часть из них, должны быть способны изменить траекторию развития Руси — СССР — России на траекторию, базирующуюся на иной концептуальной и нравственно-этической основе, отличной от той, которая реализуется в России на протяжении достаточно продолжительного времени.

Этот режим перехода должен обеспечить перевод общества как суперсистемы в режим самоуправления, что, в принципе, обеспечивает максимально достижимую устойчивость и эффективность развития. И это особенно важно в условиях нарастания системного кризиса цивилизации и внутренне противоречивых процессов глобализации, которая, по сути, является процессом концентрации управления производительными силами человечества, осуществляемым по вполне определенной концепции.

Инновационной стратегии развития России в наибольшей степени соответствует непрерывное образование в интегрированной системе (рис. 8) «семья — детское дошкольное образовательное учреждение школа — система среднего профессионального образования — вузы — послевузовское образование — предприятие» [10, 18].

Именно в этой системе на основе замысла жизни и культуры общество оказывает воздействие на семьи, в которых вырастает человек. Семьи порождают государственность. Какова в семьях нравственность, этика и миропонимание, таково общество и государственность.

Такую систему, обладающую интеллектом и состоящую из принципиально взаимозаменяемых элементов, способных к управлению и самоуправлению, можно назвать суперсистемой. В этой системе, которая может быть названа новой инновационной школой, должны быть созданы условия для нравственно-этического и психического становления молодого человека в указанном смысле не позже, чем к 16–17 годам; формирования адекватного мировоззрения и миропонимания; развития творческого потенциала; овладения профессией, избранной молодым человеком самостоятельно согласно своим способностям и перспективам развития общества на 10–20 лет (не менее); овладения навыками поддержания профессионализма в режиме реального времени в течение всей жизни; овладения навыками, знаниями и пониманием общественных, социально-экономических процессов для активного участия в управлении де-

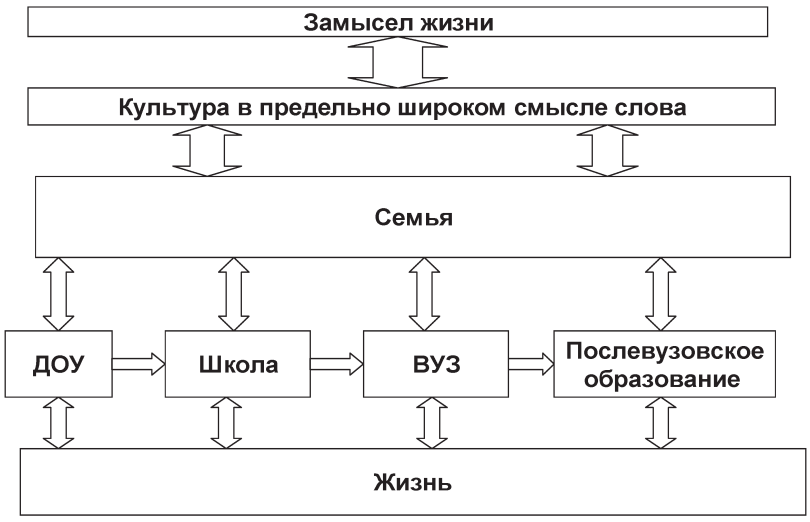


Рис. 8. Непрерывное образование в интегрированной системе

лами общественной в целом значимости; мотивации на создание счастливой, любящей, многодетной семьи; умения жить полной жизнью, в ладу с совестью, обществом, миром.

Это качественные цели инновационной школы, и средней, и высшей.

В вузе обеспечивается, прежде всего, базовая фундаментальная подготовка в течение 2,5–3 года (бакалавриат) с последующей специализацией с учетом требований рынка труда и видов деятельности. Специализация может осуществляться как в последние 1–1,5 года обучения в бакалавриате, так и после его окончания по программам, согласованным с работодателями (рис. 9).

Дальнейшая образовательная траектория определяется как предпочтениями выпускника, так и его способностями. Это может быть либо продолжение образования в магистратуре, либо переход в народное хозяйство и поддержания профессионализма сообразно жизненной траектории и профессионального роста (рис. 10).

В любом случае, фундаментальная подготовка должна создавать предпосылки для этого, т. е. носить методологический характер и способствовать развитию навыков самообразования, творческого потенциала выпускников.

Жизненная стратегия, лежащая в основе этой системы, кратко может быть выражена следующим образом. Гармоничное развитие, начало раскрытия потенциала, создание основы нравственности и этики на ранних стадиях жизни в семье и детских образовательных учреждениях.

Выявление талантов, способностей и их развитие в школе, всестороннее образование в школе на современной мировоззренческой и методологической базе; овладение навыками самоуправления и управления, создание предпосылок для успешной социализации; здоровый образ жизни. Фундаментальное инженерное образование (первое высшее образование). Фундаментальное управленческое образование (второе высшее образование). Базовое гуманитарно-социологическое образование (общее для любых направлений подготовки). Навыки самостоятельного поддержания профессионализма.

Система, аналогичная описанной выше, в настоящее время создается на факультете комплексной безопасности (ФКБ) Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ).

Модель подготовки по направлению «Техносферная безопасность» на основе ГОС ВПО третьего поколения на ФКБ приведена на рис. 9. В настоящее время эта модель представляет образовательное новшество, которое в перспективе должно стать нововведением, а затем перейти в статус образовательной инновации.

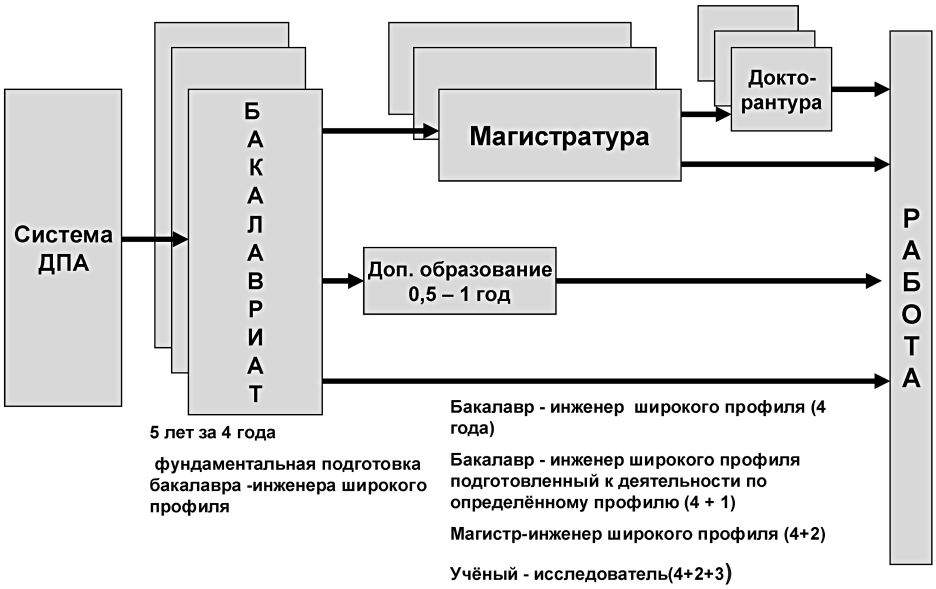


Рис. 9. Предлагаемая схема подготовки бакалавров и магистров

Рис. 10. Возможный профессиональный путь выпускников факультета комплексной безопасности СПбГПУ по направлению «Техносферная безопасность»

При разработке этого нововведения ученый совет ФКБ рассматривал три варианта подготовки бакалавров на факультете (рис. 11), из которых был утвержден третий.

Его принятие обосновано необходимостью подготовки специалистов широкого профиля, способных самостоятельно поддерживать профессионализм и решать сложные, творческие задачи развития человека, семьи, модернизации народно-хозяйственного комплекса страны, устойчивого развития общества и государства, обеспечения техносферной безопасности.

Программа обучения формировалась на основе ГОС ВПО третьего поколения, с учетом концептуальных положений, разработанных учеными Санкт-Петербургского государственного политехнического университета [1–3, 9–11, 16–21], опыта работы МГТУ им. Н. Э. Баумана, ГОУ ВПО «Международный университет при-

Рис. 11. Возможные варианты подготовки специалистов

рода, общество, человек «Дубна», Брянского государственного университета.

В программе обучения предусматривается существенное увеличение физико-математической подготовки, введение курса физико-химических основ техносферной безопасности, совокупности дисциплин проектирования устойчивого развития системы «природа — общество — человек» по полному жизненному циклу, совершенствование организации научно-исследовательской работы студентов.

Внедряемая на ФКБ на основе ГОС ВПО третьего поколения система обучения и воспитания студентов создает предпосылки для всесторонней подготовки выпускников к жизни и успешной профессиональной деятельности. Полагаем, что дискуссия на тему «Высшее образование — фактор устойчивого развития России» принесет плодотворные плоды для повышения качества подготовки специалистов с высшим образованием, обеспечения устойчивого, предсказуемого развития России в XXI в.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Ю. С. Концепции и опыт проектирования государственных образовательных стандартов в области техники и технологии / Ю. С. Васильев, В. Н. Козлов, Е. П. Попова — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002.

2. Васильев Ю. С. Разработка инновационных компетентностных образовательных программ бакалавриата и магистратуры на основе федеральных государственных образовательных стандартов: Метод. рекомендации / Ю. С. Васильев, В. Н., Козлов, А. С. Масленников — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.

3. Васильев Ю. С. Системно-аналитические принципы формирования профилей для направлений подготовки бакалавров на основе ФГОС ВПО / Ю. С. Васильев [и др.]. — СПб., 2010.

4. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие / П. Г. Белов. — М.: Академия, 2003.

5. Большаков Б. Е. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа — общество — человек / Б. Е. Большаков, О. Л. Кузнецов. — СПб — Москва — Дубна, 2001.

6. Булаев Н. И. Системные ресурсы качества высшего образования России и Европы / Н. И. Булаев [и др.]. — СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.

7. Гвардейцев М. И., Кузнецов П. Г., Розенберг В. Я. Математическое обеспечение управления. Меры развития общества / М. И. Гвардейцев, П. Г. Кузнецов, В. Я. Розенберг.— М., 1990.

8. Глухов В. В. Научно-образовательный потенциал мегаполиса / В. В. Глухов.— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.

9. Глухов В. В. Непрерывное образование — мировая тенденция / В. В. Глухов // Обучение и карьера в Санкт-Петербурге: информационно-аналитический журнал. — 2005.

10. Глухов В. В. Показатели мониторинга науки и образования в регионе / В. В. Глухов, С. Б. Тарасов — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.

11. Гуртов В. А. Планирование приема на подготовку бакалавров, специалистов и магистров / В. А. Гуртов, Л. М. Серова // Высшее образование в России. — № 9. — 2009.

12. Гуртов В. А. Моделирование потребности экономики в кадрах с профессиональным образованием / В. А. Гуртов, Е. А. Питухин, Серова Л. М. // Проблемы прогнозирования. — № 6. — 2007.

13. Миронов Б. Н. Социальная история России периода империи (XVIII-начало XX века). В 2 т. / Б. Н. Миронов. — СПб.: «Дмитрий Буланин», 2000.

14. Капица С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. — М.: Наука, 1997.

15. Козлов В. Н. Интеллектуальные технологии в компетентностном аспекте политехнического образования. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах / В. Н. Козлов, И. В. Колосова // Материалы XIV Всерос. конф. Т. 2. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

16. Козлов В. Н. Методы прогнозирования потребности экономики России в кадрах. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах / В. Н. Козлов, П. И. Романов, И. Е. Быстров // Материалы XIV Всерос. конф. Пленарные доклады — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

17. Козлов В. Н. О развитии образования и научных исследований в содружестве трех университетов. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах / В. Н. Козлов // Материалы XIV Всерос. конф. Пленарные доклады — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

18. Никифоров В. И. Профиль подготовки как инновационное понятие в перечне понятий высшего профессионального образования. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах / В. И. Никифоров // Ма-

териалы XIV Всерос. конф. Т. 2. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

19. Никифоров В. И. Разработка перечней направлений подготовки, профилей подготовки бакалавров и магистерских программ как педагогическая задача. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах / В. И. Никифоров // Материалы XIV Всерос. конф. Т. 2. — СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

20. Никифоров В. И. Психолого-педагогические основы проектирования перечней направлений подготовки, профилей подготовки бакалавров и магистерских программ. Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах / В. И. Никифоров // Материалы XIV Всерос. конф.Т.2. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

21. Новиков А. М. Методология. / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. — М.:СИНТЕГ, 2004.

22. Новый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих. — М.: «ЭКСМО» 2008.

23. Подолинский С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии / С. А. Подолинский. — СПб.: Ноосфера, 1991.

24. Поршнев Б. Ф. О начале человеческой истории (проблемы палеопсихологии) / Б. Ф. Поршнев. — М.: «ФЭРИ», 2006.

25. Путь в XXI век: стратегические проблемы и перспективы российской экономике / под ред. Д. С. Львова. — М.: Экономика, 1999.

26. Симчера В. М. Развитие экономики России за 100 лет. Исторические ряды, вековые тренды, институциональные циклы / В. М. Симчера. — М.: Наука, 2006.

27. Соболевская А. А. Современные проблемы рынка труда в странах Европейского союза / А. А. Соболевская, А. К. Попов // Труд за рубежом. — № 1. — 2009.

28. Татаркин А. И. Мировой финансовый кризис и возможности реального сектора экономики / А. И. Татаркин // Экономическая наука современной России. — № 1. — 2010.

29. Урсул А. Д. Становление глобального образования / А. Д. Урсул // Alma mater. — № 2. — 2010.

30. Шереги Ф. Э. Дисфункциональность российского профессионального образования / Ф. Э. Шереги // Труд и социальные отношения. — № 12. — 2009.

В. П. Горюнов

ТЕХНОСОЦИАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

На исходе второго десятилетия реформирования России политика социальных преобразований достигла относительного завершения: система производственных отношений и всей политической надстройки необратимо изменены. На повестку дня вынесен вопрос о революционных изменениях в области материально-технического развития, о переходе к новому технологическому способу жизни. Терминологически это выражено в понятии модернизации, провозглашенной не как призывная декларация, а как реальный политический курс с перечнем конкретных научно-технических мероприятий, предусматривающих определенное материальное и организационное обеспечение. Чтобы оценить всю трудность современной ситуации, достаточно указать два обстоятельства. Одно из них состоит в значительном разрушении унаследованного Россией материально-технического потенциала, к тому же изначально не соответствовавшего высоким требованиям своего времени. А само разрушение материально-технического потенциала привело к появлению избыточного населения, занятого прежде в системе производства с низкой производительностью труда, функционировавшей по схеме затратного подхода. Второе связано с таким ускорением темпов научно-технического прогресса, которое при догоняющем типе развития делает невозможной ликвидацию разрыва между лидерами и аутсайдерами и превращает модернизацию в некий паллиатив. Таким образом, в осмыслении модернизации как крупномасштабного общественного сдвига в неявном виде сначала подразумевается вопрос о ее осуществимости в принципе, а уж потом — о целях, сроках и средствах. Сейчас в России это скорее вопрос веры, чем точного расчета, но Россия всегда жила верой в лучшее будущее (что требует отдельного разговора), но очень редко сочетала эту веру с твердой волей.

Модернизация, несмотря на принятие решения о ее осуществлении, остается вещью в себе, здесь многое неизвестно. Это не расчет материального движения по законам природы, поэтому никто не может выразить что-то исчерпывающе определенно. На первый план выходят теория и базовые идеологические принципы, в первую очередь, здесь нужен теоретический анализ.

Исходная методологическая позиция в рассмотрении общества состоит в определенном ответе на вопрос о том, может или не может общество (человек как вид) в принципе полностью обеспечить себя необходимыми ресурсами жизни, т. е. обеспечить полное выживание всех своих членов, подразумевая под полным выживанием принципиальную возможность для каждого отдельно взятого индивида прожить всю жизнь, продолжительность которой определяется его естественными особенностями и достижениями цивилизации. Выбор ответа здесь не связывается с вопросом о численности народонаселения (за исключением абстрактных предельных значений) и действием всякого рода случайностей на уровне индивидуальной и общественной жизни. Критерием принципиальной возможности полного обеспечения общества ресурсами жизни является отсутствие необходимости внутривидовой борьбы за их распределение. Иначе говоря, это главная теоретическая альтернатива в объяснении законов общественного бытия, а именно — может или не может человечество обеспечить в процессе материального производства всеобщее благополучие, т. е. (в простом витальном измерении) накормить, обуть и одеть всех жителей Земли?

Либо «да», либо «нет» — именно тут находится ключ к пониманию человеческого способа жизни. Соответственно, в основе социального познания, в том числе исследования конкретных социальных объектов (исторических общностей), лежат две аксиомы, представляющие собой два противоположных ответа на данный вопрос. Положительный ответ (абсолютистская, прогрессивистская модель общества) привычен, но он не позволяет объяснить общественную жизнь во всем многообразии ее противоречий: эгоизм, алчность, насилие, агрессия и другие негативные явления объясняются в этом случае некими врожденными качествами человека. Отрицательный ответ (релятивистская модель общества) еще не получил достаточного распространения, но методологически он более продуктивен. Ключевым здесь является понятие техносоциальной формулы общества, физический смысл которой состоит в том, что обществу, как совокупности людей, требуется большее жизненное пространство, чем то, которое оно в состоянии создать, т. е. нужна бóльшая масса ресурсов жизни, чем та, которую люди могут произвести. Иначе говоря, масса прожитой (сохраненной) жизни требует большей массы расходуемой жизни. Созданная за всю историю человечества масса ресурсов жизни не обеспечила и не могла обеспечить его всеобщего выживания, понимаемого как полное проживание жизни всеми членами совокупного населения. В зависимости от ответа, в соответствии с выбранной исходной посылкой, являющейся методологической базой социального исследования, мы получаем два варианта понимания всеобщего социологического закона, в соответствии с которым возможно построение принципиально разных целостных социально-теоретических моделей общества. На базе любой из двух противоположных посылок строится самостоятельная система социальной философии и экономической теории. Следовательно, прежде чем начинать теоретические дискуссии по тем или иным социальным проблемам, надо определиться с выбором исходной позиции. Если они разные, то дискуссия оказывается бессмысленной.

Существует еще один фундаментальный философский вопрос: «может ли человек (как род) обеспечить неограниченное собственное выживание вообще, безотносительно к проблеме вышеуказанного личностно-всеобщего выживания, т. е. к проблеме социального устройства?» Здесь имеются два возможных предела: 1) абсолютный экологический порог, обусловленный самой природой; 2) абсолютный производственно-технический порог, обусловленный техносоциальной формулой общества. Этот порог, также связанный с уровнем освоения природы, состоит в том, что с какого-то момента затраты на производство ресурсов жизни становятся настолько велики, что их расширенное воспроизводство оказывается невозможным. В конечном счете, речь идет о пределе материально-технического развития общества в контексте его техносоциальной формулы, т. е. о теоретическом пределе эффективности производства. Признание или отрицание этого предела не влияет на выбор социально-теоретической модели общества, но имеет принципиальное мировоззренческое значение, как и вопрос об абсолютном экологическом пороге существования социума.

Человек преодолел границы естественного равновесия, получив на основе использования техники дополнительные средства жизни сверх данного самой природой, и увеличил свою численность в той же среде обитания. Его жизнедеятельность осуществляется в рамках производственно-природного равновесия, переходящего с одного уровня на другой. При этом совокупная масса живого труда, расходуемого на осуществление процесса производства, растет с опережением, в силу чего совокупная масса производимых средств жизни не способна заполнить требуемый объем потребления даже при условии его усредненности в уравнительном варианте распределения, оставаясь всегда меньшей по сравнению с той массой, которая обеспечила бы возможность существования всех участников производства. Материально-техническое развитие позволяет осуществить абсолютный рост производства средств жизни и численности народонаселения, но, ни при каких обстоятельствах, не может «преодолеть» действие данной техносоциальной формулы.

В качестве потребляющей системы в границах одного и того же типа материально-технического развития общество принципиально не отличается от любой другой органической системы в том плане, что извлекает из окружающей природной среды вполне определенные ресурсы,

конкретные вещества и в силу их исчерпаемости всегда ограничено в своем росте. На каждой очередной ступени производственно-природного равновесия, соответствующей историческому типу материально-технического развития, имеется абсолютный предел роста, не преодолев который общество не только не поднимется на более высокий уровень, но не сможет удержаться и на существующем, поскольку потребляет ресурсы сверх суммы их фиксированных запасов и естественного воспроизводства. Следовательно, однажды вырвавшись за пределы естественно-природного равновесия, общество обрекло себя на вечную смену технологических ступеней, не будучи в состоянии окончательно закрепиться на какой-либо из них, поскольку безвозвратно исчерпывает невозобновляемые ресурсы и превышает уровень восстановления возобновляемых ресурсов. На каждом этапе материально-технического развития оно необходимо достигает предельного уровня производства и, чтобы не погибнуть, вынуждено переключаться на использование качественно новой ресурсной базы. В целом материально-техническое развитие общества предстает перед нами как поступательный необратимый процесс, при этом каждый новый производственно-технологический переход осуществляется ценой все более возрастающих дополнительных затрат. Таким образом, в процессе материально-технического развития общества изначально авансируется труд, а потом происходит отдача. Этапы авансирования труда и получения отдачи накладываются друг на друга и взаимно компенсируются, но в целом обнаруживается цикличность материально-технического развития — периоды подъема, высокой отдачи труда и периоды спада, расширенного авансирования труда. В свою очередь, цикличность материально-технического развития обусловливает социальную цикличность, а та — культурно-духовную. Все вместе образует определенные циклы истории, выпадающие на долю отдельных поколений, провалы и гребни волн цивилизационного развития.

Общественная практика поставила вопрос о наличии абсолютных границ, связываемых в общественном сознании с достижением планетарного рубежа материально-технической деятельности. Хотя, с одной стороны, для его преодоления в том или ином виде нет каких-либо принципиальных препятствий, делающих это преодоление невозможным, и для перехода на очередной уровень производственно-природного равновесия нужно только одно — дополнительные ресурсы. Но, с другой стороны, объем этих ресурсов так велик, что дальнейшее существование общества становится все более неопределенным. Если до сих пор линия его развития целиком вписывалась в линию развития биосферы в ее прошлом и настоящем существовании и, благодаря этой предметной преемственности, была устойчивой, то теперь предметная преемственность развития общества сузилась до пока еще не ставшего существенно значимым перечня форм неорганической материи, с использованием которых можно было бы достаточно определенно связывать его дальнейшее существование вне зависимости от ограничений условиями Земли.

Переход от естественно-природного равновесия к производственно-природному и последующее никогда не прекращающееся движение по его историческим ступеням возможны только на основе создания и постоянного обновления техники. Научно-техническое творчество оказывается единственным способом превращения природы в ресурс человеческой жизни, наука, по сути, создает природное богатство, и человечество оказывается обреченным на безостановочную поступательность научно-технического прогресса. Он является всеобщим источником роста общественного производства, воплощая в себе неограниченность интеллекта и неисчерпаемость природы, за счет чего оказывается возможным результативный труд. Постоянно действующей движущей силой производства является стремление к выживанию, а вопрос о пределах роста имеет сугубо экологические основания.

Итак, общество существует на базе определенного технологического способа жизни. Он исчерпаем, впереди всегда остается неопределенность, пустота. Люди переходят от одного технологического способа к другому, несколько тысячелетий смена типов материально-технического развития происходила на эмпирической основе. Теперь только наука может быть поставщиком новых ресурсов жизни, превращая нейтральную природу в кладовую богатств. Но нет

гарантий, что материально-техническое развитие общества беспредельно, — это вопрос веры.

Достижение общепланетарного рубежа во взаимодействии общества и природы положило конец абсолютистскому подходу в оценке общественного прогресса, основанному на убеждении в возможности обеспечения человечеством такого гармоничного состояния, когда будет покончено с голодом, неравенством, войнами и различными человеческими пороками, когда появятся неограниченные возможности совершенствования людей и т. п. Такое убеждение базировалось на признании неограниченности материально-технического развития, уходящего в неопределенное будущее. И вот человечество достигло предела в возможности того непрекращающегося роста, к которому оно привыкло, и с которым связывались прогрессивистские идеи, а все перечисленные и им подобные проблемы не только не исчезли, но даже обострились. Таким образом, жизнь за пределами естественного равновесия является сущностным признаком человека как особого существа в природе. Освещается ли он электричеством или живет при свечах, пользуется ли самолетом или перемещается на телеге, воюет ли он с помощью огнестрельного оружия или «вручную», удерживает ли работника с помощью железного ошейника или «привязывает» его к рабочему месту зарплатой, — все это само по себе не является показателем собственно человеческого бытия человека, критерием общественного прогресса. Устойчивость, запас прочности выживания, — вот главный показатель для человечества в целом, здесь не может быть никаких ценностных суждений, поскольку благополучная жизнь возможна только на основе дезорганизации другой жизни.

При рассмотрении исторических перспектив развития территорий необходимо руководствоваться общими теоретическими и методологическими положениями, связанными с технологическим, экономическим и социально-политическим взаимодействием между странами в условиях глобализации. Глобализация означает превращение мира в единую систему этого взаимодействия и обостряет проблему борьбы за выживание. Выбор геополитической конфигурации мира определяется распределением ресурсов, которых в готовом виде становится все меньше. Материально-техническое развитие общества все больше определяется не открытием новых запасов ресурсов, а более глубокой переработкой имеющихся.

Степень полноты использования природных ресурсов обусловлена техническими, экономическими, экологическими и социальными факторами, которые являются регуляторами процесса природопользования. Каждому историческому этапу материально-технического развития свойственны определенные способы добычи и переработки природных ресурсов, и на каждом этапе играют главную роль разные факторы.

Развитие производства ведет к росту количества отходов при одновременном расширении их номенклатуры. Понятие «отходы производства» выражает такую степень переработки природного вещества, при достижении которой его дальнейшее преобразование уже не дает положительного эффекта, а остаточный субстрат в лучшем случае нейтрален по отношению к человеку (например, водяной пар), но чаще имеет отрицательную функциональность, начиная с простого поглощения пространства и кончая вредностью или даже опасностью для жизни.

Уровень переработанности вещества природы, за которым он превращается в отход, определяется уровнем технического прогресса. Вместе с развитием техники степень перерабатываемости природных ресурсов увеличивается, их положительная функциональность расширяется, рубеж превращения в отходы отодвигается. Однако происходит вовлечение в производство новых элементов природы, возникают отходы нового порядка. Таким образом, понятие отходов человеческой жизнедеятельности относительно, отходы одной отрасли могут быть исходным сырьем в других отраслях. Столь же относительно и понятие безотходности производства. Безотходность — это такая полнота переработки природных ресурсов, при которой их остаточный субстрат в рамках достигнутого уровня технологии уже не может быть утилизирован. В экологическом аспекте безотходность производства означает нулевой выход опасности из процесса производства. Абсолютно безотходное производство невозможно в принципе. Реальная глубина переработки природных ресурсов по-разному определяется действием

технологических, экономических и социальных факторов. Например, стремление к экономической эффективности производства может ограничивать, сдерживать технологические возможности переработки вещества. Напротив, социальные факторы, например, военные или экологические, могут, вопреки экономической эффективности, требовать теоретически предельной глубины переработки либо с целью извлечения дорогостоящих элементов, либо с целью недопущения загрязнения окружающей среды. Впрочем, экологические и военные факторы, как правило, взаимоисключают друг друга.

Комплексное использование ресурсов природы означает всестороннюю реализацию их полезных свойств, т. е. максимальную полноту переработки с учетом технической осуществимости, экономической и экологической целесообразности, а также социальных условий и потребностей.

До середины XX в. обрабатывающее производство осуществлялось на территории лидирующих стран в полном объеме производственных циклов. Общий рост производства и технологический прогресс второй половины XX в. привели к тому, что отходы производства не только снижали уровень комфортности окружающей природной среды, но становились все более опасными для человеческой жизни вообще. Поэтому, наряду с техническими решениями, направленными на преодоление экологических проблем, начался процесс перевода многих ресурсоемких отраслей производства на территории отстающих стран. Сближение производственных процессов с источниками сырья и более дешевой рабочей силы одновременно обеспечивало освобождение территорий лидирующих стран от вредных для здоровья и опасных для жизни производственных отходов. С точки зрения исторической перспективы это дает кратковременный социальный результат, основанный на технологическом и экономическом неравенстве, и требует фундаментальных научно-технических решений.

По мере роста масштабов и усложнения системы материального производства увеличиваются потоки перемещения ресурсов. Их направления детерминируются технологическими, экономическими и социальными факторами. Социальная детерминация движения ресурсов состоит в том, что в общей системе экономического взаимодействия лидирующие страны получают больше ресурсов, чем отстающие. Номенклатура ресурсов и механизмы их неравного распределения исторически меняются в ходе технического прогресса, но сам закон неравенства остается неизменным. В условиях глобальной экономики главным средством получения дополнительного ресурса становится неэквивалентный обмен результатами производственной деятельности между передовыми и отстающими странами в области производства информации и технологий.

Кроме того, в XX в. появляется новый самостоятельный вид ресурсов, необходимых для поддержания жизни людей на Земле. Это экологические ресурсы, которые поддаются количественному измерению и являются такими же исчерпаемыми, как и другие ресурсы. Они тоже втянуты в ресурсооборот между странами и стали предметом конкурентной борьбы. К ним относится благоприятная для жизни окружающая природная среда, которой становится все меньше. В распределении этого вида ресурсов действует тот же закон неравенства, что и в распределении всех остальных ресурсов. В частности, на территорию менее развитых стран переносится материальное производство, являющееся источником загрязнения окружающей среды, а также эти территории превращаются в место складирования опасных отходов. Вопрос о закономерностях движения ресурсных потоков всех видов заслуживает отдельного научного рассмотрения.

Типичным примером исчерпания ресурсов по их доступным запасам и достижению предельных допустимых значений выброса отходов их переработки в окружающую природную среду является угроза исчерпания нефти и сжигания ее продуктов. Соответственно, одна из ключевых экономических, технических, экологических и социальных проблем современности — это проблема становления и развития биологических ресурсов в качестве альтернативного источника энергии.

Исходной посылкой исследований перспектив развития биоэнергетики является установление объективного факта о закономерном росте мирового потребления энергии, связанном с процессом глобализации экономики. Во-первых, глобализация выражается в расширении сферы материального производства,

его рассредоточении по планете. Происходит индустриализация развивающихся стран — размещение энергоемкого, трудоемкого и экологоемкого производства на их территории. Общее производственное потребление энергии возрастает. Во-вторых, вынесение материального производства с территорий технологических лидеров сопровождается нарастающим переустройством этих территорий в направлении повышения комфортности жизни. Оно тоже существенно повышает энергопотребление. В-третьих, усиление материально-технической деятельности людей выражается в постоянном увеличении объемов транспортных операций — возрастают объемы и расстояния переброски твердых, сыпучих, жидких и газообразных веществ, электроэнергии и информации. Следовательно, к росту производственно-технологического потребления энергии добавляется рост ее транспортного потребления. В целом, несмотря на расширенное внедрение ресурсосберегающих технологий в производстве, на транспорте и в быту, суммарный объем мирового энергопотребления увеличивается. Вторая безусловная посылка состоит в том, что запасы углеводородных источников энергии исчерпаемы и не могут служить энергетической базой цивилизации в длительной исторической перспективе. В свою очередь, атомная энергетика пока что связана с экологической неопределенностью, а термоядерная не имеет определенных технологических решений. Что касается так называемых «альтернативных источников энергии» в виде ветровой, концентрируемой солнечной, геотермальной, то они не удовлетворяют требованиям роста единичных мощностей производства. Поэтому использование живых биоресурсов в качестве источника энергии, сопоставимого по значимости с ископаемыми углеводородами, возможно, благодаря их сопоставимости, как по наличной массе, так и по технико-экономическим показателям.

Однако возникает ряд вопросов, исследование которых связано с необходимостью более полного предвидения возможных следствий такой энергетической переориентации. Всеобщая история смены технологических способов получения энергии свидетельствует о том, что рост энергетической обеспеченности всегда сопровождается возникновением новых экологических проблем (дрова — каменный уголь — нефть — атом). К ним относятся более масштабная угроза исчерпания источников энергоносителей и более сильное разрушающее воздействие на окружающую природную среду в процессе добычи энергетических ресурсов и в результате выброса остаточных продуктов. Глобальный переход к использованию биологических энергоресурсов нового типа не станет исключением. Непредсказуемость новой экологической ситуации не поддается оценке ни по изменению ландшафта, ни по выбросам в окружающую среду отходов нового типа производства наряду с нефтепереработкой, а также продуктов сгорания биотоплива. В частности, это можно показать на примере соотношения исходной массы зерна и получаемой из него массы топлива. Даже при условии высокой урожайности не избежать изъятия из продовольственного сельскохозяйственного производства огромных площадей высокоплодородной земли. С одной стороны, это неизбежно приведет к подорожанию пищевых продуктов вследствие отвлечения части растительного сырья в сферу производства биотоплива, сопоставимого за счет подорожания нефти по затратам с топливом, получаемым из ископаемых углеводородов. С другой стороны, вполне предсказуемы разработки по генетической модификации используемых в качестве сырья растений, которые приведут к отрицательным следствиям как с точки зрения нарушения общего генетического баланса окружающей среды, так и по возможности попадания в неконтролируемый оборот продуктов питания среди беднейших слоев населения, не защищенных от повышения цен на продовольствие. Расширение засеваемых новыми техническими культурами площадей повлечет изменение структуры сельскохозяйственного производства, аналогичное изменениям в земледелии Англии XVIII в., когда произошло массовое изгнание крестьян с арендуемых ими земель ради расширения овцеводческих пастбищ.

Сейчас трудно определить наиболее предпочтительный растительный субстрат для получения биотоплива: волокно типа сахарного тростника, масляничные культуры типа подсолнечника или рапса, зерновые типа пшеницы или кукурузы, различные виды древесины. Не

определить и приоритетный вид альтернативного топлива: бензин, спирт, водород или другой горючий газ. Однако можно быть уверенным в том, что выработка энергии из живой растительной массы, добытой в природе или полученной производственным путем, явится реальной альтернативой выработке энергии из ископаемых углеводородов. На смену использованию законсервированной когда-то самой природой солнечной энергии неизбежно придет использование текущего энергетического излучения, в том числе и собираемого с помощью индустриального выращивания растений.

Главное социальное следствие энергетической переориентации на использование биоресурсов состоит в социальной перестройке мира, изменении системы взаимозависимостей в отношении между странами. Таким образом, материально-техническое развитие общества не имеет принципиальных пределов ни по источникам потенциальных ресурсов жизни в природе, ни по интеллектуальным способностям людей вовлекать эти ресурсы в производственный оборот и управлять отходами жизнедеятельности. Следовательно, не существует абсолютного экологического порога в существовании социума. Однако реализовать беспредельность человеческой жизни на Земле можно только на базе научно-технического прогресса и социальной гармонии. Объективная основа современного экономического кризиса заключается в исчерпании возможностей материально-технической базы по обеспечению положительного значения эффективности производства и поддержанию жизнедеятельности общества в режиме роста, в достижении ею критического рубежа, за которым необходимо новое авансирование труда. Это период перехода на новый уровень материально-технического развития общества, который характеризуется технологической неопределенностью, экономической непредсказуемостью, углублением социальной дифференциации и общим возрастанием степени риска общественного бытия.

Понятие *устойчивого развития* стало общеупотребительным благодаря Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.), а еще ранее было использовано в докладе норвежского премьер-министра Гру Харлем Брундтланд «Наше общее будущее», возглавлявшей в 1987 г. работу Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию. В ее выступлении в Рио-де-Жанейро вопрос был поставлен следующим образом: «Мы должны искоренить нищету. Мы должны добиться большего равенства, как в каждой стране, так и между ними. Мы должны добиться соответствия деятельности и численности человечества с законами природы... Человеческая история достигла водораздела, за которым изменение политики становится неизбежным. Более миллиарда человек, не могущих сегодня удовлетворить свои основные потребности, наши собственные дети и внуки и сама планета Земля требуют революции. Она грядет. Мы знаем, что у нас есть возможности предотвратить опасность, хаос и конфликты, которые в противном случае неизбежны»*. В качестве основных условий устойчивого развития было признано, во-первых, сокращение разрыва между лидирующими и отстающими (развивающимися) странами, и, во-вторых, обеспечение сохранения окружающей природной среды. При этом повторение (догоняющее развитие) было признано экологически неприемлемым, а в передаче передовых технологий отстающим странам было отказано. Идея устойчивого развития превратилась в геополитический лозунг, закрепляющий преимущество лидирующих стран в их взаимодействии с окружающим миром. Соответственно, главным условием обеспечения устойчивого развития России является ее переход на путь инновационного развития, а модернизация — пока лишь старт на этом пути.

* Конференция ООН по окружающей среде и развитию / В. А. Коптюг. Рио-де-Жанейро, июнь 1992 года // Информационный обзор. – Новосибирск: РАН СО. 1992. С. 5–6.

В. Н. Снетков

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Развитие, как известно, представляет собой особый вид движения, предполагающий внутренне обусловленный, необратимый переход к новым качественным состояниям.

Под устойчивым предполагается развитие, сохраняющее необходимость наступления новых качественных образований (в том числе и инноваций) под влиянием многих факторов, которые не достигают уровня и силы случайности, изменяющей векторный характер процесса. Для поддержания устойчивости социальных процессов развития значительную роль в качестве стабилизирующего фактора играет право в своей сущностной нормативной составляющей.

Право — это особая форма отражения социальной действительности на уровне правовой идеологии и социально-правовой психологии. Оно отличается от других форм отражения своей специфической направленностью, конкретным объектом и некоторыми иными признаками и свойствами. Выявление характера и особенностей такого отражения выступает как важная задача науки.

Здесь мы сталкиваемся с одной группой логико-гносеологических проблем общей теории права — не с той, которая характеризует исследование права наукой, а с той, которая связана с изучением процессов отражения при формировании и развитии права. В этом последнем случае речь идет о другом субъекте отражения — им выступает господствующий класс (группа).

При выявлении специфики права как одной из форм отражения социальной действительности необходимо исходить из того, что право выражает намерение и желание господствующей группы (класса) определенным образом влиять на существующие отношения, утверждая выгодные ему порядки. В этом основное предназначение права, и оно обусловливает все функциональные, структурные и иные признаки данного общественного явления. Отсюда вытекает то, что в праве мы видим не столько идеальное воспроизведение социальной действительности в ее основных чертах и особенностях, сколько указание такого способа регулирования общественных отношений, который обеспечивал бы закрепление и охрану одних из них, преобразование и развитие других, ликвидацию третих. Понятия и категории, которыми оперирует право, несут обусловленную сказанным смысловую и функциональную нагрузку и не ставят своей единственной целью адекватное отображение существующей обстановки.

Познание социальной действительности и свойственных ей закономерностей, выявление общественных потребностей, которые должны получить санкцию закона, — все это осуществляется на первой стадии функционирования правосознания и предшествует непосредственной выработки правовых решений, т. е. завершается до начала правотворчества. Процесс выработки решений производится с учетом результатов отражающей действительности правосознания и опирается на них. Но эти результаты используются здесь особо, подвергаясь известному преломлению в целях выполнения задач правового регулирования общественных отношений. Поскольку результаты окружающей действительности правосознания служат отправной исходной точкой для правотворчества, поскольку важно обеспечить их максимальное соответствие социальной действительности. Ведь правотворчество будет эффективным и действенным только при условии, если оно исходит из верных посылок и учитывает объективные потребности общественного развития в их совокупности. С этой точки зрения следует по-разному оценивать результаты отражающей деятельности правовой идеологии и социаль-

но-правовой психологии. Обеспечивая теоретический уровень отражения, правовая идеология располагает широкими возможностями более глубокого проникновения в сущность отражаемых явлений, и ее результаты представляют особую ценность для правотворчества. Что же касается социально-правовой психологии, то она преимущественно сосредотачивает внимание на внешних сторонах отражаемых явлений.

Правообразование — сложный, диалектический процесс, имеющий ряд разнородных стадий, каждая из которых отличается от других и в тоже время тесно связана с ними. Не все черты, присущие одной стадии, можно обнаружить в других стадиях. Вместе с тем некоторые особенности, получившие на одной стадии широкое проявление, на других лишь намечены и обозначены. Это важно учитывать, ибо правотворчество выступает как конечная стадия правосознания, и, следовательно, на него нельзя безоговорочно распространять все то, что свойственно предыдущим стадиям, в частности, стадии отражающей действительности правосознания. Результаты отражающей деятельности правосознания перерабатываются, преобразуются в правовые решения. В этом случае можно говорить о «переводе экономических отношений в юридические принципы». Здесь налицо качественный скачок в едином мыслительном процессе.

Итак, сказанное можно подтвердить логическим анализом правовой нормы, выступающей в качестве «клеточки права». Здесь мы сталкиваемся со спецификой нормативных предписаний, с их яркой выраженной направленностью на то, чтобы утвердить в системе общественных отношений желательные для господствующего класса (собственника) порядки. Логическая структура правового, как и всякого иного нормативного предписания такова, что в ней главное — это стремление обеспечить определенное поведение участников общественной жизни в интересах господствующего класса. А это достигается с помощью суждений, в которых не только констатируется существующее, сколько намечается должное. Разумеется, эффективность права зависит от того, насколько система долженствования, составляющая его основное содержание, соответствует объективным условиям существования общества на данном этапе его развития. Только тогда, когда эта система в полной мере учитывает потребности общества и отвечает интересам его укрепления и дальнейшего совершенствования, — только тогда ее воздействие на экономические, социальные и духовные процессы будет глубоким и эффективным. Конечно, правовая норма содержит в себе определенный объем информации о существующих в обществе условиях, о тех или иных событиях, о субъектах отношений и т. д. Без этого порой невозможно сформулировать нормативное суждение. Однако, такая информация носит вспомогательный характер и служит целям увязки конструируемого правила поведения с той группой общественных отношений, которое оно призвано регулировать. В структуре нормы она занимает небольшое место и поэтому не определяет ее содержания. Наоборот, сердцевину нормативного суждения составляет указание того суждения и того поведения, которое предписывается участникам общественных отношений. Всякая норма имеет ввиду достижение социальных, экономических, политических и других результатов путем установления конкретных вариантов должного или возможного поведения людей. Такое соотношение начал долженствования и начал констатации специфично для правовых и всяких иных нормативных суждений. Их выявление и дифференцированное рассмотрение весьма важны, ибо они имеют различную природу и не могут оцениваться одинаково. Если начало констатации может быть охарактеризовано как истинное или не соответствующее истине, то начало долженствования так оцениваться не может, ибо здесь акцент делается на том, что должно быть, независимо от того, утвердилось данное требование в реальной действительности или нет. Хотя для начала долженствование так или иначе абстрагируется от этого последнего обстоятельства, оно, тем не менее, существенно влияет на конкретное проявление и направленность их функций. В первом случае, когда требуемые нормы реализованы в жизни, функция начал долженствования имеет ввиду его закрепление и охрану от каких бы то ни было посягательств. Во втором же случае, когда требуемое еще не вошло в реальную жизнь, функция долженствования состоит в том, чтобы способствовать его повсеместному внедрению и распространению. Такое

разграничение дает возможность коснуться одного из аспектов неоднократно поднимавшегося в нашей науке вопроса о программных моментах в праве. О наличии программных положений мы можем говорить, прежде всего, применительно к правовым актам, нацеленным на внедрение того, что еще не подтвердилось в жизни или утвердилось не полностью. Наоборот, правовые акты, закрепляющие те порядки, которые уже установлены в общество, в меньшей мере характеризуются программными моментами.

Вопросы о том, каков характер отражения в праве социальной действительности, можно ли оценивать правовые нормы как истинные или ложные или нельзя, в чем состоит программный момент в праве и другие имеют большое методологическое значение. Их решение намного расширяет возможности научного познания права и позволяет обогатить исследовательский арсенал науки. От них в определенной мере зависит постановка многих смежных проблем правоведения, в частности, проблем, касающихся природы права, его взаимосвязи с базисом общества, пределов и форм правового воздействия на экономические, социальные или духовные процессы и т. д. Все это повышает актуальность изучения права как особой формы отражения социальной действительности.

Ю. Г. Карпов

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Развитие современного общества не мыслится без использования информационных технологий, которые проникли во все сферы жизни общества. Интенсивно развивающееся направление *ubiquitous computing* (*всепроникающие вычисления*) характеризует только часть того лавинно возрастающего числа проблем общества, в решении которых использование компьютеров становится обычным. Компьютерные программы управляют нашей жизнью повсеместно: от медицинской аппаратуры до систем торможения и разгона автомобилей. От программных систем управления все в большей степени зависят жизнь и здоровье людей.

В то же время программирование является единственной областью инженерной деятельности, где разработчик не отвечает за качество своей работы. Спросите любого программиста, может ли он гарантировать качество своего продукта, и вы получите в лучшем случае уклончивый ответ. И действительно, большие компьютерные программы после их разработки всегда содержат ошибки. С этим знаком каждый, разработавший программу длиной хотя бы в несколько десятков строк. Последствия таких ошибок не всегда безобидны. Существует огромный печальный опыт того, к каким тяжелейшим последствиям приводят ошибки в управляющих программах для критических применений. Эти последствия (от гибели ребенка в автоматизированном туалете до масштабного скандала с концерном Тойота и потери этой компанией нескольких миллиардов долларов из-за ошибок в электронной системе торможения, которые привели к авариям с человеческими жертвами) делают проблему обеспечения правильности компьютерных программ важнейшей проблемой современной техники и технологии.

Сложность разрабатываемых программ подошла к границе их понимания и, следовательно, их управляемости. Число ошибок в разработанных и сданных заказчику программных системах постоянно растет. Например, в ОС Windows 95, по оценкам Microsoft, до сих пор остается несколько тысяч ошибок. Но эта ОС используется только в бытовых персональных компьютерах, от нее не зависят жизни людей. Только сумасшедший поставит эту ОС в бортовую систему управления самолета или даже автомобиля. Особенно подвержены ошибкам параллельные, распределенные и многопоточные программы, которые характерны для бортовых систем управления. Но именно такие программы становятся все более распространенными. В современном автомобиле — целая сеть связанных микропроцессоров (в новых мерседесах их около 50). Происходящий сейчас поворот программирования в сторону параллелизма назван «революцией» с лозунгом: «*Добро пожаловать в мир параллельной обработки*».

Хорошо известно, что даже в тех случаях, когда функционирование каждой из параллельных взаимодействующих компонент системы абсолютно ясно, человеку трудно понять работу всей параллельной системы. Причина этого, по-видимому, в том, что человек в каждый момент может думать только об одной вещи, и за многообразием возможных последовательностей событий, которые возникают в параллельных управляющих программных системах, разработчик уследить не в состоянии. Параллельные системы, которые работают правильно «почти всегда», годами могут сохранять тонкие ошибки, проявляющиеся в редких, исключительных ситуациях.

В мире параллельной обработки разработчик должен контролировать не последовательность

возможных событий как в последовательном программировании, а возможные комбинации частично упорядоченных событий, что значительно сложнее. Многочисленные примеры показывают, что нетривиальные многопоточные программы непостижимы для человеческого мозга. С ошибками, возможными в параллельных программах, может сегодня столкнуться каждый разработчик, и это требует от высшей школы обратить особое внимание на подготовку специалистов в области информационных технологий. Поэтому можно утверждать, что улучшение качества программного обеспечения является важнейшей проблемой информатики, напрямую влияющее на устойчивое развитие общества. Техногенные катастрофы, аварии критических систем, от которых напрямую зависят жизнь и здоровье людей, часто являются результатом проявления скрытых ошибок программного обеспечения таких систем.

Не существует универсального подхода к проверке правильности ПО: на разных этапах разработки используются разные взаимодополняющие методы — тестирование, моделирование, верификация, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В области теории, алгоритмов и методов верификации в течение нескольких десятилетий проводились многочисленные исследования. До последнего времени успехи в этом направлении были весьма скромными, разработанные методы не могли быть применены даже к системам средней сложности. Однако, в последние годы в этой области произошли революционные изменения. Был разработан метод формальной верификации *model checking (проверка модели),* который стал основой очень эффективных алгоритмов, позволяющих проверять правильность реальных, разрабатываемых промышленностью программно-аппаратных систем.

Для верификации этим методом реальная система представляется простейшей моделью ее вычислений — системой переходов с конечным числом состояний. Требуемые свойства поведения реальной системы выражаются точно и недвусмысленно формулами темпоральной логики. Проверка модели сводится к исчерпывающему анализу всего пространства состояний модели системы, она не требует дедуктивных доказательств теорем, связанных с логическим выводом на основе аксиом и правил вывода, характерных для классических подходов к верификации. Поэтому этот процесс может быть полностью автоматизирован.

Для выполнения верификации методом *model checking* нужно построить для программной системы адекватную модель с конечным числом состояний, представить ее на входном языке системы верификации, а также выразить подлежащие проверке свойства формулами темпоральной логики. Поэтому, несмотря на то, что сам процесс верификации полностью автоматизирован, выполнение верификации требует работы специалиста достаточно высокой квалификации.

В последние годы в области верификации произошел революционный скачок: были разработаны теоретические основы подхода, с помощью которого можно формально проверять требования к поведению сложных систем управления. Уже сегодня этот подход может кардинально изменить состояние в разработке программных и аппаратных средств управления, будучи реализован как этап технологии. В крупных корпорациях (Lockheed Martin, Rockwell Collins, NASA и других), занимающихся разработкой бортовых систем, такие исследования по включению верификации в технологический цикл разработки были выполнены. В результате большое число критических ошибок разработки выявляется на ранних этапах технологического цикла, существенно повысилось качество разработок. Однако, этот революционный прорыв мировой науки в области верификации практически не используется в России.

Цель исследования, выполняемого на кафедре «Распределенные вычисления и компьютерные сети» Санкт-Петербургского Политехнического университета — разработка методики проектирования бортовых программных систем с поддержкой формальной верификации для обеспечения выполнения требований к их поведению. Разработка основывается на известных фундаментальных результатах в области формальной верификации. В методике рассматриваются подходы к верификации бортовых систем с распределенной архитектурой, т. е. состоящих из нескольких подсистем, работающих независимо по своим алгоритмам, но взаимодействующих друг с другом для выполнения общих задач.

В методике используется подход MDE (Model-Driven Engineering), который исходит из главенства формальных моделей над реализацией при проектировании системы. Система описывается на UML, и это описание может быть формально транслировано на большое число платформ (в т. ч., Java, XML, SOAP). Для верификации больших практических систем управления решается проблема композициональности, разработана классификация свойств с использованием шаблонов, предложен эффективный алгоритм построения автоматов Buchi по формулам темпоральной логики, задающим свойства.

По этой методике построена модель действующей системы управления энергоснабжением судна и проведена ее верификация, которая позволила обнаружить несколько тонких ошибок, оставшихся в ПО после его разработки в рамках традиционной технологии. В монографии* изложен теоретический материал и практические рекомендации по применению метода *model checking* к верификации программных управляющих систем.

* Карпов Ю. Г. Model checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем / Ю. Г. Карпов // БХВ. СПб., 2010. 560 с.

В. П. Шкодырев

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Важным фактором, определяющим устойчивое развитие общества, в значительной степени является высокоэффективное промышленное производство, основанное на внедрении новых инновационных решений в области высоких технологий. Одним из наглядных примеров подобных технологий является новое поколение систем управления — распределенные интеллектуальные управляющие компьютерные сети, ориентированные на задачи децентрализованного (гибридного) управления большими распределенными технологическими комплексами и производственными процессами. Управляющие компьютерные сети относятся к новому классу распределенных интеллектуальных систем (РИС), представляющих большой класс систем искусственного интеллекта в приложении к задачам промышленного применения [1].

Современная теория искусственного интеллекта рассматривает РИС как множество отдельных подсистем, подчиненных определенным законам внутреннего взаимодействия и развития, переводящих их на новый, более высокий уровень функциональных возможностей [1, 2]. Новые принципы и модели обработки информации, предлагаемые теорией искусственного интеллекта и, в частности, распределенных интеллектуальных систем, в практическом аспекте ориентированы на формирование глобальной информационно-управляющей среды нового поколения в форме управляющих компьютерных сетей с различными архитектурами, уровнями иерархии и организацией. Применение подобных сетей может быть ориентировано на решение широкого класса как фундаментальных научно-исследовательских, так и прикладных задач, одной из которых является задача ситуационного управления, включающая оценивание, прогнозирование и управление ситуациями [2].

Задача ситуационного анализа является основной во многих системах управления и безопасности. В большинстве случаев она связана с выявлением последовательности критических событий и принятии мер для предотвращения или недопущения развития нежелательных ситуаций, а также устранения их последствий. Управление ситуациями тесно связано с управлением сложными или трудно формализуемыми объектами и явлениями, к которым относятся опасное развитие нештатных предаварийных и предотвращение аварийных ситуаций на промышленных предприятиях и технологических комплексах, развитие неисправностей в сложных технических системах, управление действиями автономных мобильных транспортных системам или боевых роботов в непредсказуемых условиях ведения боя, управление чрезвычайными ситуациями во время техногенных катастроф. Используемые в подобных случаях принципы управления требуют принятия сложных оперативных решений на основе оценивания большого числа параметров в условиях недостаточной информации или ограниченных условий. Наиболее общим подходом к представлению моделей ситуационного анализа и управления является язык онтологий, позволяющий подойти к формальному описанию объектов и явлений окружающего мира через язык категорий [1, 2]. Использование языка онтологий позволяет создать онтологию ситуационного исчисления, описывающей модели ситуационного управления на языке строгого логического вывода, как результат последовательности действий в терминах результатов этих действий. Использование языка он-

тологий позволяет строить конструктивные алгоритмы логических выводов, которые формализуют последовательность действий. В то же время подобный язык не позволяет эффективно формировать целевые критерии качества результатов. Перспективным подходом к совершенствованию теории является применение многообещающей концепции ситуационно-целевого управления, ориентированной на более полное описание конструктивных алгоритмов с возможностью комплексных оценок их эффективности [3, 5].

Сформулируем задачу ситуационно-целевого управления в распределенной интеллектуальной системе, представленной группой взаимодействующих интеллектуальных роботов, решающих задачу группового взаимодействия в непредсказуемых условиях изменяющейся среды. С этой целью зададим группу $R = [R_1, ..., R_d]$, состоящую из d агентов-роботов $R_j\left(j=1,d\right)$, функционирующих в изменяющейся среде E, состояние которой определим вектор-функцией $E_{\mathrm{j}}\left(t\right)=\left\langle e_1,e_2,...,e_m\right\rangle$, описывающей множество событий $e_1,e_2,...,e_m$, возникающих как результат взаимодействия роботов со средой и которые могут оцениваться роботами. Введем понятие ситуации, определяемой как результат такого взаимодействия, задаваемого множеством состояний объекта «робот — среда» в виде вектор-функции

$$\mathbf{S}_{\mathrm{g}}\left(t\right)=\left\langle X_1,...,X_n,E\right\rangle=\left\langle s_1^t,...,s_m^t\right\rangle.$$

Ситуация также может быть интерпретирована как действительность или реальный факт того, что определенная комбинация событий реальна или нереальна для определенного момента времени и в определенных обстоятельствах.

Целью функционирования РИС в среде является целенаправленное изменение ситуации, т. е. преобразование текущей ситуации в нужном направлении. Конструктивной моделью ситуационного управления является формирование каждым роботом-агентом соответствующих действий $\mathbf{A}_{\mathrm{j}}\left(t\right)=\left\langle a_{1j},...a_{hj}\right\rangle$., позволяющих целенаправленно изменять текущую ситуацию в нужном направлении. Результатом групповых действий роботов является новая ситуация s, что можно определить как совокупность новых событий $e_i \wedge \neg e_j$. Мы связываем с $\mathbf{S}_{\mathrm{g}}\left(t\right)=\left\langle s_1^t,...,s_m^t\right\rangle$ множество отдельных событий, каждое из которых связано со своей спецификой. События могут группироваться в классы, где $S_{CL}=\left\langle S_{\perp},S_0,...,S_k\right\rangle$, образующих множество классов ситуаций. Под классом ситуаций следует понимать группирование ситуаций в семантически эквивалентные группы, описывающие динамику ситуационного управления. К примеру, класс ситуаций S_i может быть определен как $S_i=\left\langle e_i \wedge \left(e_j \vee \neg e_j\right)\right\rangle$ если e_j нерелевантно любому действию, которое может случиться в этом классе ситуаций.

Принципиальной особенностью функционально-целевого управления является использование нового принципа интеллектуального управления — через целеполагание. Оно основано на построении рекуррентной модели достижения поставленной цели посредством процесса рекуррентной декомпозиции исходной задачи на более простые подзадачи (подцели). Исходным этапом построения формальных алгоритмов управления через целеполагание является введение понятия «классов эквивалентности целей», т. е. множества целей, эквивалентных в смысле предметной направленности, а также отношения эквивалентности, которые задаются в каждом классе и разбивают каждый класс на подклассы. Организация процесса достижения главной (стратегической) цели отождествляется с рекуррентным использованием отношения эквивалентности, моделирующим процесс декомпозиции комплексной задачи (целевой функции) на подзадачи и ее последующего решения путем организации достижения совокупной цели из известных «атомарных» целей, достижение которых реализуется «атомарными» действиями. При этом содержательная информация предметной области (описание ситуаций) представляется в виде формальных высказываний.

Для формирования желаемого сценария изменения ситуаций ставится задача планирования последовательности действий, позволяющих группе роботов достигнуть желаемого эффекта в изменении ситуации. Изменение ситуации является реакцией среды на действие роботов, что в ситуационном исчислении может быть описано через логические термы, опреде-

ляющие результат применения некоторого действия в некоторой ситуации. В планировании групповых действий каждый член команды должен иметь адекватное множество планов P, включающих определенные планы P_i для каждого возможного класса ситуаций S_i. План $P_\perp$, ассоциированный с ситуацией класса $S_\perp$, представляет по умолчанию ситуацию, в которой команда не предпринимает никаких действий. К примеру, $S_\perp$ может представлять ситуацию, при которой нет никакой цели (жертвы) для роботов. При функционально-целевом планировании планы организуются по иерархическому принципу. На самом верхнем уровне — наиболее общая ситуация, в то время, когда на нижних уровнях — наиболее специфические.

Для получения количественных оценок эффективности конструктивных алгоритмов ситуационного управления через групповые действия вводится функция $U:\mathrm{P}\times S_{CL}\to R$, определяющая полезность (поощрение или цену) исполнения плана для данного класса ситуаций. Поскольку класс ситуаций для каждого места уникальный и не зависит от других мест, мы можем сконцентрироваться только на одном месте (событии). Для упрощения описания рассматриваем одну конкретную ситуацию как s. Через функцию полезности U могут устанавливаться приоритеты командного поведения, которые формализуются (задаются) через правила выполнения следующих условий:

$$\begin{cases} s\in S_i \text{ and } s\in S_j \text{ and } S_i\subseteq S_j \to U\left(P_i,S_i\right)\geq U\left(P_j,S_i\right), \\ s\notin S_i \text{ and } s\in S_j \text{ and } S_i\subseteq S_j \to U\left(P_i,S_j\right)\lhd U\left(P_j,S_j\right), \\ U\left(P_\perp,S_\perp\right)=0. \end{cases}$$

В данной системе первое условие требует, чтобы более высокая цена (поощрение) устанавливалась для того, чтобы более специфический план был исполнен в более соответствующей (подходящей) ситуации. Второе условие задает требование, что лучше выполнять более общие планы, чем неподходящие, но более специфические. Третье условие просто требует, что не надо давать поощрение, когда система не производит действий.

Построение формальной рекуррентной модели предметной области, используемой для достижения глобальной цели, основано на процедуре рекуррентного применения отношения эквивалентности, моделирующее процесс декомпозиции поиска глобальной (стратегической) цели путем разбиения $Z^k_{\vec{j}^k}$ на множество классов эквивалентности. Это позволяет представить модель поиска алгоритма достижения цели древовидным графом иерархии классов эквивалентности целей. Подобный граф описывает дерево целей, в котором вершины указывают на имена классов, ребра соответствуют отношениям включения, корень — базовой цели на комплексной предметной области, а листья — примитивам.

Определим множество формируемых подцелей через систему отношений эквивалентности $\left\{R^k_{\vec{j}^k}\right\}^K_{k=1}$ со следующими свойствами:

$$\left\{R^k_{\vec{j}^k}\right\}^K_{k=1}: \quad \forall \vec{j}^{k+1}\forall x,y: \quad xR^{k+1}_{\vec{j}^{k+1}}y \Rightarrow xR^k_{\vec{j}^k}y,$$

$$\forall \vec{j}^k \exists \vec{j}^{k+1}: \quad xR^k_{\vec{j}^k}y \Rightarrow xR^{k+1}_{\vec{j}^{k+1}}y,$$

$$\forall \vec{j}^k \forall \vec{i}^k, \vec{i}^k \neq \vec{j}^k: \quad xR^k_{\vec{j}^k}y \Rightarrow \neg xR^k_{\vec{j}^k}y,$$

где $R^k_{\vec{j}^k}$ — отношение эквивалентности, разбивающее класс $Z^k_{\vec{j}^k}$ (имя класса на k–м уровне декомпозиции с вектор-индексом $\vec{j}^k$) на множество классов эквивалентности $\left\{Z^{k+1}_{\vec{j}^{k+1}}\right\}$, где $x,y\in Z^k_{\vec{j}^k}$.

Применение приведенных операторов позволяет строить дерево целей через процедуру декомпозиции, порождающую модель дерева целей в виде древовидного графа иерархии подцелей, получаемых в результате декомпозиции базовой цели на множество классов эквивалентности $\left\{Z^k_{\vec{j}^k}\right\}^K_{k=1}$. Представленная модель показывает, что в общем случае построения алгоритма поиска промежуточных целей можно использовать процедуру формирования классов эквивалентности $\left\{Z^k_{\vec{j}^k}\right\}^K_{k=1}$, описываемых как

$$\left\{Z^k_j k\right\}^K_{k+1}: Z^k_j k=\bigcup_{jk+1} Z^{k+1}_j \to k+1,$$

$$Z_j^k \to k \bigcap Z_i^k \to k = \begin{cases} Z_j^k \to k, & \vec{i} = \vec{j}, \\ 0, & \end{cases}$$

и связанных условиями непротиворечивости [6]. Это позволяет показать, что оцениваемые ситуации в большинстве случаев определяются как действительность или реальный факт того, что определенная комбинация событий реальна или нереальна для определенного момента времени и в определенных обстоятельствах.

Формирование целевой функции ситуационного управления может быть решено формированием развернутого дерева иерархической системы ситуаций или промежуточных целей путем развертывания стратегической цели СУ в иерархическую систему целей. С этой целью применим к онтологии ситуационного исчисления (строгого логического вывода) рекуррентную модель формирования системы целей и механизмов синтеза структур, обеспечивающих достижение этих целей, «развертывающую» стратегическую цель в иерархический граф классов эквивалентности целей. Рекуррентная модель «развертывания» стратегической цели в набор целевых ситуаций осуществляется на основе поискового графа классов эквивалентности.

Рассмотренная в работе концепция ситуационно-целевого планирования для построения конструктивных алгоритмов ситуационного управления в распределенных интеллектуальных системах ставит целью нахождение эффективного алгоритма последовательности действий, позволяющих достигнуть желаемого эффекта в целенаправленном изменении ситуации путем поиска конечной последовательности действий, переводящих систему робот— среда (агенты — среда) из начального класса состояний S_0 в одно из состояний S_G, которое соответствует поставленной цели. Предлагаемый метод построения конструктивных алгоритмов ситуационного управления связан с комбинированием языка онтологий для описания предметной области и функционально-целевого подхода для формирования законов управления в распределенной интеллектуальной среде на основе декомпозиции главной (стратегической) цели на подцели, логично отражающих структуру процесса решения комплексных задач.

Предлагаемая *стратегия* разработана на основе применения принципа поиска цели через формирование дерева решений на конечном множестве промежуточных целевых состояний (подцелей) и распределение их как отдельных подзадач между отдельными членами команды. Такая стратегия весьма эффективна при построении конструктивных алгоритмов группового ситуационного управления методом *развертывания текущего состояния*, т. е. применением функции определения приемника к текущему состоянию для формирования конечного множества промежуточных целевых состояний (подцелей) и распределение их как отдельных подзадач между отдельными членами команды. Данный подход позволяет строить модели и конструктивные алгоритмы решения большого класса практических задач прогнозирования и управления ситуациями с применением интеллектуальных управляющих компьютерных сетей с элементами искусственного интеллекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.: [пер. с англ.] / С. Рассел., П. Норвиг. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2006.

2. Шкодырев В. П. Распределенные интеллектуальные системы: синергетический подход к самоорганизации и управлению / В. П. Шкодырев // Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах: Сб. трудов XIII Всерос. конф. по проблемам науки и высшей школы. — СПб., 2009.

3. Арсеньев Д. Г. Интеллектуальные компьютерные сети — применение в задачах децентрализованного управления распределенными объектами и технологическими комплексами / Д. Г. Арсеньев, В. П. Шкодырев // Сб. трудов Межд. Научно-техн. конф. «Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники», (ИКТМР-2009). — М., 2009.

4. Арсеньев Д.Г. Многоагентный подход к построению систем адаптивного управления распределенных мехатронных объектов / Д. Г. Арсеньев, В. П. Станкевич, В. П. Шкодырев // Экстремальная робототехника: Сб. трудов НТК. — СПб.: ЦНИИРТК, 2008.

5. Шкодырев В. П. Информационная теория самоорганизации в искусственных нейронных сетях / В. П. Шкодырев. Фундаментальные исследования в технических университетах: Сб. Трудов межвуз. конф. СПбГПУ. — СПб., 2008.

6. Shkodyrev V. Intelligent Control Networking — Agent-Based Approach to Decentralized Control of Distributed Objects // In Proc. Of the Distributed Intelligent Systems and Technologies Workshop. — SPb, 2008.

В. В. Елистратов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ — ПУТЬ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В двадцать первом веке существенно изменились представления о направлениях повышения энерговооруженности человека и способах повышения производительности труда при создании единицы ВВП. Происходит значительное переосмысление стратегических принципов развития энергетики, в том числе в части формирования приоритетных направлений ее развития. Складывается понимание, что экономическое развитие общества и государства должно быть экологически безопасным, энергетически независимым и соответствовать принципам устойчивого развития общества. В то же время современная энергетика, основанная на невозобновляемых энергоресурсах, не соответствует таким представлениям, является катализатором энергетических кризисов и нуждается в существенной модернизации.

Причинами кризисных явлений в энергетике, заставляющими заниматься поисками новых источников энергии и энергетическими технологиями, являются следующие.

1. Исчерпание ископаемых органических ресурсов. Наша планета обладает ограниченными запасами ископаемых ресурсов, которые распределены крайне неравномерно по территориям, но в настоящее время составляют основу энергетики большинства стран мира, в том числе и России, но они являются невозобновляемыми, ограниченными и рано или поздно будут исчерпаны. Быстрому расходованию ископаемых ресурсов также способствует их неэффективное и неэкономичное использование. Эта причина кризиса вынуждает заниматься обеспечением ресурсной безопасности деятельности ТЭК на государственном и региональном уровнях.

2. Экологические проблемы, связанные с деятельностью топливно-энергетического комплекса. Объекты тепловой энергетики загрязняют окружающую среду продуктами сгорания и выбросами тепла, что приводит к нарушению природной циркуляции в атмосфере и увеличивает риск экологических катастроф. Так, если в 1999 г. произошло 700 крупных экологических катастроф, то за последние 10 лет эта цифра все время возрастала, а масштаб бедствий и экономический ущерб все увеличивался. Особенно это техногенное воздействие на окружающую среду стало проявляться в последние годы. В принятой ООН «Повестке дня на XXI век», содержится в отношении энергетики четкое высказывание: «Энергетика имеет важное значение для экономического и социального развития и улучшения качества жизни. Сокращения атмосферных выбросов парниковых и других газов и веществ во все большей степени следует добиваться за счет повышения эффективности производства, передачи, распределения и потребления энергии, а также за счет использования экологически обоснованных энергетических систем, особенно действующих на основе новых и возобновляемых источников энергии...». Таким образом, экологические проблемы современного ТЭК вынуждают заниматься обеспечением экологической безопасности объектов топливно-энергетического комплекса.

3. Неизбежный рост и слабоконтролируемые тренды стоимости топлива и энергии. Рост стоимости энергии, производимой из органического топлива, связан с сокращением запасов, истощением эффективных месторождений, удлинением транспортных путей, увеличением затрат на ликвидацию аварийных ситуаций при добыче и транспортировке и компенсационных затрат от вредных выбросов при производстве энергии, введением дополнительных затрат на

компенсацию риска недопоставки топлива и энергии в срок. Эта причина приводит к необходимости обеспечения энергетической безопасности ТЭК на государственном и региональном уровнях.

Альтернативой топливным органическим ресурсам являются возобновляемые источники энергии и возобновляемые источники сырья. Возобновляемые источники энергии — это, прежде всего, солнечная энергия и его преобразованные составляющие — энергия воды, биомассы, ветра.

Ресурсы ВИЭ имеют три характерных позитивных признака. Во-первых, они неисчерпаемы до тех пор, пока существует солнечная система, т. е. еще, по крайней мере, в течение пяти миллиардов лет. Во-вторых, при их преобразовании во вторичную энергию и вторичные материалы (тепло, топливо, электричество) не происходит выброса вредных веществ в окружающую среду или, как в случае с биомассой, происходит замещение поглощенного в результате фотосинтеза CO_2, выделяемым при сгорании биотоплива углекислым газом. В-третьих, ВИЭ полностью или частично (отдельными видами), доступны повсеместно и могут вырабатываться децентрализовано и на местном и региональном уровнях. Безусловно, при их использовании следует обоснованно учитывать и недостатки этих ресурсов — более низкий по сравнению с органическими топливами удельный потенциал и зависимость во времени и от природных и климатических условий.

Для использования ВИЭ не нужны глобальные цепочки транспортировки ресурсов, требуются лишь технологии ее преобразования, которые могут использоваться на местном уровне. Так как потенциал этого природного ресурса не сконцентрирован в одном или нескольких местах, то для его использования не нужны крупные технические сооружения. Это подразумевает отказ от малого числа крупных инвестиций в пользу множества мелких инвестиций. Использование ВИЭ означает одновременное существование региональных рынков ресурсов и глобального рынка технологий, которые используются децентрализовано.

С точки зрения исторического развития энергетики внедрение технологий ВИЭ означает переход от модели концентрированного и централизованного развития энергетики к модели деконцентрированной и распределенной энергетики с потенциально заложенной невозможностью крупных аварий и катастроф.

Развитие мировой энергетики происходит под воздействием ряда объективных тенденций, формирующих как структурные изменения в топливно-энергетическом балансе, так и общие объемы потребления отдельных видов ресурсов. В 20-м веке происходило активное внедрение в ТЭК органической энергетики, прежде всего, угольной (начало века — 30 годы), затем нефтяной (30-е — 60-е годы) и газовой (50-е — 90-е годы). С 60-х годов начался рост мощностей атомной энергетики. Следует отметить характерную тенденцию: каждый новый источник энергии требует от 30 до 50 лет для того, чтобы его доля в общем энергобалансе возросла от 1 до 10 %, затем еще столько же лет, чтобы эта технология достигла своей максимальной доли и далее происходит ее вытеснение другими технологиями (рис. 1).

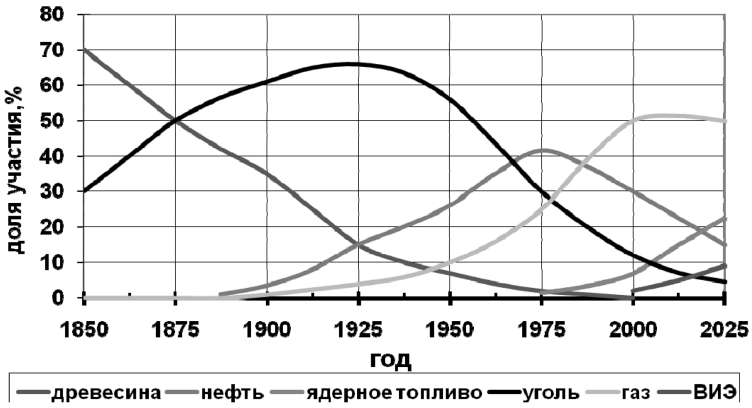


Рис. 1. Изменение доли различных видов топлива в энергетическом балансе для различных временных интервалов

В конце 2007 г. мировое потребление первичных энергоресурсов, по совокупным данным международного энергетического агентства (МЭА) и Бритиш Петролеум, составило около 12370 млн. т нефтяного эквивалента (н. э.) в год, в т. ч. органических ресурсов около 9768 млн. т.н.э. / год (79 % от общего потребления энергоресурсов), атомной энергии 622 млн. т.н.э./год (5 %), возобновляемых энергоресурсов — 1980 млн. т.н.э. в год (16 %).

Динамика изменения доли использования различных источников энергии при производстве электроэнергии за последние 40 лет приведена в табл. 1.

В настоящее время фактически заканчивается эра нефтяной энергетики, доля которой в производстве электроэнергии составляет сейчас лишь около 5 %, хотя 40 лет назад она составляла более 20 %. Доля природного газа на наш взгляд достигла максимума, около 20 % и в ближайшем будущем будет иметь стабильную долю с постепенным снижением в ближайшие 10 лет до 17–18 %. Угольная энергетика в силу значительных запасов и большого распространения будет иметь сравнительно небольшую тенденцию в сторону уменьшения своей доли за счет внедрения более экологически чистых и энергетически эффективных технологий. Также будет снижаться и доля атомной энергетики из-за сокращения рынка в развитых странах, но не так сильно из-за возможного расширения рынка в развивающихся странах и странах третьего мира. Однако не следует забывать и об опасности расползания ядерных технологий и экологических проблемах при использовании атомной энергии, особенно в странах с низкой технологической культурой и не вполне квалифицированным персоналом.

Единственным источником энергии, имеющим неуклонную положительную динамику увеличения своей доли, остаются ВИЭ. За последние 10 лет их доля в производстве электрической энергии в целом по миру увеличилась до 3 %, и есть все основания утверждать, что к 2020 г. она может составить 6–8 %.

Воздействие энергетики на биосферу происходит на всех стадиях производства энергии: при извлечении и транспортировке ресурсов, при производстве, передаче и потреблении энергии. Ярким примером отрицательного воздействия на экосистему при добыче органических топлив является экологическая катастрофа в Мексиканском заливе, на прибрежном шельфе США, где из скважины BP продолжает выливаться нефть и создается реальная угроза гибели гигантской прибрежной территории залива. Несмотря на колоссальные затраты никак не удается надежно заглушить скважину. Величина ущерба только в прямом исчислении уже составила более 3,5 млрд. долларов.

Таблица 1

Динамика производства электрической энергии в мире за счет различных видов топлива, % от общего производства

Виды топлива	Год							
	1971	1986	1990	1995	2000	2003	2006	2007
Уголь	40,02	38,74	38,09	37,89	39,1	39,9	41,0	41,5
Нефть	20,87	11,92	11,31	9,43	7,92	6,88	5,8	5,6
Природный газ	13,27	12,53	13,78	14,86	17,41	19,26	20,1	20,1
Атом	2,12	15,86	17,02	17,57	16,86	15,74	14,8	13,8
Гидро	23,03	20,12	18,35	18,79	17,10	16,28	16,0	15,6
ВИЭ	0,69	0,83	1,45	1,56	1,71	1,91	2,3	2,6
Общее производство эл. энергии, ТВт-ч	5248	10098	11828	13271	15379	16742	18930	19771

Широкое использование топливной энергетики является одной из главных причин сильного антропогенного загрязнения атмосферы и изменения климата и никак не соответствует принципам устойчивого развития. При сжигании органического топлива образуются оксиды углерода, серы, азота, соединения свинца, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенные (например, бензапирен C_2OH_{12}), и другие вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии. Значения удельных вредных выбросов от сжигания органических топлив и использования атомной энергии приведены в табл. 2.

Кроме того, энергетические объекты ежегодно потребляют до 30 млрд. м^3 воды, большая часть которой, пройдя производственный цикл, возвращается в водоемы и содержит тяжелые металлы, нефтепродукты, фенол и другие токсичные компоненты в концентрациях, в десятки раз превышающих предельно допустимые, или требует сложной многоступенчатой очистки.

Современный этап развития мировой энергетики должен основываться на принципах устойчивого развития, защиты окружающей среды и экологической безопасности. Основными глобальными задачами энергетики на ближайшую перспективу являются:

эффективное использование невозобновляемых и широкое использование возобновляемых энергоресурсов;

увеличение роли экологически чистых энергоресурсов и стимулирование поиска новых источников энергии;

развитие исследований по новым энергосберегающим технологиям.

Развитие энергетики возобновляемых источников за последние 15–20 лет происходит по очень оптимистичному сценарию с постоянным возрастанием установленной мощности и доли в топливно-энергетическом балансе. При общем производстве электроэнергии в 2008 г. 20514 ТВт-ч. доля ВИЭ составила (вместе с большой гидроэнергетикой) около 18,2 % (рис. 2).

Тренды развития энергетики в XX в., особенно в его второй половине, в значительной степени коррелировались с мировыми энергетическими кризисами. Интенсивный толчок развитию ВИЭ был дан в результате кризиса 1973 г., когда из-за резкого скачка цен на нефть и, соответственно, резкого скачка цен на электроэнергию, начались интенсивные поиски альтернативных технологий.

Следует отметить, что и на современном этапе развития энергетики, государственное инвестирование и субсидирование отраслей энергетики, в том числе и возобновляемой энергетики, продолжается в большинстве стран мира, что позволяет повысить экономическую эффективность реализуемых проектов и снизить риск собственных инвестиционных вложений. В России в 2009 г. расходы федерального бюджета на поддержку атомной энергетики составили 135 млрд. рублей (4,5 млрд. дол.), на поддержку газовой отрасли — 25 млрд. дол., на электроэнергетику — 15 млрд. дол. На развитие ВИЭ не было выделено ничего!

Значительный рост установленной мощности установок ВИЭ характеризуется соответствующим увеличением объема инвестиций в отрасль возобновляемой энергетики. В 2009 г. инвестиции превысили 130 млрд. дол., в том числе: 50.4 млрд. дол. на развитие ветроэнергетики; 38.4 млрд. дол. на развитие солнечной фотоэнергетики; 15.6 млрд. дол. на строительство заводов по производству солнечных элементов; 16 млрд. дол. направлены на научные исследования и проекты. Дополнительно было

Таблица 2

Выбросы систем на традиционных источниках энергии, г/кВт-ч

Выбросы	Уголь	Нефть	Газ	Дизтопливо	Атом
CO_2	955	818	430	772	63
SO_2	11,8	14,2	–	1,6	0,04
NO_x	4,3	4,0	0,5	12,3	0,32

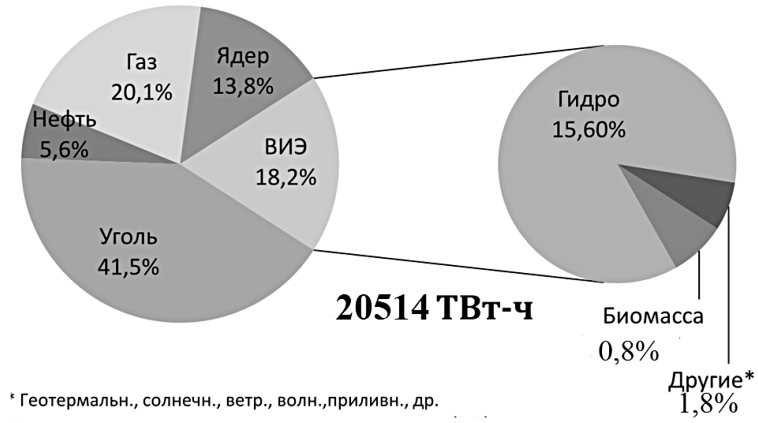


Рис. 2. Доля ВИЭ в мировом производстве электроэнергии (2008 г.)

затрачено 40–45 млрд. дол. на развитие большой гидроэнергетики.

В качестве одной из иллюстраций развития ВИЭ проанализируем развитие ветроэнергетики. В настоящее время преобладающей технологией освоения ветровых ресурсов является создание ветропарков, в том числе расположенных на мелководье и шельфе. В 2009 г. мощность ВЭС в мире (рис. 3) составила 157,9 ГВт, а в Европе — 76,15 ГВт, прирост за год составил 31,7 % (отчет WWEA, 2010 г.). Объем инвестиций в ветроэнергетику в 2009 г. превысил 50 млрд. евро.

В мире насчитывается 11 государств, в которых мощность ВЭУ превышает 1 млн. кВт, из них 7 находится в Европе. Страны-лидеры в области ветроэнергетики и приросты мощности в 2009 г. приведены в табл. 3.

В 2009 г. на ВЭС мира было выработано около 340 ТВт-ч электроэнергии, что составило около 2 % произведенной электроэнергии в мире, но, например, в Дании около 20 % электроэнергии вырабатывается из ветра, в Португалии — 15 %, в Испании — 14 %, в Германии — 9 %.

Для многих стран 2009 г. охарактеризовался резким ростом ветроэнергетики: так, темп роста ветроэнергетики в Мексике составил — 373 % (!), в Турции — 139 %, в Бразилии — 77,3 %. По сравнению с 2008 годом высокие темпы сохранили только Китай и Бразилия.

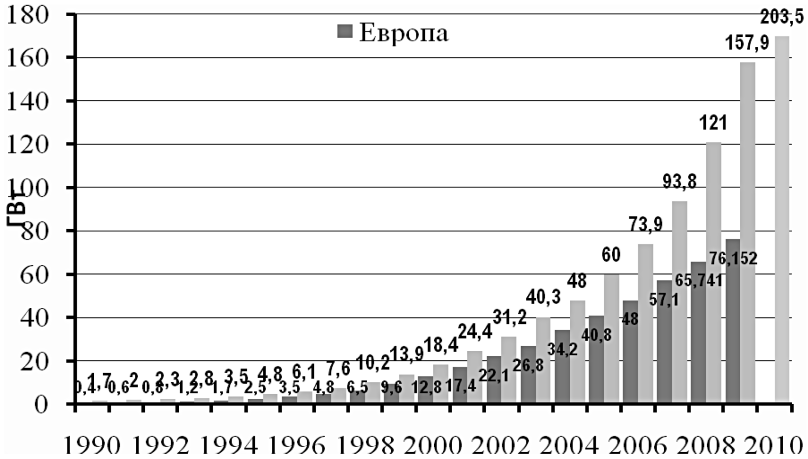


Рис 3. Общая установленная мощность ВЭС в мире

Таблица 3

Страны-лидеры по установленной мощности ВЭС и темпам роста

Место в мире	Страна	Ввод мощностей за год, МВт	Темп роста, %	Общая установленная мощность, МВт
1	США	9922	28	35159
2	Германия	1917	7	25777
3	Китай	13000	52	25104
4	Испания	2459	13	19149
5	Индия	1271	12	10926
	Остальные	8897	21	41784
Всего		**37466**	**24**	**157899**

Россия обладает огромными ресурсами ветровой, геотермальной, солнечной энергии, энергии биомассы, гидроэнергетическими ресурсами, в настоящее время возобновляемые источники энергии (за исключением крупных гидроэнергетических систем) используются в стране очень мало. Те движущие силы, которые способствуют интенсивному развитию ВИЭ в мире, в России имеют свою определенную специфику, связанную с территориальным расположением страны, размещением производительных сил, плотностью и распределением населения по территории, ресурсами НИЭ и ВИЭ и др. Поэтому следует выделить те движущие силы, которые могут и должны способствовать развитию ВИЭ в России и ее регионах и определять направления их развития в 21 веке.

Возможность повысить энергетическую безопасность регионов России за счет повышения коэффициента самообеспечения топливно-энергетическими ресурсами.

Возможность повысить энергетическую безопасность за счет децентрализации энергоснабжения. Сейчас очень высока централизация энергетической системы России — около 90 % общего количества электроэнергии производится крупными ТЭС, ГЭС, которые распределяют электроэнергию по разветвленным и длинным ЛЭП. Около 85 % населения страны получает электроэнергию централизованно, но со значительными материальными и денежными затратами на транспорт топлива и энергии при значительных потерях энергии при транспорте на большие расстояния.

Централизация характерна лишь для густонаселенных регионов Европейской части страны и ряда областей Сибири (менее 40 % территории). Большая часть обширной территории России (около 60 % и 10–15 млн. населения) не присоединена к централизованным энергетическим системам. В децентрализованных зонах население получает электроэнергию в основном от автономных дизель-генераторов небольшой мощности, а топливо завозится автотранспортом, водными путями, а иногда даже вертолетами, что делает его очень дорогим.

ВИЭ являясь местными, рассредоточенными ресурсами энергии могут быть эффективно использованы для децентрализованного энергоснабжения.

Наша страна серьезно отстает как по объемам ввода, так и по технологиям преобразования различных видов возобновляемой энергии. Объемы производства электрической энергии за прошедшие 10 лет XX в. приведены в табл. 4.

На фоне такого состояния с развитием ВИЭ следует особенно подчеркнуть, что технологии возобновляемой энергетики — наиболее инновационноемкие и энергоэффективные технологии, в наибольшей степени отвечающие требованиям эффективного производства, потребления энергии и энергосбережения. Их активное использование могло бы стать локо-

Таблица 4

Выработка электрической энергии в России на базе ВИЭ, включая малые ГЭС, млн. кВт.ч

№ п/п	Период	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	Ветростанции	1,07	4,12	6,77	15,65	9,88	9,63	7,46	7,74	5,235
2	Геотермальные электростанции	58,2	91,2	149,1	313,1	395,0	396,4	462,6	484,7	446,5
3	Малые ГЭС	1672,6	2586,5	2429,5	2276,7	2738,2	2788,1	2548,5	2659,2	3178,5
4	Тепловые электростанции на биомассе*	4791,5 (1380,3)	4991,2 (1380,9)	6582,8 (1995,4)	5518,1 (2025,0)	5670,7 (2431,5)	5562,9 (3720,1)	5833,4 (2612,9)	5981,3 (2817,1)	5941,2 (2325,9)
Итого:		3112,17	4071,78	4580,77	4630,45	5574,68	6908,23	5631,46	5968,74	5974,135
Производство электроэнергии на электростанциях России		877800	891300	891300	916300	931900	953100	931381	1008256	1033327
Доля возобновляемых источников энергии, %		0,36	0,46	0,52	0,51	0,6	0,73	0,61	0,61	0,58

*Примечание. Источник: отчеты о технико-экономических показателях и расходе условного топлива на электоростанциях России за 2000–2008 гг. Госкомстат России. В скобках указано количество выработанной энергии непосредственно за счет использования биомассы.

мотивом развития и энергетической отрасли, и всей национальной экономики.

В «Основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 г.» (утверждены Распоряжением Правительства РФ от 09.01.2009 г. № 1-р) заложены скромные 4,5 % доли использования ВИЭ в производстве электроэнергии к 2020 г. Но и эти цифры не будут достигнуты при нынешнем пассивном отношении общества и государственных органов, занимающихся энергетикой, к решению этой задачи. Основы для развития этого направления, заложенные ФЗ № 35 и рядом последующих подзаконных актов, создали правильный вектор, однако сейчас все застопорилось из-за отсутствия механизма финансирования. Чтобы развивать энергетику, базирующуюся на возобновляемых источниках, нужны значительные начальные инвестиции, и это должны быть, прежде всего, государственные инвестиции и финансирование, так как это делалось при становлении органической и атомной энергетики.

Только тогда, когда будет сформирована и начнет реализовываться целенаправленная государственная политика в сфере использования ВИЭ, можно будет говорить, что развитие энергетики происходит на основе принципов устойчивого развития, защиты окружающей среды и экологической безопасности.

М. Б. Игнатьев, Р. М. Яковлев

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Основой ядерной бомбы является плутоний или высоко обогащенный уран-235. Если технология обогащения урана-235 является сложной и дорогой, то получение плутония не сопряжено с изотопным разделением, и его можно извлечь из того материала, где он содержится, практически в любой радихимической лаборатории мира. Был бы только под рукой нужный материал. Современная атомная энергетика создает его в большом количестве. Причем, если запасы военного плутония (это в основном плутоний-239) росли в год приблизительно на 1 т и ограничивались его производством в основном в двух странах (США и СССР), то общее количество производимого сейчас в энергетических реакторах плутония составляет около 80 т в год, а извлекаемого из ОЯТ на комбинатах гражданского плутония увеличиваются сейчас на 10 т в год. Этот продукт является, безусловно, менее эффективным для создания атомной бомбы, но вполне для этого пригодным. Если для небольшой атомной бомбы, мощностью равной той, которая была взорвана над Нагасаки, достаточно 5 кг военного плутония, то гражданского надо будет около 7 кг. Американцы еще в 60-х годах взорвали такую бомбу из «плохого» плутония. Несколько взрывов из такого плутония в сравнительно недавнее время было произведено и в других не очень развитых странах. Имея плутоний как запал, можно нарастить его до термоядерного устройства с взрывными мощностями на порядки большими. Еще раз отметим, что особых ухищрений для извлечения плутония из облученного ядерного топлива не существует. Высоких технологий по изотопному разделению не требуется. Сколько бомб при желании можно сделать из 10 т извлекаемого за год гражданского плутония нетрудно подсчитать. Часть плутония уже извлечена и хранится в странах, где есть предприятия по переработке ОЯТ. В таблице приводится информация, взятая с сайта[1] Арджуна Махиджани, директора IEER (Institut for Energy and Environmental Reserch), США.

Как видно из таблицы, еще в 2000 г. произведенного на комбинатах гражданского плутония накопилось 210 т, что уже превысило количество полученного за всю историю военного плутония. Общее же количество находящегося в ОЯТ энергетического плутония сейчас составляет около 2000 т. В итоге, несмотря на непрерывные и настойчивые призывы сокращения запасов военного плутония и проводимые в США и России работы по сокращению его запасов, наработка его в гражданских реакторах и переработка на комбинатах только возрастают. Из количества приведенного в таблице уже извлеченного «мирного» плутония можно изготовить 30 тысяч атомных бомб.

Таким образом, мы имеем непреложный факт распространения по миру основной составляющей атомного оружия, его взврывчатки — плутония, хотя он именуется гражданским. В последние годы эта тревожная ситуация усугубляется. Обусловлено это тем, что при быстро сокращающихся запасах углеводородов, атомная энергетика опять рассматривается как единственный более чистый, чем уголь, крупномасштабный источник энергии. Кроме решения проблемы энергетической безопасности, весьма существенным аргументом в пользу ускоренных темпов развития атомной энергетики также является возможность сильно сократить выбросы парниковых газов и других вредных отходов, которых особенно много при добыче и сжигании угля. Изменение отношения к атомной энергетике происходит во многих странах, в том числе и в России. Предполагается ее весьма интенсивное развитие со строительством нескольких тысяч гигаватных атомных станций в мире до конца столетия и более сотни таких станций в России.

Таблица

Оценки запасов выделенного гражданского плутония по странам, где он хранится, т

Страна	Выделенный плутоний	Дата получения данных	Комментарии
Франция	~ 80	Конец 1999 г.	Включает зарубежный Pu, который хранится во Франции
Великобритания	78,5	31 марта 2000 г.	
Россия	30	2000 г.	
Япония	5,3	Конец 1999 г.	
США	1,5	2000 г.	
Другие	11	Конец 1998 г.	Германия, Бельгия, Индия
Всего	~ 206		К концу 2000 г. общие запасы превышали 210 т

Примечание. Сюда входит плутоний в форме необлученного МОХ-топлива.

В 2008 г. работал семинар, организованный Международным научно-техническим центром, по теме «Перспективный ядерный топливный цикл XXI века». Семинар происходил 24–27 сентября в Нижнем Новгороде. На нем присутствовали ведущие физики-атомщики России, Японии и Европейского Союза. Перспективой развития атомной энергетики, по мнению почти всех участников семинара, является строительство до 2030 г. реакторов на тепловых нейтронах типа ВВЭР с подключением к ним затем быстрых реакторов типа БН-800. На основе анализа растущих потребностей человечества в энергии, особенно в развивающихся странах, обосновывалась необходимость перехода к атомной энергетике как единственной альтернативе исчезающим запасам углеводородов. По оценкам МАГАТЭ в течение нескольких следующих десятилетий потребуется построить примерно 2000 АЭС (мощностью в 1000 мегаватт каждая). Это увеличение общей мощности АЭС в пять раз. По мнению докладчика, к концу столетия в мире потребуется АЭС общей установленной мощности не менее 3000–4000 ГВт, а для России — 300 ГВт. Причем, общая доля реакторов на быстрых нейтронах должна составлять 50 %. Коэффициент воспроизводства для производства плутония в этих реакторах желательно иметь равным 1,6, что обеспечит эффективное саморазвитие. Переработку облученного ядерного топлива с извлечением плутония и минорных актинидов следует осуществлять в установках, которые будут размещаться при каждом быстром реакторе. Нераспространение плутония и исключение его хищения, по мнению докладчика, может быть обеспечено специальными соглашениями и разработанными особыми технологиями. Докладчик определил путь к энергетической безопасности, основанный на уран-плутониевом цикле и быстрых реакторах с фабриками переработки на них многих тонн плутония. Действительно, предлагаемый путь приводит к энергетической безопасности. С этим мы согласны. И этот путь был бы замечателен, если бы обеспечивал и другую безопасность.

Давайте расставим приоритеты. Если говорить о безопасности, то, что важнее всего? Мы считаем, как и большинство людей вместе с нами, что обеспечение безопасности жизни, здоровья и сохранение окружающей природы является главным. Обеспеченность энергией на все более высоком уровне, или как это не совсем правильно называют, «энергетическая безопасность», не должна подавлять главного, т. е. не быть угрозой самой жизни. К сожалению, высокая озабоченность энергетической безопасностью у атомщиков отодвигает куда-то в сторону заботу о безопасности жизни на Земле. Обуслов-

лено это, в первую очередь, все более растущим и во многом избыточным уровнем потребления, насаждаемым рыночной экономикой прибыли, так как поддержать этот растущий уровень невозможно также без увеличения потребления энергии. В связке с желанием как можно больше продать, обеспечивая рост прибыли, продать сейчас и поскорее, рост энергопотребления просто необходим. При этом игнорируется все остальное: и ограниченность источников энергии, и их безвозвратная потеря, и опасность экологической катастрофы, и будущее потомков, оставляемых без ценных сырьевых продуктов и заваленных отходами.

Игнорируется и чрезвычайная опасность, обусловленная распространением по миру основной составляющей атомной взрывчатки — плутония, и эта опасность усугубляется не только увеличением количества атомных станций, но и тем, что практически весь плутоний оказывается по предлагаемому сценарию ускоренного развития вовлеченным в непрерывную многократную переработку. От его непрерывной переработки никуда не деться, поскольку основу атомной энергетики с 2050 г., составят быстрые реакторы, работающие на плутонии, непрерывно извлекаемом из ОЯТ этих реакторов для обеспечения топливом самих реакторов и части реакторов, работающих на тепловых нейтронах. Еще раз отметим, что никакие самые строгие предписания, регламентирующие использование при переработке ОЯТ только специально созданных технологий, которые исключают наработку отдельно плутония, не смогут воспрепятствовать злоумышленникам извлечь нужный для бомбы плутоний по старой схеме Пурекс-процесса с привлечением нужных специалистов.

При широком распространении по миру быстрых реакторов возникает еще одна серьезная угроза. У их новых владельцев может появиться искушение попробовать нарушить соглашение Ельцина — Клинтона, запрещающее создавать зону воспроизводства 239-плутония в быстром реакторе с использованием для этого обедненного урана, опять же с привлечением специалистов. Если уж размещать где-то быстрые реакторы, то только в тех странах, которые уже имеют ядерное оружие, иначе происходит распространение не просто гражданского плутония, а создается реальная возможность производить оружейный плутоний, каким-то образом обойдя запреты.

Давайте, по-настоящему определим всю опасность ситуации, в которой оказывается человечество и, в первую очередь, его цивилизованная часть, развивая энергетику, основанную на уран-плутониевом цикле, и помогая странам, у которых не было атомной энергетики, ее развить, нарабатывая на своих реакторах плутоний. Особая опасность нами отмечается именно для цивилизованной части, ибо для Тайланда и Никарагуа вероятность ядерных терактов с использованием плутония, по всей вероятности, будет значительно ниже.

Освободиться от угрозы распространения по миру основной составляющей атомного оружия — плутония можно только в варианте развития атомной энергетики по сценарию, в котором отсутствует плутоний. Это означает переход от уран-плутониевой к торий-урановой энергетике, где делящийся материал (уран) нарабатывается из тория по схеме: $^{232}Th\ (n, \gamma)^{233}Th \rightarrow$ $\rightarrow {}^{233}Pa \rightarrow {}^{233}U$. Наряду с синтезом урана-233, в уран-ториевом реакторе сразу по нескольким каналам идет синтез небольших количеств урана-232. Этот изотоп вместе со своими дочерними продуктами в уран-ториевом реакторе характеризуется интенсивным жестким гамма-излучением, что полностью исключает возможность проводить какие-либо операции с ураном-233 в легких лабораторных боксах, подобно тому, как оперируют с ураном-235 и плутонием-239. Это гарантирует невозможность использования урана-233, нарабатываемого в реакторе, для приготовления ядерных зарядов (даже при участии в работах операторов-самоубийц) без предварительного отделения изотопа урана-232, что практически невозможно осуществить. Таким образом, как исходный материал (торий-232), так и синтезированный материал (смесь урана-233 и урана-232) не смогут стать реальными компонентами ядерного оружия террористов. Запасы тория в десятки раз превышают запасы урана.

Кроме нераспространения ядерного оружия не менее важна проблема безопасности ядерной энергетики, а также защиты окружающей среды от загрязнения радиоактивными отходами. К рассмотрению этих вопросов мы сейчас переходим.

11 сентября 2001 г. в США один из четырех захваченных террористами самолетов немного не долетел до атомной станции в Пенсильвании. Падение тяжелого самолета на АЭС привело бы ко второму Чернобылю с 30-километровой зоной заражения. К такому же печальному итогу могут привести катастрофические ситуации, причиной которых могут стать сильные землетрясения или другие совершенно непредвиденные факторы, приводящие к разрушению корпуса реактора и расплаву активной зоны. Это могут быть очень грубые ошибки обслуживающего персонала, хорошо организованная диверсия или управляемый снаряд с кумулятивным зарядом. Любая установка может сломаться или быть сломанной, но последующая ситуация может быть различной. При разрушении корпуса и расплаве активной зоны неминуемо произойдет выброс огромного количества радиоактивных продуктов, накопленных в твердотельных топливных элементах (ТВЭЛах) за время работы реактора:

Ситуация, в которой оказалась атомная энергетика, обусловлена историей ее развития. Атомная энергетика возникла и развилась в считанные годы только благодаря заделу, который существовал в России и США при создании реакторов для атомных подводных лодок (АПЛ). Многие разработки оттуда перешли в мирную энергетику атома. Использование такого топлива, которое по энергоемкости в миллион раз превосходит углеводородное, обеспечивало несомненное преимущество АПЛ перед дизельными. Для атомных лодок были созданы реакторы, обладающие высокой плотностью энергии в активной зоне, в которых тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) и сборки из них (ТВС) были полностью герметизированы. Но весьма высокая плотность энергии и герметизация топлива, совершенно оправданные для АПЛ, создают условия повышенной опасности для созданных на их основе легководных реакторов (ЛВР), составляющих основу большой атомной энергетики, и в еще большей степени для реакторов на быстрых нейтронах, поскольку энергетическая напряженость для них в активной зоне реактора значительно выше. Из-за очень высокой температурной напряженности в тепловыделяющем элементе (разница температур внутри и на охлаждаемой поверхности около 2000 градусов) десяти секунд перерыва в подаче охлаждающей воды (или натрия) к топливному стержню приводит к локальному перегреву и неотвратимому каскадному повреждению активной зоны реактора. Большую опасность вызывает необходимый для компенсации выгорания топлива в ТВЭЛах избыточный запас реактивности, который может привести в экстремальных ситуациях к неконтролируемой цепной ядерной реакции. Но и без образования локальной критической массы крупная авария, инициированная терактом или непредвиденным событием, может привести к катастрофическому выбросу накопленных в ТВЭЛах радиоактивных продуктов при их расплаве и повреждении корпуса реактора.

При вскрытии активной зоны из расплавленного топлива не полетят радиоактивные продукты, если из него уже выведены летучие и газообразные продукты в ходе эксплуатации. Это можно сделать, если перейти на уран-ториевые реакторы без твердотельных топливных элементов, в которых топливо находится в виде расплава соли или в виде суспензии.

Психологически трудно признать, что исключение герметичных оболочек для распределенного по таблеткам ядерного топлива и использование топлива в жидком состоянии исключают возможность глобального загрязнения внешней среды, т. е. повторения Чернобыльской катастрофы. Ведь столько времени и сил было потрачено для создания ТВЭЛов и тепловыделяющих сборок из них. Мы отмечаем важную роль, которую они сыграли при создании достаточно безопасных реакторов для АПЛ, и имеющих возможность работать несколько лет подряд без перезарядки на высокообогащенном уране-235. Полезно отметить, что в реакторах на высокообогащенном уране-235 наработка плутония и долгоживущих актинидов значительно меньше, чем в энергетических реакторах. Но топливо оказывается тогда слишком дорогим, и в нем все равно копятся продукты деления, а запас реактивности является высоким.

Безтвельный же реактор имеет низкий запас реактивности (обусловленный эффективной наработкой урана-233 из тория даже в реакторах на тепловых нейтронах, а также очисткой топлива от части осколочных элементов-поглотителей нейтронов в ходе эксплуатации) и высокий от-

рицательный температурный коэффициент реактивности, что обеспечивает ядерную безопасность.

Поскольку из жидкого топлива такого реактора выводятся и аккумулируются во время работы летучие и газообразные продукты, то в любых ситуациях (даже при попадании в него бомбы) исключен выброс за пределы реакторного пространства больших количеств радиоактивных продуктов. Это обстоятельство особенно важно в эпоху развитого терроризма.

Для жидкосолевых реакторов не происходит глобального загрязнения окружающей среды даже в случае таких катастрофических ситуаций, как землятресение, падение самолета или подготовленная диверсия, это ставит их в особое положение и, главное, вселяет надежду в возможность создания безопасной от катастроф атомной энергетики. Ведь именно возможность катастрофы для существующих реакторов, обусловленная непредвиденными обстоятельствами, для учета которых бессмысленны вероятностные оценки, сдерживает после Чернобыля и событий 11 сентября 2001 г. высокие темпы развития атомной энергетики.

Перейдем к проблеме ядерных отходов в существующей атомной энергетике. Поскольку незагрязнение окружающей среды и сокращение количества отходов является одной из важнейших проблем безопасного проживания на Земле, то эта проблема является наряду с нераспространением ядерного оружия также одной из наиболее важных.

При работе реактора в результате деления ядер увеличивается объем топлива, и накапливаются газообразные и летучие продукты, что приводит к разбуханию ТВЭЛов. Помимо этого оболочки ТВЭЛов подвержены коррозии и высоким радиационным нагрузкам. Все это ограничивает время нахождения ТВЭЛов в активной зоне реактора и приводит к тому, что их надо довольно часто выгружать, заменяя новыми. Во время нахождения в реакторе расходуется лишь очень незначительная часть (2–3 % для ЛВР и 5–9 % для БНР) ядерного топлива, но при этом объемы материалов, в которых это топливо находилось, являются очень большими. Напомним, что каждый год количество ОЯТ, находящегося в ТВЭЛах для реактора электрической мощности 1 ГВт составляет: 25 т для реактора ВВЭР и 47 т для РБМК, дополнительно вместе с ТВЭЛами выгружается в несколько раз больше высокоактивных твердых металлических отходов. За 40 лет работы радиоактивных отходов накапливается тысячи тонн. Для переработки по действующей сейчас технологии 1 т ОЯТ от ВВЭР образуется жидких отходов: высокоактивных 4,5 м^3, среднеактивных 150 м^3 и низкоактивных более 2000 м^3. Особую неприятность в реакторах представляют, кроме плутония, другие минорные актиниды — нептуний, америций, кюрий.

Переход к жидкосолевому уран-ториевому реактору позволяет сократить объемы радиоактивных отходов в тысячи раз, поскольку для их работы не требуется ежегодная выгрузка — загрузка ТВЭЛов, не требуется и их последующей переработки. Вес осколочных продуктов реактора тепловой мощностью 300 МВт при кампании 50 лет составит примерно 5,5 т, а при средней плотности 2,7 т/м^3 они займут объем примерно 2,0 м^3 . Кроме того в таком реакторе нарабатывается в 10^4 раз меньше изотопов трансурановых элементов, чем в аналогичном по мощности уран-плутониевом реакторе.

Следует отметить, что рабочие кампании ЖСР предполагаются гораздо более длительными, чем кампании для реакторов на твердом топливе (3–4 г.) Для восполнения сгорающего урана-233 в солевой расплав ЖСР будут периодически добавляться порции тетрафторида тория-232, который при коэффициенте воспроизводства в этих реакторах близких к 1, превратившись в уран-233, сгорает, не требуя какой-либо переработки ОЯТ с его извлечением из реактора. Эта особенность атомных станций делает их практически независимыми от процедур оперативной доставки топлива. Загрузка делящимися материалами происходит только при запуске реактора, а при окончательной остановке реактора оставшийся в нем уран может быть выделен из жидкосолевой композиции фторидов при фторировании с образованием летучего UF_6 с использованием его в новом реакторе такого же типа.

Сможет ли ядерная энергетика в XXI веке стать полноценной заменой исчезающим углеводородам? Это определится, в первую очередь, ее гарантированной безопасностью относительно возможности крупномасштабных аварий, а также

исключением возможности распространения основной составляющей ядерного оружия — плутония. Весьма важной является обеспеченность топливом на долгие годы и сокращение количества ядерных отходов, в первую очередь, плутония и других минорных актинидов (нептуния, америция, кюрия).

Из всего сказанного вытекает, что по совокупности ключевых параметров уран-ториевый топливный цикл в варианте безтвэльных реакторов удовлетворит потребности человечества в «чистой» энергии на современном этапе его развития (минимум на тысячу лет), поскольку только в этом варианте для атомной энергетики представляются следующие возможности:

обеспечить нераспространение основной составляющей ядерного оружия — плутония;

сделать ее по большому счету безопасной, т. е. исключить саму возможность глобальных аварий (катастроф типа Чернобыля) с огромным экологическим и экономическим ущербом;

весьма экономно использовать ядерное топливо (делящиеся материалы нужны только при запуске реактора);

уменьшить в тысячи раз объемы ядерных отходов и количество особо опасных (кроме изотопов плутония других долгоживущих минор-актинидов — нептуния, кюрия, америция);

сделать атомную энергетику экономически выгодной, в первую очередь, из-за отсутствия ежегодной загрузки — выгрузки дорогих ТВЭЛов, а также затрат на хранение, переработку облученного ядерного топлива и на вывод ядерных реакторов из эксплуатации.

Мы убеждены, что только вовлечение тория в ядерную энергетику в варианте без твердотопливной загрузки — выгрузки активных зон позволит обеспечить человечество на столетия экологически чистым источником энергии. Но чтобы это произошло не в следующем столетии, необходимо уже сейчас решить вполне определенный комплекс конкретных химических, технических, конструкторских и технологических задач. По нашим оценкам, для их решения требуется совсем немного времени (3–4 года) и скромное финансирование, около 100 млн. руб. (это ничтожно мало по сравнению со средствами, потраченными на программу с реакторами на быстрых нейтронах — около 100 млрд. дол. США). Выполнить эту программу за такое короткое время и на незначительные средства возможно только потому, что существует значительный задел. Уже рассмотрено и опубликовано несколько простых конструктивных решений, исследованы в лаборатории различные материалы и совместимость их с жидкосолевыми композициями. Нам представляется достаточно ясным, как надежно герметизировать топливо и аккумулировать продукты деления. Существуют наши работы, в которых показано, как с помощью дистанционного контроля и средств управления обеспечить полную безопасность работы конкретного варианта запатентованного нами реактора с жидким топливом. В результате исследований будет подготовлено ТЗ на изготовление демонстрационного варианта ЖСР, который может быть спроектирован и построен в последующие 3–4 года. Никаких принципиальных сложностей для создания демонстрационного жидкосолевого реактора не существует.

Задача практического воплощения этого цикла в жизнь достойна стать научной и инженерной целью отрасли на ближайшую перспективу, при строительстве демонстрационного уран-ториевого реактора через 5–7 лет, а не через 45 лет, как записано сейчас в стратегическом плане работ Минатома РФ.

Мы уверены, что страна, которая первой освоит и запустит в широкое производство экологически безопасные ядерные реакторные установки уран-ториевого топливного цикла на базе реакторов с расплавами солей фторидов, выйдет на передовые в мире рубежи высоко конкурентоспособных ядерно-энергетических технологий со всеми вытекающими из этого преимуществами.

Альтернативная ядерная энергетика ставит задачу использования ядерной энергетики без наработки плутония — элемента, который наиболее прямым и технически простым способом может быть использован в ядерном терроризме. Этой задаче отвечает торий-урановый топливный цикл, в котором, в отличие от уран-плутониевого цикла, в активной зоне реактора «сгорает» (делится на осколки) уран-233. Этот изотоп нарабатывается в зоне воспроизводства в результате поглощения быстрых нейтронов ядрами тория-232 по реакции 232Th (n,g) 233Th (b) 233Pa (b) 233U (в уран-плутониевом цикле «сгорает» плутоний-239, образующийся из урана-238).

Уран-233 является делящимся материалом, из которого, в принципе, может быть изготовлен ядерный заряд, но на уровне упрощенных технологий этого сделать нельзя вследствие того, что параллельно с наработкой в реакторе урана-233 с неизбежностью образуются примесные количества урана-232, формирующие мощный фон жесткого *g*-излучения его дочерних продуктов радиоактивного распада.

Торий-урановый цикл может быть реализован в традиционных гетерогенных реакторах типа ВВЭР, но наиболее экономически оправданными в данном случае представляются гомогенные жидкосолевые реакторы (ЖСР). Преимущество ЖСР перед гетерогенными реакторами состоит в том, что солевой расплав, содержащий воспроизводящий материал (торий) и делящийся материал (уран-233) прямо в ходе эксплуатации реактора может полностью освобождаться от газообразных и летучих продуктов, нарабатываемых при делении ядер, что делает его значительно менее опасным в кризисных ситуациях при разрушении активной зоны.

В отличие от гетерогенных реакторов жидкосолевые реакторы существуют лишь в проектах, хотя в 60-х годах прошлого века в Окридже был построен прототип ЖСР, показавший хорошие характеристики рабочих параметров и управляемости. Невысокая радиационная и химическая стойкость используемых материалов являлась существенным недостатком этого реактора. В настоящее время ЖСР относят к перспективным реакторам 4-го поколения. В России в рамках Программы развития атомной энергетики освоение торий-уранового цикла переносят на дальнюю перспективу, на время после освоения уран-плутониевых гетерогенных реакторов на быстрых нейтронах, причем уран-ториевые ЖСР используются как дожигатели актинидов. В связи с истощением запасов углеводородов можно ожидать ускорения развития атомной энергетики, и, если последняя будет базироваться на традиционном уран-плутониевом цикле, то синхронно будет нарастать опасность ядерного терроризма. Мы считаем, что торий-урановый цикл, в котором практически не нарабатывается плутоний и для которого исключается катастрофический выброс радиоактивных продуктов на большие расстояния, нужно начинать осваивать уже сейчас и именно на базе жидкосолевых реакторов.

Уже сейчас очевидно, что торий-урановый цикл в ЖСР-исполнении может нуждаться в применении современных нанотехнологий, по меньшей мере, в трех аспектах. Первый из них относится к проблеме устойчивости графитовой кладки реактора, играющей роль замедлителя и отражателя нейтронов. В ходе длительной непрерывной эксплуатации кладка подвергается механическому (расплав интенсивно перемешивается), химическому и радиационному воздействию со стороны расплава фторидных солей щелочных и щелочноземельных металлов с добавлением фторидов тория, урана и осколочных элементов при температурах 500–800 °С. Это воздействие приводит к развитию трещиноватости и распуханию графита и, в конечном счете, к необходимости остановки реактора и замене кладки. Согласно предварительным данным, процесс деградации графита резко замедляется при введении в него малых добавок фуллеренов или нанотрубок. Причиной подобного эффекта может служить участие фуллеренов, а также нанотрубок и их фрагментов, в прерывании процесса трещинообразования и даже в залечивании микротрещин. Для выяснения эффекта добавления таких наноструктур требуется постановка расчетных и экспериментальных материаловедческих исследований с вариацией широкого спектра параметров (содержание и тип наноструктур в графите, время воздействия расплава, температура и ее резкие колебания, воздействие некоторых химически высокоактивных элементов и т. д.). Оптимизация этих параметров позволит значительно увеличить время рабочей фазы ЖСР и, соответственно, эффективность эксплуатации реактора, а также существенно сократить объем твердых радиоактивных отходов (графита).

Второй аспект — сорбционное улавливание фуллеренами основных газообразных и летучих продуктов деления. Основными из них являются сильнейшие нейтронные яды (ксенон и криптон) и предельно опасные для здоровья человека йод и тритий. При работе ЖСР эти продукты выносятся потоком гелия, который непрерывно промывает солевой расплав, и затем, после предварительного охлаждения, идет на картридж с сорбентом. В качестве сорбента благородных газов и трития обычно используется активированный уголь. После десорбции с угля благородные газы перемораживаются в метал-

лические баллоны, а тритий окисляется в воду. Данные последних лет показали, что фуллерены обладают уникальной сорбционной способностью по отношению к водороду. Это обстоятельство является исключительно важным для улавливания трития, поскольку может серьезно улучшить и упростить технологию этого процесса, а также последующего хранения трития. Необходимо также изучить сорбцию благородных газов и других летучих компонентов в условиях эксплуатации ЖСР и рассмотреть обращение с полученными продуктами. Таким образом, нанотехнологии могут внести существенный вклад в дело реализации торий-уранового топливного цикла в ЖСР-исполнении.

Третий аспект — упрочнение с помощью наноматериалов стенок емкости для хранения солевой композиции после использования. Этот аспект замыкает цикл и создает надежную изоляцию высокоактивной солевой композиции на сотни лет.

В течение последних лет были выполнены следующие работы.

Построена уникальная установка по производству фуллеренсодержащей сажи. Установка производит объемное испарение порошкообразного графита в низкотемпературной плазме. В зависимости от условий эксплуатации в одной и той же установке можно получать фуллеренсодержащую сажу или нанотрубки. Установка использует мощный импульсный источник питания, позволяющий получить короткие импульсы с переменной скважностью с амплитудой тока более 1000 А.

Под руководством доктора технических наук профессора В. П. Будтова разработана и опробована высокоэффективная технология экстракции фуллеренов из сажи.

Проведены исследования полученных фуллеренсодержащей сажи с помощью электронного микроскопа с целью выявления графитовых структур являющихся устойчивыми осколками тяжелых фуллеренов.

Выполнены работы по созданию и исследованию новых материалов, полученных с использованием фуллеренсодержащей сажи, фуллеренов и нанотрубок. В результате были получены следующие результаты.

В содружестве с лабораторией кафедры Военно-морской академии разработан метод насыщения фуллеренами графитовых материалов различного назначения. В частности, были изготовлены по этой технологии и испытаны щетки для электродвигателей. В протоколе испытаний отмечено, что щетки при работе не искрят, имеют вдвое меньшее сопротивление и в 10 раз более длительный срок службы.

В содружестве с ГУАП под научным руководством доктора технических наук профессора М. Б. Игнатьева разрабатывается программная система моделирования физико-химических свойств различных наноструктур и композитных материалов, созданных на их основе (на базе классических методов линейной комбинации атомных орбиталей и лингво-комбинаторного моделирования), с возможностью визуализации процесса и результатов моделирования.

Под научным руководством ведущего специалиста по теории разрушения материалов Дж. Киялбаева создана и совершенствуется программная система расчета прочностных свойств конструктивных элементов, созданных из новых, модифицированных наноструктурами материалов, в условиях их эксплуатации при высоких радиационных и высокотемпературных нагрузках.

Через три года будут разработаны новые материалы на основе нанотехнологий, использование которых позволит:

значительно повысить радиационную, механическую, температурную и химическую стойкость реакторного графита, что в несколько раз увеличит срок непрерывной работы реакторной установки на основе расплава фторидов;

получить при использовании наноматериалов эффективные сорбенты для поглощения газообразных и летучих продуктов деления (таких как тритий, благородные газы и т. д.) и существенно улучшить технологии обращения с этими веществами;

значительно улучшить прочность материалов для захоронения высокоактивных радиоактивных отходов, что в несколько раз увеличит сроки их надежного захоронения.

Технология виртуальных миров позволяет наглядно представить эти процессы.

В. Н. Козлов, Х. Д. Нгуен, А. Н. Фирсов

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕСНАБЖЕНИЕМ

Рассматривается гидравлическая сеть (ГС), схема которой приведена на рисунке. Представление гидравлической сети с помощью графа, состоящего из m узлов, n ветвей и c линейно-независимых контуров [1]. Узлы нумеруются индексом i, а ветви сети индексом j.

Структура (топология) ГС описывается матрицей инциденций $\overline{A} = \left(a_{ij}\right)_{i,j=1}^{i=m,j=n}$ размера $\left(m \times n\right)$:

$$\overline{A}_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ если поток по ветви } j \\ \quad \text{не имеет связь с узлом } i; \\ 1, \text{ если поток по } j\text{-й ветви,} \\ \quad \text{примыкающей к } i\text{-у узлу,} \\ \quad \text{направлен в положительном} \\ \quad \text{направлении;} \\ -1, \text{ если поток направлен} \\ \quad \text{в отрицательном направлении.} \end{cases} \tag{1}$$

Каждый столбец матрицы $\overline{A}$ имеет только два ненулевых элемента, равных 1 или - 1, поэтому сумма всех ее строк представляет собой нулевую строку, что означает их линейную зависимость. Таким образом, ранг матрицы $\overline{A}$ равен $\left(m-1\right)$. В силу этого свойства матрицы $\overline{A}$ может использоваться неполная матрица соединений A размера $\left(\left(m-1\right)\times n\right)$ для описания структуры гидравлической сети.

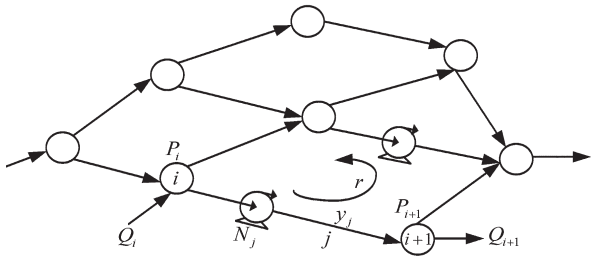


Рис. Схема гидравлической сети
(N_j — насос создаетдействующий напор или активное давление; r — r-й контур)

Система линейно-независимых контуров ГС описывается с помощью матрицы B размера $\left(c \times n\right)$:

$$B_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ если } j\text{-я ветвь не принадлежит} \\ \quad r\text{-у контуру;} \\ 1, \text{ если } j\text{-я ветвь не принадлежит} \\ \quad r\text{-у контуру и принятое} \\ \quad \text{положительное направление} \\ \quad \text{потока по ней совпадает} \\ \quad \text{с направлением обхода контура;} \\ -1, \text{ если } j\text{-я ветвь не принадлежит} \\ \quad r\text{-у контуру и ее направление} \\ \quad \text{совпадает с направлением} \\ \quad \text{обхода контура.} \end{cases} \tag{2}$$

Узлы гидравлической сети являются источниками, потребителями или точками ветвления. Пусть Q_i — расход жидкости источников или потребителей и P_i — давление в i-м узле, причем:

$$Q_i = \begin{cases} > 0, \text{ для источников;} \\ < 0, \text{ для потребителей;} \\ = 0, \text{ для узлов ветвлений.} \end{cases} \tag{3}$$

Матрица A используется для формирования уравнений баланса конечных приращений расходов, а матрица B — для баланса конечных приращений (перепадов) давления. Для разработки

математической модели гидродинамики течения жидкости исходная ГС разделяется на элементарные линейные участки трубопроводов, и записывается система уравнений динамики жидкости для каждого линейного участка. При этом пренебрегают потерями в точках соединений между элементами ГС (между отдельными трубами или между трубой и насосом). Тогда можно рассматривать давления и расходы на выходе одного элемента в качестве входных давлений и расходов для следующих элементов. В точках соединения трех или более труб на входах и выходах элементов должен выполняться закон сохранения массы. На практике, при исследовании гидродинамики в системе трубопроводов, как правило, применяется одномерный способ описания процессов перекачки жидкости. При этом предполагается, что труба имеет форму круглого цилиндра и постоянную по длине толщину стенок. Стенки трубы считаются упругими, а течение в трубе предполагается осесимметричным. Сдвиговая вязкость жидкости считается постоянной, при этом объемная вязкость жидкости не учитывается. Кроме того, при перекачке жидкости по системе трубопроводов скорость движения жидкости можно считать малой в сравнении со скоростью звука в жидкости. Система уравнений описывает динамику течения жидкости в j-й трубе в координатах «расход-давление» следующим образом [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial x_j}{\partial z} + \dfrac{S_j}{c^2}\dfrac{\partial p_j}{\partial t} = 0, \\ \dfrac{\partial p_j}{\partial z} + \dfrac{1}{S_j}\left(\dfrac{\partial x_j}{\partial t} + 2a_j x_j\right) = 0, \end{cases} \tag{4}$$

где: $p_j(z,t)$ — давление жидкости в j-й трубе; $x_j(z,t) = \rho S_j w_j$ — массовой расход в j-й трубе. Величину $2a_j = \lambda_j |w_j| / 2d_j$ называется коэффициентом затухания j-й трубы; w_j — скорость жидкости в j-й трубе; S_j — площадь сечения j-й трубы; d_j — диаметр j-й трубы; λ_j — коэффициент потери давления на трения j-й трубы; c — скорость распространения звука в жидкости; z — координата по длине трубы.

Система уравнения (4) содержит элемент $2a_j x_j$, который является нелинейным в отношении расхода x_j, что существенно затрудняет решение. В практике используются способы линеаризации, представляющие нелинейные элементы в следующем виде:

$$2a_j x_j = \frac{\lambda_j |w_j|}{2d_j} x_j = b_j x_j, \tag{5}$$

где $b_j = \left(\dfrac{\lambda_j |w_j|}{2d_j}\right)_{cp} = \text{const} > 0$. При ламинарном режиме течения жидкости в круглых трубах коэффициент потери давления на трение $\lambda_j = 64/\text{Re}$, где $\text{Re} = \rho |w_j| d_j / \mu$ — число Рейнольдса. Тогда

$$2a_j = \frac{\lambda_j |w_j|}{2d_j} = \frac{64}{\dfrac{\rho |w_j| d_j}{\mu}} \frac{|w_j|}{2d_j} = \frac{32\mu}{\rho d_j^2} = b_j = \text{const}, \tag{6}$$

где μ — динамическая вязкость жидкости.

Большинство магистральных трубопроводов содержат длиные трубопроводы в десятки или сотни километров, и в отдельных пунктах трассы имеются промежуточные насосные станции для создания дополнительного давления или активного давления жидкостей в трубопроводах. Математическая модель представляется системой уравнений (4), которая соответствует линейному трубопроводу и не учитывает наличие промежуточных насосных станций. Если исходить из системы уравнений (4), то влияния насосных станций должны быть учтены при составлении граничных условий, которые увеличивают размер гидравлической сети и затрудняют их решения. В работах [3, 4] предлагалась методика, позволяющая учесть влияние промежуточных насосных станций в дифференциальных уравнениях. При этом сложная трубопроводная система со многими промежуточными насосными станциями рассматривалась как единая линейная трубопроводная система. В общем уравнении учитывалось влияние этих промежуточных станций. Рассмотрим движение жидкости в j-м трубопроводе при наличии насосной станции, создающей активное давление H_j в промежуточной точке z_j трубы. Тогда система уравнений (4) запишется в виде [3]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial x_j}{\partial z} + \dfrac{S_j}{c^2}\dfrac{\partial p_j}{\partial t} = 0, \\ \dfrac{\partial p_j}{\partial z} - H_j \delta\left(z - z_j\right) + \dfrac{1}{S_j}\left(\dfrac{\partial x_j}{\partial t} + 2a_j x_j\right) = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где $\delta\left(z - z_j\right)$ — дельта функция Дирака, $\delta\left(z - z_j\right) = 0$, при $z \neq z_j$; $\delta\left(z - z_j\right) = \infty$, при $z = z_j$. В стационарном режиме течения жидкости, расходы и давления не зависят от времени, т. е.

$$\frac{\partial p_j}{\partial t} = 0, \ \frac{\partial x_j}{\partial t} = 0. \quad (8)$$

Из уравнения (4) следует $\partial x_j / \partial z = 0$. Из уравнений (8) и интегрирования второго уравнения (7) по z следует:

$$p_{i+1} - p_i - H_j + \frac{b_j x_j \Delta z}{S_j} = 0, \quad (9)$$

где: $\Delta z = z_{i+1} - z_i = l_j$ — расстояния от узла ($i + 1$)-го до *i-го* узлов; l_j — длина *j*-й трубы. Перепишем (9) в виде:

$$y_j + H_j = R_j x_j, \quad (10)$$

где $y_j = p_i - p_{i+1}$ — перепад давления на концах *j*-й трубы; $R_j = b_j l_j / S_j = \lambda_j l_j \left|w_j\right| / 2d_j S_j$ — коэффициент гидравлического сопротивления *j*-й трубы, при ламинарном режиме течения $R_j = b_j l_j / S_j = 32\mu l_j / \rho S_j d_j^2$.

Уравнение (10) иллюстрирует закон гидравлического сопротивления, связывающий общую потерю $R_j x_j$ давления на трение, перепад давления y_j на концах трубы и действующий напор H_j. Перепишем уравнение (10) в матричном виде:

$$y + H = Rx, \quad (11)$$

где: $y = \left(y_1 \quad y_2 \quad \ldots \quad y_n\right)^T$ — вектор перепада давления на ветвях; $H = \left(H_1 \quad H_2 \quad \ldots \quad H_n\right)^T$ — вектор действующих напоров на ветвях. Для пассивных ветвей $H_j = 0$; $R = diag\left(R_1, R_2, \ldots, R_n\right)$ — матрица $\left(n \times n\right)$ гидравлического сопротивления сети; $x = \left(x_1 \quad x_2 \quad \ldots \quad x_n\right)^T$ — вектор расхода на ветвях.

Из определения матрицы $\bar{A}$ вектор перепада давления y на ветвях определяется равенством:

$$y = \bar{A}^T \bar{P}, \quad (12)$$

где $\bar{P} = \left(P_1 \quad P_2 \quad \ldots \quad P_m\right)^T$ — вектор давления в узлах.

Для любого замкнутого контура гидравлической сети из определения перепада давления $y_j = p_i - p_{i+1}$, откуда следует, что сумма перепадов давлений в любом замкнутом контуре равна нулю, т. е.

$$\sum_{j \in K_r} y_j = 0, \quad (13)$$

где K_r — множество ветви принадлежат в *r*-му контуру. В матричном виде соотношение (13) имеет следующий вид:

$$By = 0. \quad (14)$$

Соотношение (14) представляет собой, по существу, второй закон Кирхгофа для давлений в узлах сети [1]. В каждом узле сети должны быть выполнены условия неразрывности для несжимаемой жидкости: количество жидкости, втекающее в узел *i*, равно количеству жидкости, вытекающего из этого узла:

$$\sum_{j \in D_i} x_j = Q_i, \quad (15)$$

где D_i — множество ветвей *j*, которые имеют один конец в *i*-м узле. В матричном виде соотношение (15) имеет следующий вид:

$$Ax = Q, \quad (16)$$

где $Q = \left(Q_1 \quad Q_2 \quad \ldots \quad Q_m\right)^T$ — вектор расхода в узлах.

Соотношение (16) представляет собой первый закон Кирхгофа *для расходов на ветвях сети*. Кроме того, по всем узлам, должен быть выполнен закон сохранения массы жидкости, т. е. должно быть выполнено соотношение:

$$\sum_{i=\overline{1,m}} Q_i = 0. \quad (17)$$

Из уравнений (11), (12), (14), (16) и (17) следует система уравнений, описывающая стацио-

нарное состояние распределения массовых расходов и давления в гидравлической сети, т. е. уравнения справедливы для установившихся состояний:

$$Ax = Q\,,\ By = 0\,,\ y + H = Rx\,,$$

$$y = \overline{A}^T \overline{P}\,,\ \sum_{i=\overline{1,m}} Q_i = 0\,. \qquad (18)$$

Первое и второе уравнения системы (18) представляют собой первый и второй закон Кирхгофа для расходов в ветвях и давлений в узлах. Закон гидравлического сопротивления в общеем случае является нелинейной функцией расходов, поэтому система (18) является нелинейной алгебраической системой.

Использование модели (18) позволяет сформулировать задачу приближенного вычисления распределения расходов и давления в гидравлической сети, если заданы вектор Q, вектор действующего напора H и давления в опорном узле (например P_m) и закон гидравлического сопротивления. Для системы с сосредоточенными параметрами величины R_j, действующие напоры H_j и узловые расходы Q_i, считаются постоянными. В общем случае гидравлическая сеть является системой с ограниченными координатами, когда при управлении требуется учесть наличие регулирующих устройств (регуляторов расхода, давления, дросселирующих устройств), изменения характеристик транспортируемой среды и прочие факторы. Тогда $R_j(x_j)$, $H_j(x_j)$, $Q_i(P_i)$ являются функциями неизвестных расходов x_j и давления P_i в узлах, которые усложняют задачу.

На основе рассмотренной модели можно сформулировать задачу оптимального управления гидравлической сетью, обеспечивающего функциональность сети с минимальными затратами. Такие задачи имеют следующий вид.

Задача 1. Вычислить вектор управлений как давлений H, создаваемых насосами, чтобы обеспечить заданные расходы Q потребителей в узлах с минимальными затратами (энергиями) в насосных станциях при ограничении давления в узлах (чтобы минимизировать целевую функцию затрат):

$$F_1(H) = c^T |H| = c_1|H_1| + c_2|H_2| + \ldots + c_n|H_n|, \qquad (19)$$

при ограничениях $\overline{P}_{\min} \le \overline{P} \le \overline{P}_{\max}$, где $c_j, j = \overline{1,n}$ — удельные стоимости энергии, вырабатываемой насосом H_j; $\overline{P}, \overline{P}_{\min}, \overline{P}_{\max} \in \mathbb{R}^m$.

Задача 2. Вычислить вектор управления H для перехода от одного стационарного состояния к новому стационарному состоянию ГС с минимальным отклонением давления в узлах от заданных с помощью минимизации целевой функции:

$$F_2(P) = d^T \left|\overline{P} - \overline{P}^*\right| =$$

$$= d_1\left|P_1 - P_1^*\right| + d_2\left|P_2 - P_2^*\right| + \ldots + d_m\left|P_m - P_m^*\right|, \qquad (20)$$

где d_i, $i = \overline{1,m}$ — удельные затраты по отклонению давления в i-м узле.

Целевая функция может иметь вид

$$F_2'(P) = \left\|\overline{P} - \overline{P}^*\right\|^2 = \sum_i^m \left(P_i - P_i^*\right)^2, \qquad (21)$$

где $\|z\| = \left(\sum_{i=1}^m z_i^2\right)^{1/2}$ — евклидовая норма при ограничениях, приведенных выше.

Если, кроме минимизации отклонений давлений в узлах, минимизируется энергия в насосных станциях, то целевая функция имеет вид

$$F_3(H) = c^T |H| + d^T \left|\overline{P} - \overline{P}^*\right| =$$

$$= c_1|H_1| + \ldots + c_n|H_n| + d_1\left|P_1 - P_1^*\right| + \ldots +$$

$$+ d_m\left|P_m - P_m^*\right|. \qquad (22)$$

Задача 3. Вычислить вектор управления $\overline{P}$ для оптимизации возможной подачи жидкостей заданному подмножеству потребителей при удовлетворении расходов в остальных потребителей, т. е. максимизировать целевую функцию затрат:

$$F_3(Q) = \sum_{i \in I^*} Q_i\,, \qquad (23)$$

где I^* — подмножество номера узлов-потребителей.

При ламинарном режиме течения жидкости в круглых трубах, когда матрица R в уравнении (11) постоянна, сформулированные задачи оптимизации являются задачами кусочно-линейного программирования, и могут быть сведены к задаче линейного программирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меренков А.П. Теория гидравлических цепей / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. — М.: Наука, 1985. — 277 с.

2. Басниев К. С. Нефтегазовая гидродинамика / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Г. Д. Розенберг. — Москва; Ижевск, 2005. — 544 с.

3. Гусейнзаде М. А. Неустановившееся движение нефти и газа в магистральных трубопроводах / М. А. Гусейнзаде, В. А. Юфин. — М.: Недра, 1983. — 232 с.

4. Гусейнзаде М. А. Методы расчета неустановившегося движения нефтепродуктов и нефти в магистральных трубопроводах с промежуточными насосными станциями / М. А. Гусейнзаде, В. А. Юфин. — М.: Недра, 1973.

5. Козлов В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений / В. Н. Козлов. — М., 2010. — 173 с.

6. Козлов В. Н. Управления энергетическими системами / В. Н. Козлов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 492 с.

7. Козлов В. Н. Управления энергетическими системами. Электромеханические процессы / В. Н. Козлов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2000. — 166 с.

В. Н. Козлов

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ И ПЕРЕТОКАМИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Обеспечение энергетической безопасности (ЭБ) требует определения источников безопасности и управления для их ликвидации средствами АСДУ. Рассмотрены источники угроз ЭБ и средства ее обеспечения на основе систем ограничения перетоков (СОП) по линиям электропередач (ЛЭП) и систем автоматического управления частотой и активной мощностью (САУ ЧМ). Разработаны математические модели, методы синтеза СОП и САУ ЧМ и их устойчивость в предаварийных режимах.

Источники угроз и средства обеспечения энергетической безопасности. Источники угроз ЭБ для ЭЭО и средства ее обеспечения с помощью СОП и САУ ЧМ можно определить следующим образом.

«Дефицит генерирующих ресурсов активной мощности для управления» и возникающие отклонения частоты при внеплановых нагрузках является угрозой ЭБ, приводящий к предаварийным режимам. Эта проблема является частью проблемы ЭБ в связи с линейным ростом энергоресурсов до 2050 г. по прогнозу Международного энергетического агентства и Департамента энергетики США [6]. Сохранение устойчивости параллельной работы ЭЭО требует введения САУ ЧМ, которая должна поддерживать отклонения частоты не более 0,1 Гц и подавление 70 % амплитуды колебаний перетоков активной мощности с периодом не более 2 минут [18, 20].

«Дефициты передающих ресурсов линий (пропускных способ-ностей)», приводящие к перегрузкам линий, ликвидируемых перерас-пределением генерируемых активных мощностей станций с достаточными регулировочными диапазонами и передающие ресурсы линий [11–13].

«Некорректное управление и неадекватная идентификация моделей ЭЭО», неадекватности структур СОП и САУ ЧМ. При этом достаточная адекватность, конструктивность и корректность моделей электромеханических процессов (ЭМП) может обеспечивать корректное управление ЭЭО. Корректность управлений для СОП и САУ ЧМ объединенных энергосистем (ОЭС) должна также учитывать возможные противоречивые действия двух систем, которые в первых типах систем устранялись специальными блокировками [10]. Это ставит вопрос об организации независимого или совместного синтеза для корректности управления и обеспечения ЭБ на основе прогнозирования генерирующих и передающих ресурсов [11–13].

Таким образом, для синтеза СОП и САУ ЧМ необходимы адекватные, конструктивные и корректные модели ЭМП. *Адекватность моделей* ЭЭО должна обеспечить достаточное соответствие процессов в модели и объекте с учетом генерирующих агрегатов и сети. *Корректность моделей* предполагает согласованность и статическую определимость моделей ЭЭО для совместного или независимого синтеза СОП и САУ ЧМ. *Конструктивность моделей* должна обеспечить возможность качественного синтеза и анализа управлений при высоких размерностях уравнений ЭМП.

«Хаотические режимы, способствующие возникновению каскадных аварий в ЕЭС», могут возникать вследствие особенности электромагнитных процессов ЭЭО, качественно объясняемых билинейностью уравнений Парка — Горева [7]. Эти уравнения имеют общие свойства с уравнениями Лоренца, описывающими динамический

хаос различных типов. Поэтому для обеспечения ЭБ необходима идентификация предаварийных режимов для установления условий возникновения хаотических режимов ЭЭО. Адекватное управление напряжением сети ЭЭО при возникновении хаотических режимов синтеза управлений на основе «дехаотизации» описано в [21].

Таким образом, формулировка *источников безопасности* ЭЭО определяет средства обеспечения ЭБ с помощью СОП и САУ ЧМ, включающие корректность моделей и взаимодействия СОП и САУ ЧМ ОЭС, использующих *генерируемые ресурсы* активной мощности станций и *сетевые ресурсы* ЛЭП. Это создает некоторые гарантии обеспечения устойчивой параллельной работы ЭЭО в предаварийных режимах и условиях рынка энергоресурсов.

Структуры и задачи предаварийного управления частотой и активной мощностью ЭЭО России. Управление частотой и активной мощностью ЭЭО должны обеспечить энергетически безопасное управление режимами ЛЭП, ЭС и ОЭС. При этом ЭБ в части устойчивости параллельной работы ЭС средствами АСДУ требует определения:

структур и методов ограничения перетоков активной мощности по ЛЭП перераспредделением генерируемой активной мощности между ЭС или ОЭС;

структур и методов управления частотой, активной мощностью на основе поддержания баланса активных мощностей по ЭС или ЭЭО в целом.

Классификация СОП по ЛЭП и САУ ЧМ с учетом опыта разработки приведена в табл. 1, где выделены локальные, централизованные и иерархические (в иерархии «ЭС-ОЭС-ЭЭО») системы [3, 6, 12] и независимые или совместные методы синтеза СОП по ЛЭП и САУ ЧМ ОЭС. Определены классы моделей ЭЭО как «модели влияния» генерирующих агрегатов на перетоки по ЛЭП [8, 10–13].

Структуры, модели, цели и методы синтеза системы предаварийного управления частотой и активной мощностью. Структуру СОП по ЛЭП и САУ ЧМ (см. табл. 1) определяют характеристики локальных, централизованных или иерархических технологических подсистем при различной информации о состоянии и моделях ЭЭО, а также независимое или совместное формирование управлений СОП и САУ ЧМ, включая автономность ОЭС в покрытии нагрузки (метод Гранера — Даррье [10, 12] и др.). Отсутствие полной информации о структуре, параметрах и моделях определяет синтез управлений на базе уравнений квазистационарных состояний ЭЭО, из которых следуют *«модели влияния»,* обобщающие *модели потокораспределения* на основе учета ненулевых отклонений частоты.

Таблица 1

Классификация структур систем и целей управления частотой и активной мощностью различных классов систем

Структуры СОП и САУ	Локальные системы ЭЭО	Централизованные системы ЭЭО	Иерархические системы ЭЭО
1. Структуры независимого управления СОП и САУ ЧМ	1.1. Синтезируемые независимо СОП и САУ ЧМ с локальной информацией о моделях и генерирующих и передающих (сетевых) ресурсах ЭЭО	1.2. Синтезируемые независимо СОП и САУ ЧМ с ограниченной централизацией информации о моделях и генерирующих и передающих ресурсах ЭЭО	1.3. Синтезируемые независимо СОП и САУ ЧМ с информацией о моделях и генерирующих и передающих ресурсах для координации ОЭС
2. Структуры совместного управления СОП и САУ ЧМ	2.1. Синтезируемые совместно СОП и САУ ЧМ с локальной информацией о моделях и генерирующих и передающих ресурсах ЭЭО	2.2. Синтезируемые совместно СОП и САУ ЧМ с централизованной информацией о моделях, генерирующих и передающих ресурсах ЭЭО	2.3. Синтезируемые совместно СОП и САУ ЧМ на основе информации о генерирующих и передающих ресурсах для координации ОЭС

Целевые условия (ЦУ) и ограничения для вычисления управлений СОП и САУ ЧМ в предаварийных режимах приведены в табл. 2 [3–6, 10–13].

«Точечные» ЦУ как целевые равенства используются для стабилизации перетоков по ЛЭП, частоты и обменной мощности ОЭС.

«Интервальные» ЦУ являются целевыми неравенствами для перераспределения мощностей станций управлениями СОП и сохранения баланса внеплановой нагрузки и генерации САУ ЧМ.

«Экстремальные ЦУ» определяются функционалами качества.

Введенные ЦУ реализуют технологические требования к режимам: ограничения на перетоки по ЛЭП, обменные мощности ОЭС или активные мощности станций, ЭС или ОЭС. Эти цели и требования формализуются в задачах вычисления управлений, представленных задачами математического программирования (МП) [3, 10–13]. Это определяет методы вычисления управлений СОП и САУ ЧМ на основе последовательности задач МП в реальном времени. Универсальность МП обеспечивает достижение ЦУ для независимого или совместного синтеза СОП и САУ ЧМ. Вычисление управлений методами

МП определяет модели замкнутых САУ, формируемые *операторами математического программирования* (ОМП) [12–14].

Таблица 2

Целевые условия для независимого и совместного синтеза СОП и САУ ЧМ

Целевые условия (ЦУ)	Точечные ЦУ, заданные целевыми равенствами (ЦР)	Интервальные ЦУ, заданные целевыми неравенствами (ЦН)	Экстремальные ЦУ, заданные целевыми функционалами (ЦФ)
1. Целевые условия независимого синтеза СОП	1.1.1. Стабилизация перетоков по ЛЭП на значениях, заданных ЦР	1.2.1. Поддержание перетоков по ЛЭП в допустимых интервалах, заданных ЦН	1.3.1. Минимизация ЦФ от отклонений перетоков по ЛЭП и мощностей ЭС от плановых заданий
2. Целевые условия независимого синтеза САУ частотой и обменной мощностью ОЭС	2.1.1. Стабилизация частоты на значениях, заданных ЦР	2.2.1. Поддержание частоты в интервале, заданных ЦН	2.3.1. Минимизация ЦФ, заданных на отклонениях частоты и мощностей ЭС от плана
	2.1.2. Стабилизация обменной мощности ОЭС на плановых значениях, заданных ЦР	2.2.2. Поддержание обменной мощности ОЭС в интервалах, заданных ЦН	2.3.2. Минимизиция ЦФ при отклонениях обменных мощностей ОЭС и станций от плановых значений
	2.1.3. Совместная стабилизация частоты и обменной мощности, заданных ЦР	2.2.3. Поддержание отклонений частоты и обменной мощности в интервалах, заданных ЦН	2.3.3. Минимизация ЦФ, заданных на отклонениях частоты, обменных мощностей ОЭС и мощностей станций от планов
	2.1.4. Стабилизация частоты со статизмом по обменным мощностям ОЭС (метод Гранера — Даррье)	2.2.4. Поддержание отклонений системных параметров в интервалах, заданных ЦН (метод Гранера — Даррье)	2.3.4. Минимизация ЦФ, заданных на отклонениях системных параметров ОЭС от плана (метод Гранера — Даррье)
3. ЦУ совместных СОП и САР ЧМ	3.1.1. Целевые условия 1.1.1 или 2.1.1–2.1.4	3.2.1. Целевые условия 1.2.1 или 2.2.1–2.2.4	3.3.1. Целевые условия 1.3.1 или 2.3.1–2.3.4

Целевые условия (см. табл. 2) формализуются методами МП. При этом управления для СОП формируются методами МП на основе *«метода коэффициентов влияния»* [8, 10–15], а для САУ ЧМ применяются методы:

«раздельного регулирования частоты и обменной мощности ОЭС»;

«регулирования по частоте со статизмом по обменной мощности ОЭС».

Раздельное регулирование частоты реализовано станциями, например, каскадом волжских ГЭС. Метод Гранера — Даррье [10] обеспечивает локальную энергоавтономность ОЭС, причем компенсация внеплановых нагрузок обеспечивается станциями ОЭС, в которых возникла эта нагрузка.

Первые СОП и САУ ЧМ использовали пропорционально-интегральные законы (ПИ-законы) управления в функции от отклонений частоты и перетоков от заданий, дополненные логикой для обеспечения диспетчерских функций, разработанные ЛПИ им. М. И. Калинина для ОДУ Северо-Запада в 1972 г. [10–12]. Эти методы исследовались для сети ЭЭО типа ЕЭС России (рис. 1), соединяющей генерирующие узлы. В узлах сети генерируется электрическая энергия тепловыми, гидравлическими или атомными станциями. Моделирование соединений узлов выполнено с учетом «эквивалентирования» межсистемных ЛЭП. Эта схема принята исходной для разработки «моделей влияния» и квазистатической оптимизации [10].

Дифференциальные уравнения ЭМП описывают динамику эквивалентных агрегатов (ЭА) и электрическую сеть ЭЭО при постоянном напряжении, а линеаризованные уравнения ЭЭО с генерирующими *эквивалентными турбоагрегатами* (ЭТА) имеют вид [1–5, 8–13, 15, 16]

$$T_{ai}^2 D^2 \varphi_i + T_{yi} D\varphi_i + \sum\nolimits_{g \in Q_i}^{n} \rho_{ig}\left(\varphi_i - \varphi_g\right) = p_{Ti} - \mu_i,$$

$$i = 1,\ldots,n, \qquad (1)$$

$$\left(T_{\Pi i} D + 1\right) p_{Ti} = -k_{\omega i} D\varphi_i + k_{\Pi i}\sigma_{Ti},$$

$$\left(T_{Ci} D + 1\right)\sigma_i = k_{Ci} u_i.$$

Для ЭЭО с генерирующими *эквивалентными гидроагрегатами* (ЭГА) с учетом явления «гидроудара» уравнения представляются в форме [10–13]:

$$T_{ai}^2 D^2 \varphi_i + T_{yi} D\varphi_i + \sum\nolimits_{g \in Q_i} \rho_{ig}\left(\varphi_i - \varphi_g\right) = p_{Ti} - \mu_i,$$

$$i = 1,\ldots,n, \qquad (2)$$

$$\left(0{,}5 g_0 T_{Ti} D + 1\right) p_{Ti} = \left(1 - g_0 T_i D\right)\left(-k_{\omega i} D\varphi_i + k_{\Pi i}\sigma_i\right),$$

$$\left(T_{Ci} D + 1\right)\sigma_i = k_{Ci} u_i.$$

В (1) и (2) обозначено: d/dt — оператор дифференцирования по времени; φ_i и $\varphi_{ig} = \varphi_i - \varphi_j$ — отклонения абсолютных и относительных углов ЭА от исходных значений; p_{Ti}, p_{Ti} — отклонения мощностей ЭТА и ЭГА; μ_i — внеплановые изменения нагрузки i-го ЭА; T_{ai}^2, T_{yi} – постоянные механической инерции и успокоения ротора ЭА; $k_{\Pi i}, k_{Ci}$ и $T_{\Pi i}, T_{Ci}$ – коэффициенты передач и суммарные постоянные времени (паровых объемов и гидравличе-

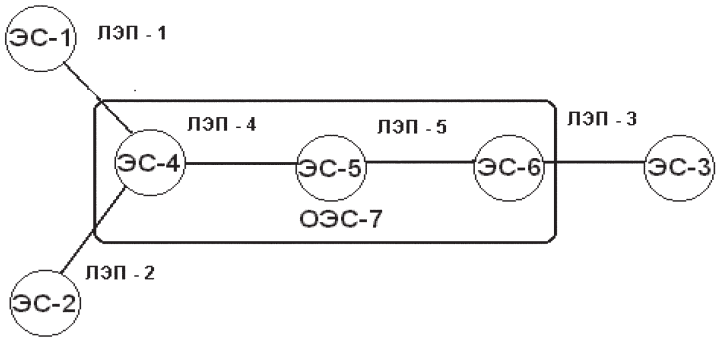


Рис. 1. Обобщенная схема Единой энергетической сети России:
ЭС-1 — ОЭС Северо-Запада, ЭС-2 — ОЭС Юга, ЭС-3 — ОЭС Дальнего Востока, ЭС-4 — ОЭС Центра, ЭС-5 — ОЭС Урала, ЭС-6 –ОЭС Сибири

ских усилителей) и вторичных регуляторов ЭТА; T_{Ti}, g_{0i} – постоянные времени трубопровода и начальные открытия направляющих аппаратов ЭГА; ρ_{ig} синхронизирующие моменты между i-м и g-м ЭА; $k_{\omega i}$ – коэффициенты передач первичных регуляторов скоростей ЭА.

Третье слагаемое в левых частях первых уравнений (1) и (2) — сумма отклонений перетоков по j-м ЛЭП, где $j \in Q_i$ – множество номеров линий, связанных с i-м ЭА, а отклонение перетока по j-й линии равно [10–13]:

$$s_j = \rho_{ig}\varphi_{ig}, \ \varphi_{ig} = \varphi_i - \varphi_g, \ j \in Q_i, \qquad (3)$$

где i, g — номера ЭА, связанных j-й линией; $\rho_{ig} = 0$, если линия отсутствует.

Линейные дифференциальные и квазистационарные уравнения и модели влияния ЭЭО. Уравнения динамики ЭЭО являются основой для создания корректных моделей квазистационарных режимов и «моделей влияния» в предаварийных режимах СОП и САУ ЧМ ЭЭО. Требуется разработать линейные квазистационарные «модели влияния» ЭЭО на основе линейных уравнений ЭМП, и определить корректные квазистационарные уравнения как основу для разработки «моделей влияния» ЭЭО.

Для вычисления управлений СОП и САУ ЧМ в качестве моделей квазистационарных состояний при нулевых отклонениях частоты используются коэффициенты распределения [19]. Ниже даны корректные «модели влияния» для квазистационарных режимов ЭЭО при ненулевых отклонениях частоты. Требования к СОП и САУ ЧМ, информация о «моделях влияния» и координатах ЭЭО, приведенная в табл. 3, характеризуют:

Таблица 3

Проблемы, задачи, модели, информация для синтеза СОП по ЛЭП и САУ частотой и обменной мощностью для АСДУ

Назначение СОП по ЛЭП и САУ ЧМ ОЭС для ЭЭО	Модели и информация для синтеза независимых СОП и САУ ЧМ ОЭС	Модели и информация для синтеза совместных СОП и САУ ЧМ
Проблема 1. Централизованные СОП по ЛЭП уровней ЭС, ОЭС или ЕЭС. Вычисление управлений — методами МП	*Задача 1.1.1.* Модели влияния ЭА на перетоки по внутрисистемным, межсистемным и транзитным ЛЭП и информация о перетоках по ЛЭП уровней ОЭС	*Задачи 1.2.1–2.2.2.* Модели влияния ЭА на перетоки по внутрисистемным, межсистемным и транзитным ЛЭП, частоте и обменным мощностям ОЭС и информация о перетоках по этим ЛЭП, частоте и обменным мощностям уровней ОЭС
Проблема 2. Централизованные САУ ЧМ на уровне ОЭС или ЕЭС. Вычисление управлений — методами МП	*Задача 2.1.1.* Модели влияния ЭА на частоту Задача 2.1.2. Модели влияния ЭА на обменные мощности ОЭС	
Проблема 3. Децентрализованные СОП для ограничения перетоков по ЛЭП уровня ОЭС. Вычисление управлений — методами МП	***Задача 3.1.1.*** Модели влияния ЭА локальных СОП на внутрисистемные перетоки по ЛЭП и перетоки по примыкающим ЛЭП к ОЭС	*Задачи 3.2.1–4.2.1.* Модели влияния ЭА на перетоки и информация о перетоках по ЛЭП, частоте и обменной мощности ЭС
Проблема 4. Децентрализованные САУ ЧМ уровня ОЭС. Вычисление управлений — методами МП	*Задача 4.1.1.* Модели влияния ЭА на частоту и обменные мощности ОЭС для САУ ЧМ ЭЭО и информация о координатах	

Окончание табл. 3

Назначение СОП по ЛЭП и САУ ЧМ ОЭС для ЭЭО	Модели и информация для синтеза независимых СОП и САУ ЧМ ОЭС	Модели и информация для синтеза совместных СОП и САУ ЧМ
Проблема 5. Иерархические СОП по межсистемным и транзитным ЛЭП Вычисление управлений — методами МП	*Задача 5.1.1.* Модели влияния ЭА на перетоки по межсистемным и магистральным ЛЭП, соединяющим ОЭС, и информация о перетоках	*Задача 5.2.1.* Модели влияния ЭА на перетоки по ЛЭП, частоту и обменные мощности ОЭС для САУ ЧМ уровня ЕЭС и информация о координатах
Проблема 6. Иерархические САУ ЧМ уровня ОЭС (или ЕЭС)	*Задача 6.1.1.* Модели влияния ЭА на частоту и обменные мощности ОЭС и информация о частоте и обменной мощности	

качественное и количественное влияние управлений ТЭС или ГЭС на перетоки по ЛЭП для вычисления управлений методами независимого или совместного синтеза СОП и САУ ЧМ методами МП;

матрицы «моделей влияния» управлений ТЭС и ГЭС на отклонения частоты, перетоки и обменные мощности ОЭС.

Корректность моделей для СОП обеспечивается учетом отклонений частоты на основе статически определимых уравнений ЭЭО. С решением этой задачи связан ряд исследований [1–5, 8, 9–13], учитывающих отклонения частоты при анализе режимов энергосистем. Известны квазистационарные уравнения, определяющие из уравнений ЭМП как приближенные «модели влияния» из решений линейных уравнений состояния ЭЭО [10–13]. Корректные «модели влияния» можно определить следующими способами:

преобразованием статически определимых подсистем уравнений динамики ЭМП, понижением их порядка и решением полученных уравнений;

уравнениями ЭМП для астатической САУ частоты, когда уравнения этой замкнутой астатической системы формируются с учетом пропорционально-интегрального закона (ПИ-закона) управления по отклонениям частоты. Корректные «модели влияния по перетокам» используют уравнения ЭМП замкнутой САУ частотой, которым соответствуют статически определимые квазистационарные уравнения. Синтез САУ частотой методами модального управления обеспечивает ее устойчивость [17].

Векторно-матричные «модели влияния» формируются на основе уравнений ЭМП (1) — (3), обобщенных введением матричных параметров ЭЭО:

$$\Phi' = \Omega,\ \ T_a^2\Omega' + T_y\Omega + R_\rho\Phi = P - M,$$

$$T_\Pi P' + P = -K_\omega\Omega + K_\Pi\Sigma,$$

$$T_C\Sigma' + \Sigma = K\ \ U,\ \ \ S = C\Phi, \qquad (4)$$

где $\Phi'(t) = \Omega(t)$, $\Phi''(t) = \Omega'(t)$, причем вектор $\Phi(t) = (\varphi_1,...,\varphi_n)^T$, $\Omega(t) = (\omega_1,...,\omega_n)^T$ — отклонения углов и частот в узлах сети; $P(t) = (p_1,...,p_n)^T$, $\Sigma(t) = (\sigma_1,...,\sigma_n)^T$ $\mathrm{M}(t) = (\mu_1,...,\mu_n)^T$ — векторы отклонений генерируемых мощностей, сигналов регулятора и нагрузок ЭТА. Матричные параметры в (4) и (5.а) размера $(n \times n)$ равны: $T_a^2 = diag\{T_{ai}^2\}$, $T_y = diag\{T_{yi}\}$, $T_\Pi = diag\{T_{\Pi i}\}$, $K_\Pi = diag\{k_{\Pi i}\}$, $K_\Omega = diag\{-|k_{\omega i}|\}$, $T_C = diag\ \{T_{Ci}\}$, $K_C = diag\{k_{Ci}\}$. Уравнения (4) имеют форму Коши:

$$\Phi' = \Omega,\ \ \Omega' = \overline{T}_a\left[-T_y\Omega - R_\rho\Phi + P - \mathrm{M}\right],$$

$$P' = \overline{T}_\Pi\left[-P + K_\Omega\Omega + K_\Pi\Sigma\right],$$

$$\Sigma' = \overline{T}_C\left[-\Sigma + K_C U\right],$$

где $\overline{T}_a \triangleq \left[\overline{T}_a\right]^{-1}$, $\overline{T}_\Pi = \left[T_\Pi\right]^{-1}$, $\overline{T}_C \triangleq \left[T_C\right]^{-1}$, и эквивалентный матричный вид

$$x' = Ax + B_U U + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M},\ \ S = Cx. \qquad (5а)$$

С учетом (4) система (5а) определяет блочно-матричную форму:

$$\begin{bmatrix}\Phi'\\ \Omega'\\ \mathrm{P}'\\ \Sigma'\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{n\times n} & E_{n\times n} & 0_{n\times n} & 0_{n\times n}\\ -\overline{T}_a R_\rho & -\overline{T}_a T_y & \overline{T}_a & 0_{n\times n}\\ 0_{n\times n} & \overline{T}_\Pi K_\Omega & -\overline{T}_\Pi & \overline{T}_\Pi K_\Pi\\ 0_{n\times n} & 0_{n\times n} & 0_{n\times n} & -\overline{T}_C\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\Phi\\ \Omega\\ P\\ \Sigma\end{bmatrix} +$$

$$+\begin{bmatrix}0_{n\times n}\\ 0_{n\times n}\\ 0_{n\times n}\\ \overline{T}_C K_C\end{bmatrix} U + \begin{bmatrix}0_{n\times n}\\ -\overline{T}_a\\ 0_{n\times n}\\ 0_{n\times n}\end{bmatrix}\mathrm{M},$$

$$S = C\Phi, \qquad (5б)$$

где вектор $x = \left(\Phi, \Omega, P, \Sigma\right)^T \in \mathbb{R}^{4n\times 4n}$, а матрицы: $B_U = \left(0,0,0,\overline{T}_C K_C\right)^T$, $B_{\mathrm{M}} = \left(0,-\overline{T}_a,0,0\right)^T$, а матрица $A \in \mathbb{R}^{4n\times 4n}$ определена в (5б). Уравнения

$$S = C\Phi = \left(s_1,\ldots,s_l,\ldots,s_m\right)^T,\ \ s_l = \rho_{ik}\left(\varphi_i - \varphi_k\right), \qquad (6)$$

определяют перетоки по ЛЭП. Параметры $\rho_{ik} = 0$, если i и k ЭС не имеют соединения линией. Матрица $R_\rho \in \mathbb{R}^{n\times n}$:

$$R_\rho = \begin{bmatrix} \sum\limits_{q\in Q_1}\rho_{1q} & -\rho_{12} & \cdots\cdots & -\rho_{1n}\\ -\rho_{21} & \sum\limits_{q\in Q_2}\rho_{2q} & \cdots\cdots & -\rho_{1n}\\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots\\ -\rho_{n1} & -\rho_{n2} & \cdots\cdots & \sum\limits_{q\in Q_n}\rho_{nq}\end{bmatrix} \qquad (7)$$

где Q_i, $i = 1,\ldots,n$, — множество линий, соединяющих i-ю ЭС с другими.

Утверждение 1. Пусть элементы матрицы R_ρ типа (7) удовлетворяют условию: $|\rho_{ij}| = |\rho_{ji}|$. Тогда матрица R_ρ — особенная, т. е. $\det R_\rho = 0$.

Доказательство проводится сложением первого столбца с другими столбцами, приводящим к матрице с нулевым первым столбцом:

$$R_\rho = \begin{bmatrix} 0 & -\rho_{12} & \cdots\cdots & -\rho_{1n}\\ 0 & \sum\limits_{q\in Q_2}\rho_{2q} & \cdots\cdots & -\rho_{1n}\\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots\\ 0 & -\rho_{n2} & \cdots\cdots & \sum\limits_{q\in Q_n}\rho_{nq}\end{bmatrix}, \qquad (8)$$

поэтому применение теоремы Лапласа доказывает утверждение.

Блочную матрицу (5б) можно исследовать с помощью леммы.

Лемма Шура (*об определителе блочной матрицы*). Если $\overline{A} \in \mathbb{R}^{n\times n}$, $\overline{B} \in \mathbb{R}^{n\times m}$, $\overline{C} \in \mathbb{R}^{m\times n}$, $\overline{D} \in \mathbb{R}^{m\times m}$ – такие блоки матрицы, что $\det \overline{A} \neq 0$ или $\det \overline{D} \neq 0$, то справедливо равенство:

$$\det\begin{bmatrix}\overline{A} & \overline{B}\\ \overline{C} & \overline{D}\end{bmatrix} = \det\overline{A}\cdot\det\left(\overline{D} - \overline{C}\,\overline{A}^{-1}\overline{B}\right) = \cdot$$

$$= \det\overline{D}\cdot\det\left(\overline{A} - \overline{B}\,\overline{D}^{-1}\overline{C}\right).$$

Следствие. При условии $C = 0_{n\times n}$ определитель $\det[\cdot] = \det\overline{D}\times\det\overline{A}$.

Утверждение 2. Определитель $A \in \mathbb{R}^{N\times N}$ в (5б) с учетом (7) равен:

$$\det A = \prod_{i=1}^{n} T_{ai}^{-1} T_{\Pi i}^{-1} T_{Ci}^{-1} \times \det R_\rho = 0. \qquad (9)$$

Доказательство утверждения приведено ниже.

Следовательно, уравнения ЭЭО при отсутствии управлений — *статически неопределимые уравнения*, поскольку алгебраические уравнения квазистационарного режима ЭЭО (при условии $x' = 0_N$) определяют необратимый линейный оператор. Из этих уравнений не следуют корректные квазистационарные «модели влияния». Однако, такие модели можно определить.

решением начальной задачи для (5б) по формуле Коши [10].

статически определенными уравнениями САУ частотой, следующими из (5б), исследуемыми в следующем утверждении.

Утверждение 3. Пусть выполнены следующие условия.

1. Вектор управлений $U = u_1 + u$, где $u_1 = K_1\Phi + K_2\Omega$ формируется САУ частотой в ЭЭО в виде пропорционально-интегрального закона (ПИ-закона), где матрицы $K_1 = diag\left(K_{1i}\right)_{i=1}^{n}$, $K_2 = diag\left(K_{2i}\right)_{i=1}^{n} \in \mathbb{R}^{n\times n}$, а u – вектор управлений, синтезируемый СОП по линиям.

2. Матричная форма уравнений замкнутой САУ частотой:

$$x' = \left(A + B_U K\right)x + B_U u + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M} = A_1 x + B_U u + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M}$$

имеет вид:

$$\begin{bmatrix}\Phi'\\ \Omega'\\ \mathrm{P}'\\ \Sigma'\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{n\times n} & E_{n\times n} & 0_{n\times n} & 0_{n\times n}\\ -\overline{T}_a R_\rho & -\overline{T}_a T_y & \overline{T}_a & 0_{n\times n}\\ 0_{n\times n} & \overline{T}_\Pi K_\Omega & -\overline{T}_\Pi & \overline{T}_\Pi K_\Pi\\ \overline{T}_C K_1 & \overline{T}_C K_2 & 0_{n\times n} & -\overline{T}_C \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\Phi\\ \Omega\\ P\\ \Sigma\end{bmatrix} +$$

$$+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0\\ \overline{T}_C K_C\end{bmatrix} u + \begin{bmatrix}0_{n\times n}\\ -\overline{T}_a\\ 0_{n\times n}\\ 0_{n\times n}\end{bmatrix}\mathrm{M},$$

$$S = C_1 x = C\Phi = \left(s_1,\ldots,s_l,\ldots,s_m\right)^T,$$

$$s_l = \rho_{ik}\left(\varphi_i - \varphi_k\right). \qquad (10)$$

3. Система (10), следующая из (5б) и (6), является асимптотически устойчивой, т. е. $\mathrm{Re}\ \lambda_j\left(A_1\right) < 0,\ j = 1,\ldots,N$, с учетом САУ частотой.

Тогда система стационарных уравнений, следующая из (10) при условии $\left[\Phi',\Omega',P',\Sigma'\right] = 0 = 0_{n\times n} \in \mathbb{R}^{n\times n}$, имеет однозначное решение, поскольку определитель матрицы A_1 в (10) отличен от нуля при соответствующем выборе: $K_1 = diag\left(K_{1i}\right)_{i=1}^{n}$, $K_2 = diag\left(K_{2i}\right)_{i=1}^{n} \in \mathbb{R}^{n\times n}$:

$$\det A_1 = d_1 d_2 =$$

$$= \prod_{i=1}^{n} T_{ai}^{-1}\Big[\left(K_{\omega i} + K_{\Pi i} T_{Ci}^{-1}\tilde{K}_{2i}\right)\times$$

$$\times\left(K_{\omega I} + K_{\Pi i} T_{Ci}^{-1}\tilde{K}_{2i}\right)\times\det\left(R_\rho + K_\Pi \overline{T}_C \tilde{K}_1\right)\Big] \neq 0. \quad (11)$$

4. Дифференциальные уравнения замкнутой САУ частотой $x' = A_1 x + B_U u + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M}$, $s = C_1 x$, определяющие квазистационарные алгебраические уравнения $0_N = A_1 x + B_U u + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M}$, определяют вектор перетоков $s = C_1 x = C\Phi = \left(s_1,\ldots,s_m\right)^T$, и квазистационарные «модели влияния»:

$$s = C_1 x = -C_1 A_1^{-1}\left(B_U u + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M}\right), \qquad (12)$$

где «модели влияния» управлений и нагрузок на перетоки имеют следующий вид: $\beta_U = -C_1 A_1^{-1} B_U$, $\beta_M = -C_1 A_1^{-1} B_M$. Доказательство дано ниже.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Введение астатического регулирования частоты обеспечивает *статическую определимость* матрицы замкнутой системы. Из этого следует, что «*модели влияния*» управляющих ЭС на перетоки по ЛЭП могут быть *корректно определены* на основе уравнений замкнутой САУ частотой.

2. В предаварийных режимах для корректного действия СОП по ЛЭП должно обеспечиваться *гарантированное регулирование частоты* для обеспечения качества частоты и для корректного действия СОП по линиям, синтезированной на основе квазистационарных «моделей влияния».

Вычисление квазистационарных оптимальных управлений. Решение задач МП, представленных в табл. 3, иллюстрируются на примере задачи 1.1.1 для СОП, обобщающей результаты [10–13] для дискретного времени $k \in \mathbb{N}$. Требуется вычислить $\Delta p_i\left(k+1\right) = k_i u_{i,k}$ — отклонения мощностей ЭА, связанные с управлениями в (12), при режимных условиях: сохранения нормальных режимов линий (а, б) и учете ограничений на регулировочные диапазоны мощностей станций (в), имеющих следующий вид [10]:

$$а)\ \sum_{i=1}^{n}\beta_{ji}\Delta p_i\left(k+1\right) = \overline{S}_j - S_j\left(k\right),\ j \in N_\Pi\left(k\right);$$

$$б)\ S_q - S_q\left(k\right) \le \sum_{i=1}^{n}\beta_{qi}\Delta p_i\left(k+1\right) \le \overline{S}_q - S_q\left(k\right),$$

$$q \notin N_\Pi\left(k\right);$$

$$в)\ \underline{p}_i - p_i\left(k\right) \le \Delta p_i\left(k+1\right) \le \overline{p}_i - p_i\left(k\right),$$

$$i = 1,2,\ldots,n. \qquad (13а)$$

Требуется минимизировать ЦФ: $J=\sum_{i=1}^{n}\left|\Delta p_i\left(k+1\right)\right|^{v}=\sum_{i=1}^{n}\left|u_i\right|^{v}$, $v=1$ или $v=2$. В системе (13) введены обозначения: $N_{\Pi}\left(k\right)$ – множество перегруженных ЛЭП; β_{ji}, β_{qi} – элементы «матрицы влияния» (12); $\overline{S}$, $\underline{S}$ — векторы верхних и нижних пределов пропускных способностей ЛЭП; $p_i\left(k\right)$ – мощности станций (ЭС) в момент времени $k\in\mathbb{N}$; векторы $S_j\left(k\right)$, $S_q\left(k\right)$ – перетоки по линиям в момент времени $k\in\mathbb{N}$. Группа «*а*» ЦР в (13а) определяет требования к мощностям ЭА для ликвидации перегрузки ЛЭП. Группа ЦН «*б*» задает требования сохранения нормальных режимов неперегруженных ЛЭП, а группа «*в*» учитывает регулировочные диапазоны ЭА. Целевой функционал минимизирует сумму приращений мощностей ЭА в момент времени $\left(k+1\right)$.

Для исследования устойчивости требуется представить решения обобщенных задач типа (13) с помощью операторов математического программирования (ОМП), задающих приближенные аналитические решения задач. Пусть минимизируется обобщенный квадратичный функционал задачи 1.1.1 типа (13) (см. табл. 3) при условии $v=2$. Тогда

$$J=\sum_{j\in N_{\Pi}}\left(S_{j,k+1}-\hat{S}_j\right)^2\sum_{j\notin N_{\Pi}}\left(S_{q,k+1}-\hat{S}_q\right)^2+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}u_{j,k}^2=\|z_k\|^2,$$

$$z_k=\left(S_{j,k+1}\,|\,S_{q,k+1}\,|\,u_k\right)^T,$$

$$u_k=\left(u_{j,k}\right)_{j=1}^{n},\quad S_{k+1}=\left(S_{j,k+1}\right)_{j=1}^{n};\qquad(13.б)$$

$$\hat{S}_{j,k}=\left(\overline{S}_j\right)_{j=1}^{n},\ S_{j,k}>\overline{S}_j;$$

$$\hat{S}_{j,k}=\left(\underline{S}_j\right)_{j=1}^{n},\ S_{j,k}<\underline{S}_j.$$

Ограничения, эквивалентные (13а), на векторы перетоков имеют следующий вид:

а) вектор перетоков по перегруженным линиям: $S_{j,k+1}=S_{j,k}+\beta_j u_k$, $j\in N_{\Pi}$;

б) ограничения на вектор перетоков по неперегруженным линиям, $q\notin N_{\Pi}$:

$$\underline{S}_q\le S_{q,k+1}=S_{q,k}+\beta_q u_k\le\overline{S}_q\Leftrightarrow\ \Delta\underline{S}_{q,k}\triangleq\underline{S}_q-$$

$$-S_{q,k}\le\beta_q u_k\le\overline{S}_q-S_{q,k}\triangleq\Delta\overline{S}_k;$$

в) ограничения на вектор управлений при условии $k_i=1$: $\underline{u}\le u_k\le\overline{u}$.

Для новых переменных ограничения и функционал задачи 1.1.1 примут вид:

$$Mz_k=\begin{pmatrix}E_J & 0 & -\beta_J\\ 0 & E_Q & -\beta_Q\end{pmatrix}\begin{pmatrix}S_{J,k+1}\\ S_{Q,k+1}\\ u_k\end{pmatrix}=$$

$$=s_k=Cx_k\triangleq b_k,$$

$$(13в)$$

$$z_k\triangleq\left(S_{j,k+1}\,|\,S_{q,k+1}\,|\,u_k\right)^T,\underline{z}\le z_k\le\overline{z},$$

$$J=\|z_k\|^2=\left(z_k,z_k\right).$$

Задачи (13а), (13в) имеют вид: на пересечении линейного многообразия и параллелепипеда, аппроксимированного эллипсоидом, вычислить вектор:

$$z_k^{*}=\arg\min\left\{J=\left(z_k-c\right)^T\left(z_k-c\right)|\,z_k\in D,\ D=\right.$$

$$\left.=\left(z_k\,|\,Mz_k=b_k,\ z_k^{T}Qz_k\le r^2\right)\right\}.$$

Параметры эллипсоида однозначно связаны с интервальными ограничениями.

Приближенные решения задач (13в), представленные ОМП, имеют вид [14]:

$$z_k^{*}=z_k^{*}\left(\lambda\right)=$$

$$=\begin{cases}z_k^{*}=\left[P^0\left(c\right)+\lambda P^M b_k\right]/\left(1+\lambda^2\right),\\ \qquad\text{если } z_k^{0*}\notin\operatorname{int}D;\\ z_k^{0*}=P^0\left(c\right),\ \text{если } z_k^{0*}\in\operatorname{int}D,\end{cases}\qquad(14)$$

где минимизирующее $\lambda=\lambda_*\in\mathbb{R}^1$ — одно из решений квадратного уравнения: $\alpha_1\lambda^2+\alpha_2\lambda+\alpha_3=0$,

$$\alpha_1=r^2-b_k^T\left(MM^T\right)^{-1}b_k,$$

$$\alpha_2=-2b_k^T\left(MM^T\right)^{-1}b_k,$$

$$\alpha_3 = r^2 - c^T \tilde{P}^0 c - b_k^T \left(MM^T \right)^{-1} b_k;$$

$$P^0(c) = \left[E - M \left(MM^T \right)^{-1} M \right] c + P^M b_k,$$

$$P^M = M^T \left(MM^T \right)^{-1}.$$

Символ «$\operatorname{int} D$»— это множество, полученное исключением граничных точек из D. Для решения квадратного уравнения выбирается значение, соответствующее минимуму функционала. Значение λ можно определить из дифференциальных условий теоремы Куна — Таккера [14]. Используются интервальные значения параметра $\alpha \in \left[\alpha_{k,\min}, \alpha_{k,\max} \right]$, что соответствует допустимости решения задачи (13в) или его оценки сверху. Из условия вещественности корней квадратного уравнения следует достаточный критерий совместности ограничений задач МП типа (13в) [14]:

$$\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3 > 0\,, \qquad (15)$$

где параметры неравенства определены в (14). Содержательный смысл (15) состоит в возможности анализа условий существования требуемых генерирующих или передающих ресурсов ЭЭО (см. табл. 1) или их прогнозирования, что обобщает результаты, приведенные в [11]. Вектор c в (14) расширяет возможности применения ОМП для приближенных решений комплекса задач для СОП и САУ ЧМ, перечисленных в [10–13].

Достаточные условия асимптотической устойчивости СОП по ЛЭП на основе корректных моделей ЭЭО. Устойчивость исследуется методом функций Ляпунова в следующей постановке. Пусть уравнения ЭЭО в дискретном времени имеют

$$x_{k+1} = Hx_k + Fu_k,\ \ s_k = Cx_k,\ \ x_{k=0} = x^0. \qquad (16)$$

Стабилизирующие управления формируются с использованием ОМП:

$$u_k = \gamma u_k^* = \gamma \Phi\left(Cx_k \right), \qquad (17)$$

где ОМП $\Phi\left(Hx_k \right)$ для задачи (13.в) определяется на основе (14).

Требуется сформулировать ограничения на параметр $\gamma \in \mathbb{R}^1$ вектора управлений (17) для СОП по ЛЭП, гарантирующие устойчивость стационарного состояния замкнутой системы (16) и (17) в области, содержащей это стационарное состояние.

Рассматриваются процессы управления в нормированном пространстве состояний, и исследуется первая разность функций Ляпунова: $V_k = (x^* - x_k)^T P (x^* - x_k)$, где $P = P^T > 0$ — симметрическая положительно определенная матрица. Векторы x_k и x^* — текущие и стационарные состояния, удовлетворяющие (16) и (17), причем стационарные состояний ЭЭО удовлетворяют уравнению $x^* = Hx^* + F\gamma\Phi\left(Cx^* \right)$. Достаточные условия устойчивости локально-оптимальных СОП по ЛЭП даны ниже.

Утверждение 4. Пусть:

1. Уравнения динамики ЭЭО имеют вид (16), где $\|H\| < 1$, что имеет место при условии: $H = exp\ A_1 h,\ \ F = \int_0^h \exp\left(A\tau \right) d\tau$ где h – период квантования по времени, а матрица A_1 типа (10).

2. Множества $D^0 \subset D^l$ – непустые для $k \in \mathbb{N}$, т. е. выполнен достаточный критерий совместности ограничений задач МП.

3. Оператор $\Phi\left(Cx_k \right)$ удовлетворяет условию Липшица в области

$$\Omega\colon \left\| \Phi\left(Cx' \right) - \Phi\left(Cx'' \right) \right\| \le L_\Phi \|C\| \cdot \|x' - x''\|,\ \ x', x'' \in \Omega.$$

Тогда для устойчивости замкнутой СОП с ОМП (15) достаточно, чтобы скалярный параметр γ удовлетворял соотношению

$$2\gamma \| F \| L_\Phi \| P \| \cdot \| H \| \cdot \| C \| +$$

$$+ \gamma^2 \| F \|^2 L_\Phi^2 \| P \| \cdot \| C \|^2 \le -\lambda_{\max}\left(Q_2 \right). \qquad (18)$$

где $\lambda_{\max}\left(Q_2 \right)$ — максимальное собственное число симметричной положительно-определенной матрицы Q_2; $\|A\| = \max\limits_{i=1,\dots,N} \left[\lambda_i \left(A^T A \right) \right]$ — норма матрицы в евклидовом пространстве $\mathbb{R}^N$. Квадратичное неравенство (18) ограничивает параметр $\gamma \in \mathbb{R}^1$ по условию асимптотической устойчивости. Это условие можно использовать для анализа динамики управления нелинейными СОП и САУ ЧМ в малой окрестности стацио-

нарных точек и для оценок областей притяжения стационарных состояний.

Таким образом, системы управления частотой и активной мощностью должны синтезироваться на основе корректных «моделей влияния» энергетических объединений и качественного анализа моделей замкнутых систем управления. При этом методы независимого или совместного синтеза систем управления частотой, обменной мощностью и систем ограничения перетоков активной мощности по линиям электропередач должны учитывать вариантные взаимодействия этих двух и других систем, что необходимо для достижения целей управления в предаварийных режимах и обеспечения энергетической безопасности ЭЭО средствами АСДУ.

Доказательство утверждения 2. На основе леммы Шура:

$$\det A = \det\begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} =$$

$$= \det\begin{bmatrix} 0 & E & | & 0 & 0 \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y & | & \bar{T}_a & 0 \\ 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega & | & -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ 0 & 0 & | & 0 & -\bar{T}_C \end{bmatrix} =$$

$$= \det \bar{D} \times \det\left(\bar{A} - \bar{B}\bar{D}^{-1}\bar{C}\right) =$$

$$= \det\begin{bmatrix} -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ 0_{n\times n} & -\bar{T}_C \end{bmatrix} \times$$

$$\times \det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \bar{T}_a & 0 \end{bmatrix} \times\right.$$

$$\left.\times \begin{bmatrix} -\bar{T}_\Pi K_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\omega \\ 0 & -\bar{T}_C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega \\ 0 & 0 \end{bmatrix}\right) =$$

$$= \det\left[-\bar{T}_\Pi\right] \times \det\left[-\bar{T}_C\right] \times$$

$$\times \det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \times\right.$$

$$\left.\times \begin{bmatrix} 0 & -\bar{T}_\Pi^{-1}\bar{K}_\Pi \quad \omega \\ 0 & 0 \end{bmatrix}\right) =$$

$$= \det\left[-\bar{T}_\Pi\right] \times \det\left[-\bar{T}_C\right] \times$$

$$\times \det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix}\right) =$$

$$= \det\left[-\bar{T}_\Pi\right] \times det\left[-\bar{T}_C\right] \times \det\left[\bar{T}_a R_\rho\right] =$$

$$= \prod_{i=1}^{n} T_{ai}^{-1} T_{\Pi i}^{-1} T_{Ci}^{-1} \times \det R_\rho,$$

где $0 = 0_{n\times n} \in \mathbb{R}^{n\times n}$ – нулевые, $E_{n\times n} \in \mathbb{R}^{n\times n}$ – единичные матрицы. Тогда $\det A = 0$ в силу утверждения 1, а система (5б) — статически неопределима.

Доказательство утверждения 3. Вектор управлений u_1 для (11в) равен:

$$U = B_U\left[u_1 + u\right] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \bar{T}_C K_C \end{bmatrix}\left[Kx + u\right] =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{T}_C K_C K_1 & \bar{T}_C K_C K_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi \\ \Omega \\ P \\ \Sigma \end{bmatrix} + B_U u,$$

причем $\tilde{K}_i = \bar{T}_C K_C K_i$, $i = 1,2,$ – обобщенные параметры обратной связи. Замкнутая система с ПИ-законом САУ частотой описывается уравнением

$$x' = \left(A + B_U K\right)x + B_U u + B_{\mathrm{M}}\mathrm{M},$$

имеющим эквивалентный векторно-матричный вид:

$$\begin{bmatrix} \Phi' \\ \Omega' \\ \mathrm{P}' \\ \Sigma' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & E & 0 & 0 \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y & \bar{T}_a & 0 \\ 0 & \bar{T}_\Pi K_\Omega & -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ 0 & 0 & 0 & -\bar{T}_C \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi \\ \Omega \\ P \\ \Sigma \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \tilde{K}_1 & \tilde{K}_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi \\ \Omega \\ P \\ \Sigma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \bar{T}_c K_C \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{T}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathrm{M} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & E & 0 & 0 \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y & \bar{T}_a & 0 \\ 0 & \bar{T}_\Pi K_\Omega & -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ \tilde{K}_1 & \tilde{K}_2 & 0 & -\bar{T}_И \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi \\ \Omega \\ P \\ \Sigma \end{bmatrix} +$$

$$+\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \bar{T}_C K_C \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{T}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathrm{M} =$$

$$= A_1 x + B_U u + B_{\mathrm{M}} \mathrm{M}, \;\; A_1 \triangleq A + B_U K,$$

где $\tilde{K}_1 = diag\left(\tilde{K}_{1i}\right)_{i=1}^{n}$, $\tilde{K}_2 = diag\left(\tilde{K}_{2i}\right)_{i=1}^{n} \in \mathbb{R}^{n\times n}$ – матрицы параметров обратной связи САУ частотой; $K \in \mathbb{R}^{N\times N}$ – матрица обратной связи по $x \in \mathbb{R}^{N\times N}$.

Анализ статической определимости САУ частотой выполняется вычислением определителя матрицы замкнутой системы A_1 по лемме Шура разделением ее на 4 блока $\bar{A}_1$, $\bar{B}_1$, $\bar{C}_1$, $\bar{D}_1 \in \mathbb{R}^{2n\times 2n}$. Тогда, в силу леммы: $\det A_1 = \det \bar{D}_1 \times \det\left(\bar{A}_1 - \bar{B}_1 \bar{D}_1^{-1} \bar{C}_1\right)$, т. е.

$$\det A_1 = \det \begin{bmatrix} \bar{A}_1 & \bar{B}_1 \\ \bar{C}_1 & \bar{D}_1 \end{bmatrix} =$$

$$= \det \begin{bmatrix} 0 & E & 0 & 0 \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y & \bar{T}_a & 0 \\ 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega & -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ \tilde{K}_1 & \tilde{K}_2 & 0 & -\bar{T}_C \end{bmatrix} =$$

$$= \det \begin{bmatrix} -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ 0 & -\bar{T}_C \end{bmatrix} \times$$

$$\times \det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \bar{T}_a & 0 \end{bmatrix} \times \right.$$

$$\left. \times \begin{bmatrix} -\bar{T}_\Pi & \bar{T}_\Pi K_\Pi \\ 0 & -\bar{T}_И \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega \\ \tilde{K}_1 & \tilde{K}_2 \end{bmatrix} \right),$$

где первый определитель:

$$d_1 = \det\left[-\bar{T}_\Pi\right] \times \det\left[-\bar{T}_C\right],$$

а второй

$$\det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \bar{T}_a & 0 \end{bmatrix} \times \right.$$

$$\left. \times \begin{bmatrix} -T_\Pi & -K_\Pi \bar{T}_C \\ 0 & -T_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega \\ \tilde{K}_1 & \tilde{K}_2 \end{bmatrix} \right) =$$

$$= \det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix} - \right.$$

$$\left. - \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\bar{T}_a \bar{T}_\Pi^{-1} & -\bar{T}_a \bar{T}_C^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & \bar{T}_\Pi K_\omega \\ \tilde{K}_1 & \tilde{K}_2 \end{bmatrix} \right) =$$

$$= \det\left(\begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a R_\rho & -\bar{T}_a T_y \end{bmatrix} - \right.$$

$$\left. - \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\bar{T}_a K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_1 & -\bar{T}_a K_\omega - \bar{T}_a K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_2 \end{bmatrix} \right) =$$

$$= \det \begin{bmatrix} 0 & E \\ -\bar{T}_a\left(R_\rho + K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_1\right) & -\bar{T}_a\left(K_\omega + K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_2\right) \end{bmatrix} =$$

$$= \det\left[-\bar{T}_a\left(K_\omega + K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_2\right)\right] \times$$

$$\times \det\left\{ \left[\bar{T}_a\left(K_\omega + K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_2\right)\right]^{-1} \times \right.$$

$$\left. \times \left[-\bar{T}_a\left(R_\rho + K_\Pi \bar{T}_C \tilde{K}_1\right)\right] \right\} \triangleq d_2.$$

Вычисление $\det A_1 = d_1 \times d_2$ приводит к (17). Определитель $A_1 \in \mathbb{R}^{N\times N}$ вычислен с учетом диагональности числовых матриц.

Доказательство утверждения 4.

1. Вычисляется приращение функции Ляпунова, заданной разностями текущих и стационарных значений векторов:

$$\Delta V_k = V_{k+1} - V_k =$$

$$= \left[H\left(x_k - x^*\right) + \gamma F\left[\Phi\left(Cx_k\right) - \Phi\left(Cx^*\right)\right]\right]^T \times$$

$$\times P\left[H\left(x_k - x^*\right) + \gamma F\left[\Phi\left(Cx_k\right) - \Phi\left(Cx^*\right)\right]\right] -$$

$$-\left(x_k - x^*\right)^T P\left(x_k - x^*\right) =$$

$$= \left(x_k - x^*\right)^T H^T P H\left(x_k - x^*\right) +$$

$$+2\gamma\left[F\left[\Phi\left(Cx_k\right) - \Phi\left(Cx^*\right)\right]\right]^T P\left[H\left(x_k - x^*\right)\right] +$$

$$+\gamma^2\left[F\left[\Phi\left(Cx_k\right)-\Phi\left(Cx^*\right)\right]\right]^T\times$$

$$\times P\left[F\left[\Phi\left(Cx_k\right)-\Phi\left(Cx^*\right)\right]\right]-$$

$$-\left(x_k-x^*\right)^T P\left(x_k-x^*\right)=$$

$$=-\left(x_k-x^*\right)^T\left[Q_1+Q_2\right]\left(x_k-x^*\right),$$

для которой введено требование отрицательной определенности ее приращения двумя квадратичными отрицательно-определенными формами с матрицами: $Q_1=Q_1^T>0,\ Q_2=Q_2^T>0.$

2. Преобразованы приращения функции Ляпунова, введено уравнение Ляпунова с матрицей $Q_1=Q_1^T>0$ и оценены скалярные произведения по неравенству Коши — Буняковского: $\left|(a,b)\right|\le\|a\|\cdot\|b\|$. Тогда

$$\Delta V_k\le\left(x_k-x^*\right)^T\left[H^T PH-P-Q_1)\right]\left(x_k-x^*\right)+$$

$$+2\gamma\left\|F\left[\Phi\left(Cx_k\right)-\Phi\left(Cx^*\right)\right]\right\|\cdot\|P\|\cdot\left\|H\left(x_k-x^*\right)\right\|+$$

$$+\gamma^2\|P\|\cdot\left\|F\left[\Phi\left(Cx_k\right)-\Phi\left(Cx^*\right)\right]\right\|^2=$$

$$=-\left(x_k-x^*\right)^T Q_2\left(x_k-x^*\right),$$

Преобразование можно продолжить с учетом оценок норм образов операторов и условия Липшица. Тогда

$$\left\|\Phi\left(Cx_k\right)-\Phi\left(Cx^*\right)\right\|\le L_\Phi\left\|C\left(x_k-x^*\right)\right\|\le L_\Phi\|C\|\cdot\left\|x_k-x^*\right\|,$$

где L_Φ — постоянная Липшица для ОМП. Уравнение Ляпунова: $H^T PH-P-Q_1=0_{n\times n}$ имеет положительно-определенное решение:

$$P=P^T=\sum_{s=0}^{\infty}\left(H^T\right)^s Q_1 H^s>0,$$

так как $H=\exp\left(A_1 h\right)$ является асимптотически устойчивой (сходящейся) матрицей с учетом асимптотической устойчивости матрицы A_1 в уравнениях САУ ЧМ типа (10).

Тогда

$$\Delta V_k\le 2\gamma\|F\|L_\Phi\|C\|\cdot\|H\|\cdot\|P\|\cdot\|x_k-x^*\|^2+$$

$$+\gamma^2\|F\|^2 L_\Phi^2\|C\|^2\cdot\|P\|\cdot\|x_k-x^*\|^2=$$

$$=-\left(x_k-x^*\right)^T Q_2\left(x_k-x^*\right).$$

Используя далее оценку квадратичной формы на основе неравенства:

$$\left(x_k-x^*\right)^T Q_2\left(x_k-x^*\right)\le\lambda_{\max}\left(Q_2\right)\left\|x_k-x^*\right\|^2,$$

где $\lambda_{\max}\left(Q_2\right)$ — максимальное собственное число матрицы Q_2, можно получить (18).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменкова Н. А. Структурный анализ электроэнергетических систем в задачах моделирования и синтеза / Н. А. Абраменкова, Н. И. Воропай, Т. Б. Заславская. — Новосибирск: Наука, 1990. — 224 с.

2. Андреюк В. А. Методы построения консервативной модели энергосистемы для анализа режимов и устойчивости / В. А. Андреюк, Н. С. Сказываева // Изв. РАН. Энергетика. — 1997. — № 5. С. 107–110.

3. Баринов В. А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления / В. А. Баринов, С. А. Совалов. — М.: Энергоатомиздат, 1990.

4. Бондаренко А. Ф. Регулирование режимов работы энергетического объединения по перетокам мощности и поддержание нормального уровня частоты / А. Ф. Бондаренко, А. Н. Комаров // Электричество. — 1994. — № 5. — С. 1–11.

5. Будовский В. П. Риск дефицита мощности энергосистемы / В. П. Будовский // Электричество. — 2009. — № 8. — С. 17–26.

6. Волков Э. П. Проблемы и перспективы развития электроэнергетики России / Э. П. Волков, В. А. Баринов, А. С. Маневич. — М.: Энергоатомиздат, 2001. — 432 с.

7. Глебов И. А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин / И. А. Глебов. — Л.: Наука, 1985. — 400 с.

8. Заборовский В. С. Характеристика чувствительности энергообъединений к управлению частотой и активной мощностью / В. С. Заборовский, В. Н. Козлов, Х. Сегура // Электричество. — 1986. — № 3.

9. Калюжный А. Х. Исследование установившихся и неустановившихся послеаварийных режимов с учетом динамики частоты / А. Х. Калюжный, Ю. В. Соколов // Изв. СО АН СССР. Серия техн. Наук. — 1978. — № 13. — Вып. 3.

10. Козлов В. Н. Синтез и исследование алгоритмов оптимизации адаптивной системы автоматического ограничения перетоков активной мощности по линиям электропередач энергообъединений: дис. канд. техн. наук. — Л.: ЛПИ им. М. И. Калинина, 1975. — 16 с.

11. Козлов В. Н. Математические модели совместного ресурсного обеспечения и управления системы ограничения перетоков активной мощности энергообъединений / В. Н. Козлов // Изв. РАН. Энергетика. — 2006. — № 5. — С. 57–62

12. Козлов В. Н. Управление энергетическими системами / В. Н. Козлов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 398 с.

13. Козлов В. Н. Управление энергетическими системами в предаварийных режимах / В. Н. Козлов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 410 с.

14. Козлов В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений / В. Н. Козлов. — М.: Проспект, 2010. — 173 с.

15. Козлов В. Н. Синтез управлений частотой и активной мощностью энергообъединений / В. Н. Козлов // Изв. вузов СССР. Энергетика. — 1987. — № 1. — С. 43–46.

16. Козлов В. Н. Математическая модель асимптотического движения сложных энергообъединений / В. Н. Козлов, Р. П. Строганов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1980. — № 5. — С. 38–46.

17. Козлов В. Н. Управление энергетическими системами. Теория автоматического управления / В. Н. Козлов, В. Е. Куприянов, В. Н. Шашихин. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003. — 256 с.

18. Концепция регулирования частоты и перетоков в энергообъединении стран СНГ и Балтии. Утверждена решением Электроэнергетического совета СНГ от 27 октября 2005 г. N 28.

19. Маркович Л. М. Режимы энергетических систем / Л. М. Маркович. — М.: Энергия, 1970. — 430 с.

20. Стандарт ОАО РАО «ЕЭС России» СТО 17330382.29.240.001–2005 Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем.

21. Козлов В. Н. Математические модели хаотической динамики управления электромагнитными процессами электроэнергетических объединений / В. Н. Козлов, И. У. Тросько // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. Сер. «Наука и образование». — № 2 (123). — 2011. — С. 35–43.

В. Н. Козлов, И. У. Тросько

УСТОЙЧИВЫЕ РЕЖИМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Данная работа представляет собой обзор работ по хаотическим режимам в системах различного рода. Под хаотическими режимами нами будут пониматься процессы внешней или внутренней синхронизации, многочастотных колебаний, наконец, собственно хаотических колебаний. Ненужный балласт минимален, и вот тут проявляется ряд особенностей.

1. Описания систем всегда являются нелинейными.

2. В линейном приближении они слабо демпфированы (а зачастую даже наблюдается отрицательное демпфирование — за счет особенностей моделируемого явления / процесса или наличия системы управления).

3. В этих системах наблюдается некоторая расплывчатость описания, в том смысле, что некоторые элементы относятся к параметрам системы, а некоторые — к фазовым координатам, но это деление условно и неоднозначно.

Известно, что с уменьшением запасов устойчивости системы, т. е. с уменьшением «способности системы сохранять текущее состояние при наличии внешних возмущений», улучшается ее управляемость (т. е. «возможность перевода системы из одного состояния в другое», причем с минимальными затратами). Однако при этом снижаются ее эксплуатационные качества — проявляется склонность к параметрической неустойчивости, увеличивается «чуткость» к внешним факторам (причем катастрофически, поскольку из одного начального положения возможно управляемое движение, а из другого — нет). Отсюда возникают ограничения на условия применения, запрещенные режимы и прочие эксплуатационные особенности, которые необходимо учитывать при работе с такими системами. Незнание о существовании таких режимов опасно катастрофическими последствиями.

Известные в настоящее время сценарии перехода к хаотическим режимам. Установление в динамической системе хаотического режима движения в результате некоторой последовательности бифуркаций принято называть сценарием установления развития хаоса. Количественные аспекты сценариев перехода к хаосу через квазипериодическое движение можно изучать в рамках ренормализационного анализа, переходя от системы дифференциальных уравнений к дискретному отображению. Однако, после нескольких десятилетий развития нелинейной динамики, были найдены всего три основных сценария перехода к хаосу. Причем все они имеют универсальный характер и распространены как для систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, так и уравнениями в частных производных и даже дискретными соотношениями, описывающими динамику систем.

В типичном случае это может происходить путем последовательности бифуркаций удвоения периода предельного цикла, через перемежаемость или разрушение тора (рис. 1).

Перемежаемость, или хаос Помо-Манневиля (1979 г.). Широко распространен механизм возникновения хаотических колебаний (в основе которого лежит сценарий И. Помо и П. Манневиля), связанный с переходом к хаотическому движению через перемежаемость (рис. 2). При таком движении всплески хаотического движения чередуются (перемежаются) с участками, на которых происходят почти периодические колебания.

В таких системах существует критический параметр μ_c, причем при $\mu < \mu_c$, существуют две неподвижные точки, одна из которых устойчива, а другая нет. При $\mu = \mu_c$ эти точки сливаются в одну, а при $\mu > \mu_c$ исчезают. Это соответствует

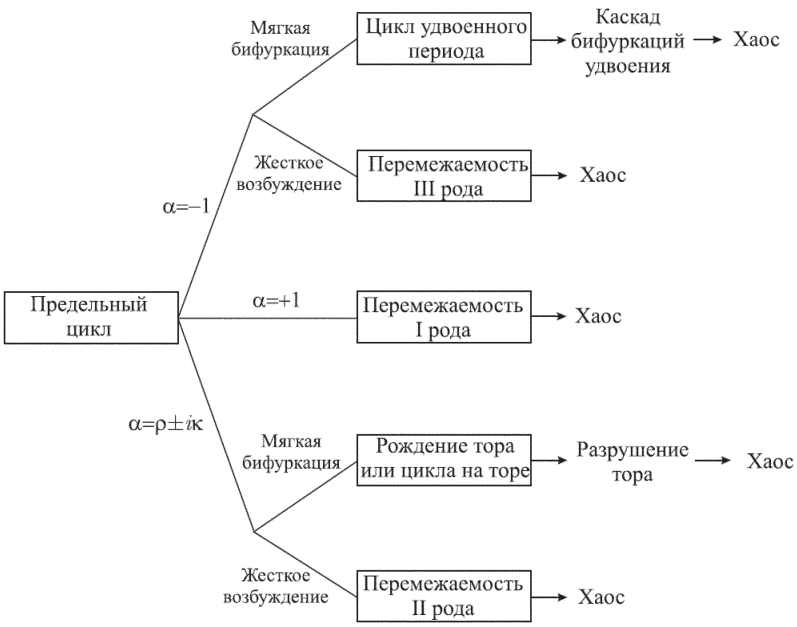


Рис. 1. Типичные бифуркации предельного цикла. Здесь α собственное значение в пространстве, определяемом секущей поверхностью

ситуации, когда действительное собственное значение отображения пересекает единичную окружность в точке + 1. При этом перестройка режимов движения в системе представляет собой кризис. Для того, чтобы система, описываемая системой дифференциальных уравнений, могла обладать хаотическим режимом, обусловленным странным аттрактором, число описывающих ее динамических переменных должно быть не менее трех. Если в такой системе перейти к отображению Пуанкаре, то в нем фазовые траектории будут представлять собой некоторое множество точек, нерегулярным образом заполняющих области секущей поверхности. При сильном сжатии отображение Пуанкаре для многих систем оказывается близким к одномерному, и поведение фазовых траекторий может быть приближенно описано одномерным отображением. Когда отображающая точка такого одномерного отображения долгое время проводит в окрестности начала координат, для динамической системы это означает, что ее поведение

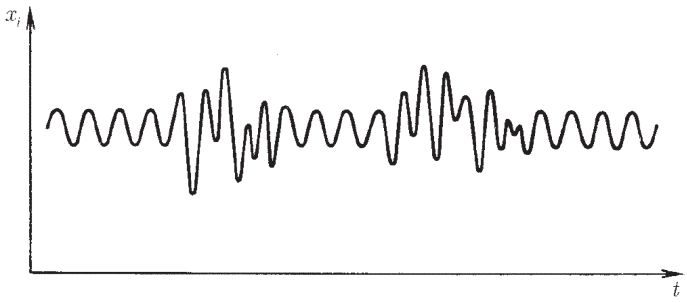


Рис. 2. Типичная временная зависимость динамических переменных x_i при переходе к хаосу через перемежаемость

будет почти периодическим. Покинув область с почти периодическим движением, фазовая точка попадает в другую область фазового пространства, характеризующуюся сложной динамикой. Проведя некоторое время там, фазовая точка выбрасывается из нее и вновь попадает в ту область фазового пространства, где происходят почти периодические колебания. При этом фазовая траектория никогда не замыкается и не уходит в бесконечность. Описанный режим с перемежаемостью появляется путем слияния устойчивой и неустойчивой неподвижных точек (через касательную бифуркацию — перемежаемость I рода). Однако возможны варианты — одновременное пересечение двух комплексно-сопряженных собственных значений единичной окружности порождает перемежаемость II рода; при пересечении действительным собственным значением единичной окружности в точке - 1, так что первоначально устойчивая неподвижная точка становится неустойчивой, порождает перемежаемость III рода. Развитие хаоса по этому сценарию наблюдалось и численно, и экспериментально.

Хаос Рюэля-Такенса (1978 г.). Допустим, что в результате потери устойчивости предельным циклом в фазовом пространстве динамической системы родился двумерный тор (рис. 3).

Периодический процесс теряет устойчивость и переходит в режим с двумя частотами ω_1 и ω_2. Геометрическим образом этого движения служит траектория в виде намотки на двумерном торе. Любую траекторию на поверхности тора можно рассматривать как суперпозицию двух движений: по большой окружности с частотой ω_1 и вокруг цилиндра, образующего тор, с частотой ω_2. Для решения с двумя частотами, аттрактором является тор T_2. Если $\omega_2 / \omega_1 = m / n$ рациональное число, то орбиты после нескольких витков на торе замыкаются. С последующим изменением критического параметра μ, может произойти потеря его устойчивости и рождение трехмерного тороидального многообразия. Поведение системы будет характеризоваться тремя независимыми частотами. Дальнейшее изменение управляющего параметра будет приводить к последовательности бифуркаций, в результате которых будут появляться инвариантные торы все возрастающей размерности.

Рождается устойчивый предельный цикл, т. е. квазипериодический режим исчезает и устанавливается *новый периодический* режим. Это означает *синхронизацию* колебаний. Синхронизация есть результат взаимодействия разных периодических движений. Явление синхронизации упрощает движение и делает его периодическим. Если же $\omega_2 / \omega_1 = m / n$ иррациональное число, геометрический образ решения — незамкнутая обмотка на торе. Это квазипериодическое движение.

Возможен и другой вариант. Следующая бифуркация добавляет еще одну частоту. Это тор T_3. Если спиралей много, это похоже на хаос. Но уже после трех бифуркаций появляется *странный аттрактор*: поведение перестает быть квазипериодическим и реализуется *детерминистический хаос*.

Удвоение периода, или хаос Фейгенбаума (цепочка бифуркаций удвоения) (1977, 1978 гг.). Сценарий Фейгенбаума отвечает ситуации, когда в результате потери устойчивости исходного цикла в фазовом пространстве рождается цикл удвоенного периода. При дальнейшем увеличении управляющего параметра может снова произойти бифуркация потери устойчивости, в результате чего появится цикл учетверенного (по сравнению с исходным) периода, и так далее. В частности, возможна бесконечная последовательность удвоений периода исходного предельного цикла. Эта последовательность удвоений происходит на конечном интервале изменения управляющего параметра и приводит систему от устойчивого периодического движения к хаотической динамике.

Значения управляющего параметра $\mu = \mu_m$, при которых происходит очередная бифуркация

Рис. 3. Рождение двумерного тора из теряющего устойчивость предельного цикла

удвоения, образует сходящуюся последовательность:

$$\lim_{m\to\infty} \mu_m = \mu_\infty$$

Когда $\mu_m = \mu_\infty$, предельный цикл достигает бесконечно большого периода, т. е. превращается в незамыкающуюся притягивающую фазовую траекторию, из которой при $\mu_m > \mu_\infty$ формируется странный аттрактор. Динамика системы в этом случае характеризуется сплошным спектром и разбеганием близких фазовых кривых.

Скорость сходимости бесконечной последовательности μ_m определяется универсальной постоянной — числом Фейгенбаума:

$$\lim_{m\to\infty} \frac{\mu_m - \mu_{m-1}}{\mu_{m+1} - \mu_m} = \delta = 4.6692...$$

На рис. 4 приведен переход к странному аттрактору через последовательность бифуркаций удвоения предельного цикла в системе Ресслера при значениях $\mu = 2{,}6; 3{,}5; 4{,}1; 4{,}18; 4{,}23$ (см. [3]).

Описанному сценарию присуща универсальность: константа Фейгенбаума δ не зависит от конкретного вида динамической системы. Сценарий развития хаоса Фейгенбаума хорошо подтверждается численными исследованиями. Правда, в реальных экспериментах и численных расчетах, где всегда имеются физические шумы или ошибки округления, бесконечную последовательность бифуркаций удвоения наблюдать не удается. Вместо этого, после нескольких бифуркаций удвоения, движение сразу становится хаотическим.

В последнее время обнаружено множество реальных систем, поведение которых в той или иной степени может быть понято с привлечением описанных выше механизмов. Так, в работе [4] был описан механизм возникновения хаотических процессов в распределенной модели реактора при слабом изменении пространственной формы распределения нейтронного поля. В работе [5], являющейся лишь одной, хотя и достаточно типичной работой по данной тематике из большого потока, рассмотрен механизм возбуждения хаотических колебаний в электроэнергетической системе при вариациях параметров линии передачи. Данный эффект был обнаружен еще в 30-е годы и отмечен в книге А. А. Горева но каких-либо реальных мер противодействия возникающим колебаниям предложено не было. Борьба с ними ограничилась нормированием длин линий передачи, применением конкретных схем расположения проводников, увеличением мощности генераторов и другими пассивными мерами.

Практическое использование явления детерминированного хаоса. Изложим ряд соображений по практическому использованию явления детерминированного хаоса при решении технических задач. Поскольку хаотическая динамика представляет собой движение в некотором ограниченном объеме фазового пространства, сам собой напрашивается подход к улучшению динамических режимов технических объектов/систем путем преднамеренного создания хаотического режима с желаемыми характеристиками. При этом естественная, присущая объекту/системе изначально, динамика трансформируется в хаотический режим, который, в силу своих особенностей, может быть более приемлем, чем естественная динамика.

Эффект нерегулярности траектории может быть использован с целью снижения нагрузки на детали, находящиеся в механическом контакте, или для снижения средних по времени характеристик (скажем, средней рассеиваемой мощности). Возможен вариант использования хаотического режима для занятия некоторой позиции в пространстве, обеспечивающей пре-

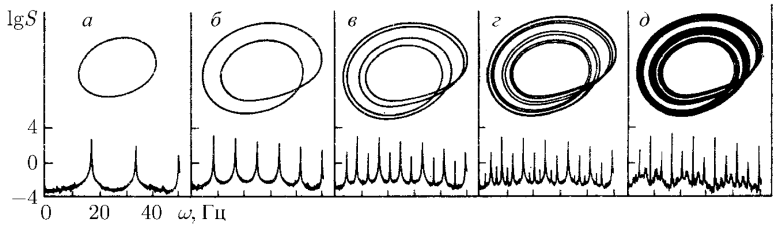


Рис. 5. Переход к странному аттрактору

имущества в дальнейшем. Так, например, в работе [7] предложен метод выбора начальной позиции для перелета с Земли на Луну путем ожидания удачного стечения координат в ходе хаотического движения на орбите у Земли.

Таким способом можно ограничивать амплитуду автоколебаний в системе, которой такие автоколебания присущи (путем создания нелинейной обратной связи) или гасить их (причем, скорее всего с минимальными усилиями — в силу того, что данный процесс весьма чувствителен к параметрам динамической системы, описывающей технологический процесс). Как раз эта процедура каких либо трудностей теоретически не должна вызывать — это обычная задача управления при наличии достаточных ресурсов. Но у хаотических систем есть особенность — их поведение очень плохо предсказуемо. Более того, линейные модели для них применимы в весьма ограниченных рамках. Это резко ограничивает спектр методов управления. Рассмотрим два подхода к управлению хаотическими системами.

Впервые постановка задачи управления существенно нелинейной системой была проведена в [8], использовавшей сценарий создания хаоса для системы Лурье с монотонной нечетной нелинейностью в обратной связи. Суть подхода состоит в выборе полюсов $s_1, s_2, \ldots, s_n$ и нулей $z_1, z_2, \ldots, z_{n-1}$ передаточной функции линейной части так, чтобы линейная система, замкнутая обратной связью $u = ky$ обладала при всех k, $0 < k < \infty$ следующими свойствами:

частичной неустойчивостью (т. е. наличием полюсов, как с положительными, так и с отрицательными вещественными частями);

гиперболичностью (отсутствием полюсов на мнимой оси);

диссипацией (сумма вещественных частей полюсов отрицательна);

непотенциальностью (есть полюса с ненулевой мнимой частью);

При этом наличие хаоса устанавливается по теореме Шильникова.

Теорема Шильникова (1965). Рассмотрим [12] поток Φ_t в R^3, имеющий в начале координат положение равновесия, для которого одно из собственных значений вещественно и положительно, а два других $\omega, \overline{\omega}$ комплексно сопряжены и имеют отрицательные действительные части. При этом, если $\left|\mathrm{Re}(\omega)\right| < \lambda$, то поток Φ_t допускает такое возмущение Φ_t, которое обладает гомоклинической орбитой γ вблизи γ, а отображение возврата для γ вблизи Φ_t имеет счетное множество подков.

Линеаризация отображения Пуанкаре (OGY метод). Возможность преобразования хаотического движения в периодическое за счет внешнего воздействия на систему была обнаружена еще в середине 1980-х годов, однако появление интереса к управлению хаотическими системами произошло позже, после публикации работы [9]. В этой работе были высказаны две ключевые идеи:

использование при синтезе регулятора дискретной модели системы, основанной на линеаризации отображения Пуанкаре;

использование свойства рекуррентности хаотических траекторий и применение управляющего воздействия только в те моменты времени, когда траектория возвращается в некоторую окрестность требуемого состояния заданной орбиты.

Обратная связь с запаздыванием (метод Пирагаса). Метод [10, 11] был предложен в 1992 г. в процессе решения задачи стабилизации неустойчивой τ-периодической орбиты нелинейной системы с помощью закона обратной связи вида

$$u(t) = K\left(x(t) - x(t-\tau)\right),$$

где K — коэффициент передачи, а τ — время запаздывания. Если τ равно периоду существующего периодического решения x(t) уравнения исходной модели системы, то при $u = 0$ и решении $x(t)$ уравнения замкнутой системы, начинающегося на орбите $\Gamma = \{x(t)\}$ так и остается на этой орбите для всех $t \geq 0$. Удивительным однако оказывается тот факт, что $x(t)$ может сходиться к Г, даже если начальная точка траектории не находится на Г. Несмотря на простой вид алгоритма управления, предложенного Пирагасом, его аналитическое исследование представляет значительные трудности.

Математически два приведенных выше подхода базируются на леммах Пью и Аносова, сформулированных ниже. С целью увеличения строгости теории, следуя [1], введем ряд определений.

Определение 1. Замкнутое множество $\Omega \subset R^n$ называется аттрактором системы, если суще-

ствует подмножество $\Omega_0 \subset \Omega$ открытое и такое, что все траектории *x(t)* системы, начинающиеся в Ω_0, определены для всех $t \geqslant 0$ и стремятся к Ω при $t \to \infty$. Никакое собственное подмножество Ω этим свойством не обладает.

Определение 2. Аттрактор называется хаотическим, если он ограничен и любая начинающаяся на нем траектория неустойчива по Ляпунову.

Определение 3. Система называется хаотической, если у нее существует хотя бы один хаотический аттрактор.

Неустойчивость по Ляпунову характеризует основное свойство хаотических колебаний, называемое «сверхчувствительностью» от начальных условий — любые две сколь угодно близкие траектории обязательно удаляются друг от друга на конечное расстояние. Для управления существенное значение имеет свойство траекторий, называемое «рекуррентностью»: со временем эти траектории попадают в сколь угодно малую окрестность своего положения в прошлом.

Определение 4. Функция x: $R^1 \to R^n$ называется рекуррентной, если при любом $\varepsilon > 0$ существует такое $T_\varepsilon > 0$, что для любого $t \geqslant 0$ имеется $T(t, \varepsilon)$, такое, что $0 < T(t, \varepsilon) < T_\varepsilon$ что $\| x(t + T(t, \varepsilon)) - x(t) \| < \varepsilon$.

Такие траектории обладают двумя важными свойствами, выражаемыми леммами С. С. Пью и Д. В. Аносова.

Лемма С. С. Пью [2]. Пусть *x(t)*, $t \geqslant 0$ рекуррентная траектория системы обыкновенных дифференциальных уравнений, имеющей гладкую правую часть *F(x)*. Тогда для любого $\varepsilon > 0$ имеется гладкая функция *Φ(x)*, такая что

$$\|\Phi(x)\|_\infty + \|D\Phi(x)\|_\infty < \varepsilon$$

и *x(t)* решение системы

$$\frac{dx}{dt} = F(x) + \Phi(x)$$

с тем же начальным условием $x(0) = x(0)$ является периодическим.

Лемма Д. В. Аносова [6]. Пусть *x(t)*, $t \geqslant 0$ рекуррентная траектория, имеющая гладкую правую часть *F(x)*. Тогда для любого $\varepsilon > 0$ имеется x^*, такое, что $\|x^* - x(t)\| < \varepsilon$ и решение *x(t)* с начальным условием $x(0) = x^*$ является периодическим.

Эти леммы показывают, что хаотический аттрактор является замыканием всех содержащихся в нем периодических траекторий, что следует из сформулированного в 1927 г. Биркгофом следующего критерия рекуррентности.

Теорема Биркгофа. Любая траектория, принадлежащая компактному минимальному инвариантному множеству, является рекуррентной. Любое компактное инвариантное минимальное множество является замыканием некоторой рекуррентной траектории.

Из теоремы Биркгофа непосредственно следует, что любое решение, начинающееся из своего ω-предельного множества является рекуррентным. При выполнении дополнительного предположения о том, что ω-предельное множество *x(t)* является аттрактором, следует, что любая хаотическая траектория, начинающаяся в его ω-предельном множестве рекуррентна и, следовательно, может быть приведена к периодической траектории путем возмущения правой части уравнений, описывающего систему или изменения начальных условий внутри малой окрестности хаотического режима.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андриевский Б. Р. Управление хаосом: методы и приложение. Ч. I. Методы. Б. Р. Андриевский, А. Л. Фрадков. — М., 2003.

2. Charles C. Pugh. An Improved Closing Lemma and a General Density Theorem // American Journal of Mathematics, 89(4): 1010–1021, 1967.

3. Лоскутов А. Ю. Основы теории сложных систем / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. — М.: Институт компьютерных исследований, 2007.

4. Постников Н. С. Импульсный хаос в ядерных реакторах и кусочно-линейных системах / Н. С. Постников // Математическое моделирование и оптимальное управление. — Новгород, 2001.

5. Harb A. M., Widyan M. S. Modern nonlinear Theory As applied to SSR of the IEEE second Benchmark Model // Bologna PowerTech 2003 Conference. — Bologna, 2003.

6. Аносов Д. В. Геодезические потоки на замкнутых римановых многообразиях отрицательной кри-

визны / Д. В. Аносов // Тр. матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР. Т. 90. 1967.

7. Erik M. Bollt, James D. Meiss Targeting chaotic orbit to the Moon through recurrence // Physics Letters A 204 (1995) 373–378.

8. Vanecek A., Ctlikovsky S. Chaos synthesis via root locus // IEEE Trans. Circ. Sysy. V. 41. — 1994. — P. 59–60.

9. Ott E., Grebogi C., Yorke J. Controlling chaos // Phys. Lett. V. 64. — 1990. — P. 1196–1199.

10. Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback // Phys. Lett.A. V. 170. — 1992. — P. 421–428.

11. Pyragas K. Control of chaos via an unstable delayed feedback controller // Phys. Rev. Lett. A. V. 86. — 2001. — P. 265–2268.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ

Блинов Лев Николаевич — *доктор химических наук, профессор, заслуженный химик Российской Федерации, академик МАНЭБ, действительный член американского электрохимического общества, профессор кафедры «Общая и неорганическая химия» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. 552-65-23 (кафедра)
lnblinov@ftim.spbstu.ru

Васильев Юрий Сергеевич — *академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, академик МАНВШ и 10 отраслевых академий, почетный доктор Всемирного Технологического университета, президент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 552-62-40 (приемная)

Горюнов Валерий Павлович — *доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой философии Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 552-87-01 (кафедра)
goryunov42@mail.ru

Дубаренко Константин Андреевич — *кандидат исторических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заместитель декана факультета комплексной безопасности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 294-12-74
bsts@fkb.spbstu.ru

Елистратов Виктор Васильевич — *доктор технических наук, профессор, заслуженный энергетик Российской Федерации, председатель научного совета по проблемам ВИЭ Санкт-Петербургского научного центра РАН, заведующий кафедрой «Возобновляющиеся источники энергии и гидроэнергетики» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 552-77-71 (кафедра)
elistratov@cef.spbstu.ru

Ермилов Валерий Владимирович — *кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Безопасность социальных и технических систем» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 294-12-74 (кафедра)
bsts@fkb.spbstu.ru

Игнатьев Михаил Борисович — *доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, академик МАН ВШ, директор Международного института кибернетики и артоники при Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения.*

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, ГУАП
тел. (812) 571-1522
common@aanet.ru

Козлов Владимир Николаевич — *доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заместитель председателя Совета УМО по университетскому политехническому образованию, академик МАН ВШ и РАЕН, советник при ректорате, заведующий кафедрой «Системный анализ и управление» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. 294-21-65
umo@spbstu.ru

Карпов Юрий Глебович — *доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Распределенные вычисления и компьютерные сети» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 297-16-39 (кафедра)
karpov@dcn.ftk.spbstu.ru

Романов Павел Иванович — *доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, академик МАН ВШ, директор Научно-методического центра УМО вузов России Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. 294-21-65
umo@spbstu.ru

Снетков Виталий Николаевич — *доктор политических наук, профессор, академик МАН ВШ, заведующий кафедрой «Теория и история государства и права», декан юридического факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. 297-69-76

Тросько Игорь Усяславович — *соискатель кафедры «Системный анализ и управление» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 297-42-14 (кафедра)
saiu@ftk.spbstu.ru

Федоров Михаил Петрович — *академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, советник ректора Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 297-16-16 (кафедра)
M.Fedorov@spbstu.ru

Фирсов Андрей Николаевич — *доктор технических наук, профессор кафедры «Системный анализ и управление» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. 297-42-14 (кафедра)
saiu@ftk.spbstu.ru

Хоа Данг Нгуен — *аспирант кафедры «Системный анализ и управление» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*
195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 297-42-14 (кафедра)
saiu@ftk.spbstu.ru

Шкодырев Вячеслав Петрович — *доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Распределенные интеллектуальные системы» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, директор НИИ «Математическое моделирование и интеллектуальные системы управления».*
195251, Санкт-петербург, ул. Политехническая, 29
тел. (812) 329-47-90 (кафедра)
shkodyrev@imop.spbstu.ru

Яковлев Роберт Михайлович — *кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией ФГУП «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина».*
194021, Санкт-Петербург, 2-ой Муринский пр. 28
тел. 297-56-41
radium@khlopin.ru

АННОТАЦИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Васильев Ю. С., Козлов В. Н., Федоров М. П. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Глобализация мирового сообщества по совокупности природно-экологических, энергетических, экономических, финансовых, кадровых, интеллектуальных, социальных и других видов ресурсов требует координации внутригосударственного и межгосударственного управления ими. Задача синтеза межгосударственной координации по ресурсам для устойчивого развития сформулирована как задача экономической динамики на основе разностных уравнений динамики формирования ресурсов и операторов математического программирования.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ДИНАМИКА, ГЛОБАЛИЗАЦИЯ, РЕСУРСЫ, УПРАВЛЕНИЕ, МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ КООРДИНАЦИЯ.

Игнатьев М. Б. ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

Рассматриваются проблемы устойчивого развития на основе социокультурного цикла, который сложился со времен великих географических открытий, а в настоящее время продолжает развиваться на основе информационных технологий и является основой глобализации. В качестве метода исследования используется лингво-комбинаторное моделирование. Показано, что устойчивое развитие сложных систем возможно лишь в зоне адаптационного максимума и задача систем управления — удержать структуры в этой зоне в потоке перемен с помощью различных инструментов: настройки, наложения или снятия ограничений, объединения систем в коллектив и др.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ОБЩЕСТВО ИНФОРМАЦИОННОЕ, ЦИКЛ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЙ, ГЛОБАЛИЗАЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНГВО-КОМБИНАТОРНОЕ, МАКСИМУМ АДАПТАЦИОННЫЙ.

Федоров М. П., Васильев Ю. С., Блинов Л. Н. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ

На основе анализа основных вопросов, связанных с разработкой инновационного подхода и его научно-методического обеспечения по созданию необходимой образовательной среды для устойчивого развития показано, что для полноценного решения указанной проблемы необходимо привлечение смежных дисциплин, прежде всего, экологии.

Установлено, что создаваемые основы научно-методического обеспечения должны базироваться на анализе и учете следующих факторов системы «образование и устойчивое развитие»: устойчивое развитие, концепция, основные положения, задачи, пути реализации, устойчивое развитие через призму авторских мнений и высказываний, образование для устойчивого развития; экологическое образование.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ОБРАЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ, КОНЦЕПЦИИ.

Васильев Ю. С., Романов П. И. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЭКОНОМИКИ В КАДРАХ КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В статье рассматривается проблема создания инструментария государственного регулирования процессов подготовки выпускников вузов востребованных специальностей и направлений подготовки, обеспечивающих устойчивое развитие стран.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, КАДРЫ, ЭКОНОМИКА, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ, ВУЗ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ.

Васильев Ю. С., Дубаренко К. А., Ермилов В. В. ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ — ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

В статье рассматривается проблема подготовки кадров в системе высшего профессионального образования для устойчивого инновационного развития России, дается обоснование необходимости и возмож-

ности нового подхода при подготовке инженерных и управленческих кадров по направлению «Техносферная безопасность».

СИСТЕМА «ОБРАЗОВАНИЕ — ВОСПИТАНИЕ», ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ, ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

Горюнов В. П. ТЕХНОСОЦИАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Рассматриваются закономерности материально-технического развития общества в качестве главных факторов, определяющих содержание социальных процессов. Конкретно-историческим предметом научного анализа в рамках данного методологического подхода является курс на модернизацию России как стратегическую модель ее развития в долгосрочной перспективе. Приводится теоретическое основание исследования, в основе которого лежит понятие техносоциальной формулы общества; раскрывается ее содержание и механизм действия, обусловливающий историческую относительность устойчивого развития.

МОДЕРНИЗАЦИЯ, МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, ТЕХНОСОЦИАЛЬНАЯ ФОРМУЛА ОБЩЕСТВА, ПРОГРЕСС, ВЫЖИВАНИЕ, ГЛОБАЛИЗАЦИЯ, КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ.

Снетков В. Н. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Данная статья посвящается вопросу правовых основ устойчивого развития, под которым понимается развитие, сохраняющее необходимость наступления новых качественных образований под влиянием разных факторов, ключевым из которых является право. В ней осуществляется характеристика права, как особой формы отражения социальной действительности на уровне правовой идеологии и социально-правовой психологии.

Отдельное внимание уделяется вопросу правообразования, как сложного диалектического процесса, оказывающего влияние на устойчивое развитие через правосознание.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ПРАВО, ПСИХОЛОГИЯ СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВАЯ, ПРАВООБРАЗОВАНИЕ, ПРАВОСОЗНАНИЕ, ИДЕОЛОГИЯ ПРАВОВАЯ.

Карпов Ю. Г. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Программные системы управления широко используются для принятия решений в критических сферах жизни общества: от управления технологическими процессами предприятий до бортовых систем управления самолетами и космическими кораблями. Функционирование современного общества все больше зависит от правильности компьютерных программ. В работе приводятся примеры программных ошибок, приведшие к огромным материальным потерям и даже к человеческим жертвам. Анализируется состояние в области верификации программ, рассматривается новый подход к разработке программ (проверка моделей), основанный на формальных методах и позволяющий существенно уменьшить уровень критических ошибок в разрабатываемых программах.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, КАЧЕСТВО, КРИТИЧЕСКАЯ СФЕРА, ПРОГРАММА КОМПЬЮТЕРНАЯ, ОШИБКА ПРОГРАММНАЯ, ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ.

Шкодырев В. П. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Формулируется проблема внедрения новых инновационных технологий в задачах управления большими распределенными технологическими комплексами и производственными процессами. В качестве перспективного решения предлагается использование систем управления нового поколения — распределенных интеллектуальных управляющих компьютерных сетей как основной составляющей формирования новой концепции глобальной информационно-управляющей среды будущего. Анализируется возможности подобных сетей в решении сложного класса плохо формализуемых задач — ситуационного управления в условиях ограниченной априорной информации.

ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИОННЫЕ, ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ, СИСТЕМА БОЛЬШАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ, СЕТЬ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ, УПРАВЛЕНИЕ СИТУАЦИОННОЕ.

Елистратов В. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ — ПУТЬ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Современная энергетика, основанная на невозобновляемых энергоресурсах, не соответствует представлениям о том, что развитие общества должно быть устойчивым, экологически безопасным и энергетически независимым. На основе анализа мирового опыта можно констатировать, что технологии ВИЭ в наибольшей

степени являются инновационноемкими и энергоэффективными, их ускоренное развитие может стать локомотивом для всей энергетической отрасли и национальной экономики.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ОБЩЕСТВО, ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЕННЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ, ОТРАСЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Игнатьев М. Б., Яковлев Р. М. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Ядерная энергетика необходима для обеспечения устойчивого развития, но сложившаяся урано-плутониевая энергетика на ТВЭЛах таит много опасностей. Предлагается ее заменить на урано-ториевую на жидкостно-солевых реакторах.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ЭНЕРГЕТИКА ЯДЕРНАЯ АЛЬТЕРНАТИВНАЯ, РЕАКТОР ЖИДКОСТНО-СОЛЕВОЙ.

Козлов В. Н., Нгуен Х. Д., Фирсов А. Н. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕСНАБЖЕНИЕМ

В работе строится математическая модель гидравлической сети в установившемся режиме на основе системы уравнений одномерного течения слабосжимаемой жидкости в линейных трубопроводах. Данная модель позволяет адекватно сформулировать ряд задач оптимизации управления гидравлическими сетями. При ламинарном режиме течения жидкости в трубах сформулированные задачи оптимизации являются задачами кусочно-линейного программирования и могут быть сведены к задаче линейного программирования.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ, НЕФТЕСНАБЖЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ.

Козлов В. Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ И ПЕРЕТОКАМИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Рассматриваются модели и методы совершенствования автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) электроэнергетических объединений (ЭЭО) в предаварийных режимах. Приведены цели и задачи управления с учетом «источников угроз безопасности» и «средств обеспечения безопасности», реализуемые в АСДУ системами ограничения перетоков активной мощности по линиям и управлению частотой и активной мощностью ЭЭО типа ЕЭС России.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ЭНЕРГЕТИКА, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЧАСТОТА, ПЕРЕТОК АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.

Козлов В. Н., Тросько И. У. УСТОЙЧИВЫЕ РЕЖИМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Современная теория хаоса представляет собой ветвь математики, имеющую приложения к различным дисциплинам, включая технические (например, системы энергоснабжения). Теория хаоса изучает поведение динамических систем, обладающих высокой чувствительностью к начальным условиям. Идея управления хаотическими системами использует тот факт, что окрестность хаотического аттрактора содержит бесконечное число неустойчивых траекторий. Смысл управления траекторией хаотической системы состоит в перемещении переменной состояния между ними, все время функционирования технической системы, интересующее разработчика. В предлагаемом обзоре авторы описывают современное состояние теории хаотических управляемых систем.

РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОЕ, ЭНЕРГЕТИКА, ТЕОРИЯ ХАОСА, УПРАВЛЕНИЕ, СИСТЕМА.

ABSTRACTS

KEYWORDS

Vasilyev Y. S., Kozlov V. N., Fedorov M. P. MATHEMATICAL MODEL OF MANAGEMENT DYNAMICS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE GLOBALIZATION

Globalization of the world community with respect to all natural and environmental, energy, economic, financial, human, intellectual, social and other types of resources require coordination of intra-exists and inter-state governance of them. The synthesis problem of interstate coordination of resources for sustainable development itself is formulated as a problem of economic-tion of the dynamics based on differential equations for the dynamics of formation of resources and operators of mathematical programming.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, DYNAMIC, GLOBALIZATION, RESOURCES, MANAGEMENT, INTERGOVERNMENTAL COORDINATION.

Ignatyev M. B. SUSTAINABLE DEVELOPMENT PROBLEMS ON INFORMATIONAL SOCIET

Any complex system interacts with changing environment. We use the linguo-combinatorial method for investigation of complex systems.It is proved that the sustainable development is possible only in the adaptational maximum zone. The purpose of the control system is the holding of structure in this zone by means of turning, learning and etc.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, INFORMATION SOCIETY, CYCLE OF SOCIAL AND CULTURAL, ECONOMIC GLOBALIZATION, LINGUISTIC MODELLING COMBINATORIAL MAXIMUM ADAPTATION.

Fedorov M. P., Vasiliev Y. S., Blinov L. N. SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND EDUCATION

Based on analysis of key issues related to the development of in-novation approach and its scientific and methodological support for capacity-needed educational environment for sustainable development it was shown that for a complete solution to this problem must be in drive-related disciplines, particularly ecology.

It is established that created the basis of scientific-methodical ensure biscuits should be based on the analysis and taking into account the following factors of the “education and sustainable development”: sustainable development, concept, philosophies, objectives, ways of implementation of sustainable development, through the lens of copyright vitie opinions and statements and education for sustainable development, environmental education.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, EDUCATION, ENVIRONMENT, THE PROVISION OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL, CONCEPTS.

Vasilyev Y. S., Romanov P. I . MANAGEMENT FORECASTING REQUIREMENTS FOR ECONOMY SIZE AS AN ELEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The paper considers the problem of the creation of instruments of the public regulation of the processes of training, require special playback, to ensure sustainable development of countries.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, HUMAN RESOURCES, ECONOMICS, DEMAND FORECASTING, UNIVERSITY, STATE REGULATION.

Vasilyev Y. S., Dubarenko K. A., Ermilov V. V. HIGHER EDUCATION IS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RUSSIA

The present article considers the problem of human resources training in the system of higher professional education for the sustainable innovative development of Russia, the grounds of the necessity and possibility of a new profile approach at training of engineering and administrative skills for the direction of «Technosphere Safety» education.

«Education-Upbringing» system, profile training of cadres for sustainable development in the technosphere, safety of the technosphere.

Goryunov V. P. TEHNOSOCIAL FOUNDATIONS OF MODERNISATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The regularities of the material and technical development of society as the main factors determining the content of social processes are considered. Specific historical subject of the scientific analysis in the framework of this

methodological approach is the course towards modernization of Russia as a strategic model for its development in the long run. The theoretical foundation of the study is shown. It is based on the concept of technosocial formula of society. Its idea and mechanism of action that determine the historical relativity of sustainable development is revealed.

MODERNIZATION, MATERIAL ANDTECHNICAL DEVELOPMENT, TECHNOSOCIAL FORMULA OF SOCIETY, PROGRESS, SURVIVAL, GLOBALIZATION, THE COMPREHENSIVE UTILIZATION OF RESOURCES, SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

Snetkov V. N. SUSTAINABLE DEVELOPMENT LEGAL BASES

This is an article dedicated lawful question bases development, which understand development, may preserve requirement beginning news high-grades constitutions through different factors, where the law considers main.

This is a job realize laws characteristic, as framework-specific reflections reality social medium pin-level a legal ideology and social-legal psychology.

Principal concern giving question a lawmaking as complicated dialectical process, which has influence on the sustainable development by a way of feeling for law.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, LAW, LEGAL PSYCHOLOGY SOCIAL, PRAVOOBRAZOVANIYA, JUSTICE, LEGAL IDEOLOGY.

Karpov Yu.G. SUSTAINABLE SOCIAL DEVELOPMENT AND QUALITY ASSURANCE OF SOFTWARE SYSTEMS TO MANAGE

Control software is intensively used for decision making in critical spheres of the modern society, from technology process control to inboard control systems in avionic and space vehicles. Modern society life become more and more dependable from correctness of control software. In the paper there presented examples of software errors and material losses and losses of human lives. Program verification results are discussed and a new promising approach to program verification called model checking is analyzed. Model checking is based on formal methods. It may considerably decrease the number of critical errors in control software.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, POLICY MANAGEMENT SYSTEMS, QUALITY CRITICAL AREA, COMPUTER PROGRAM, SOFTWARE ERROR, PROGRAM VERIFICATION.

Shkodyrev V. P. INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE PROBLEMS OF MANAGING LARGE DISTRIBUTION SYSTEMS LENNYMI

The adoption problem of the new innovative technologies for control of large distributed production lines and industrial straight-flow automation processes is bringing forth. The new generation of control system – distributed intelligent control networks as base unit of new conception of global information-control environment of future is offered as perspective solution. The ability of similar networks to solve the complex class of ill-formalize tasks - situation control under limited a priory uncertainty is analyzing.

INNOVATIVE TECHNOLOGY, TASK MANAGEMENT SYSTEM FOR LARGE DISTRIBUTED, DISTRIBUTED NETWORK MANAGEMENT INTELLIGENT COMPUTER, CASE MANAGEMENT.

Elistratov V. V. RENEWABLE ENERGY SOURCES - THE PATH TO THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENERGY EFFICIENCY

Modern non-renewable sources energy doesn't meet the expectations of society of sustainable, environmentally friendly and power independent development. The reasons of the power industry crisis that makes us look for new energy sources and power technologies are simple: fossil fuels exhaustion, environmental problems created by energy complex activity, increasing fuel prices and non-renewable energy costs. For Russia, the most effective way for developing renewable energy sources technologies is to develop them within non-distributed power supply systems, because it will allow to improve energy security for the different regions of Russian Federation, provide opportunities for their sustainable development, bring energy suppliers and consumers nearer to each other, diminish energy loss during its transmission and distribution and reduce power costs for the ultimate consumer, provide environmental safety due to lower growth rate of anthropogenic pressure on the environment. The analysis based on world practices proves that renewable energy technologies are the most innovative and efficient, therefore their more active development will undoubtedly give a stimulus to the whole power industry and national economy growth.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, SOCIETY, ENERGY, POWER RESUMED ENERGY SECTOR ENERGY, ENERGY EFFICIENCY.

Ignatyev M. B. Jakovlev R. M. ALTERNATIVE NUCLEAR ENERGETICS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Nuclear energetics is necessary for sustainable development, but the fully formed uran-plutonium energetics jn TVELs has a lot of dangerous. It is proposed the uran-thorium energetics on the liquid- soleum reactors.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ALTERNATIVE ENERGY NUCLEAR, REACTOR LIQUID SALT.

Kozlov V. N., Nguyen D. Kh., Firsov A. N. STABLE DEVELOPMENT OF RUSSIAN POWER INDUSTRY ON BASIS OF OIL SUPPLY AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

We construct a mathematical model of hydraulic networks in steady-state conditions on basis of system of equations of one dimensional flow of weakly compressible fluid in linear pipelines. This model allows to adequately formulate various optimization control problems of hydraulic networks. When flows in pipelines are laminar, formulated optimization problem are problems of piecewise-linear programming, and can be reduced to a linear programming problems.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ENERGY, AUTOMATIC TRANSMISSION, OIL SUPPLY, OPTIMIZATION.

Kozlov V. N. TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF POWER SYSTEM CONTROLS AND SPEED FLOW ACTIVE POWER

The models and methods to improve automated-term dispatch control system (ADCS) of electric power associations (EEE) in the pre-emergency conditions. Given goals and management objectives, taking into account the “sources of security threats” and “safety equipment”, implemented in SCADA systems limit the active power flows on lines and management of frequency and active power type of EEE UES of Russia.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ENERGY, POWER SYSTEM, CONTROL, SPEED, THE FLOW OF ACTIVE POWER.

Kozlov V. N., Trosko I. U. A STABLE MODES OF POWER SYSTEMS BASED ON CHAOS CONTROL

Modern chaos theory is a branch of mathematics applications in several disciplines including technical systems like a Power System. Chaos theory studies the behavior of dynamical systems that are highly sensitive to initial conditions. In chaos theory, control of chaos is based on the fact that any chaotic attractor an infinite number of unstable periodic orbits. Chaotic dynamics then consists of a motion where the system state moves in the neighborhood of one of these orbits for a while, then falls close to a different unstable periodic orbit where it remains for a limited time, and so forth. Authors this review describes some modern results of chaos control theory.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ENERGY, CHAOS THEORY, MANAGEMENT SYSTEM.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ СПбГПУ

№ 3-1 (154) 2012

НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

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
канд. техн. наук доцент *Л.В. Спиридонова* – научный редактор, корректор
О.А. Матенев – технический секретарь

Телефон редакции (812) 294-47-72

E-mail:ntv-nauka@spbstu.ru

Компьютерная верстка *Е.А. Типцовой*

Подписано в печать 15.08.2012. Формат 60×84 1/8. Бум. тип. № 1.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,75. Тираж 1000. Заказ 230.

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.