



DOI: 10.18721/JEST.25402  
УДК 620.9

*М.П. Федоров<sup>1</sup>, А.Н. Назарычев<sup>2</sup>, А. Таджибаев<sup>2</sup>,  
Н.В. Коровкин<sup>1</sup>*

- 1 – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия  
2 – Петербургский энергетический институт повышения квалификации,  
Санкт-Петербург, Россия

## **ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

Рассмотрены мероприятия по совершенствованию теории управления техническим состоянием энергетического оборудования АЭС. Эти мероприятия следует рассматривать как комплексное отраслевое решение проблемы обеспечения надежности и безопасности эксплуатации действующих и вновь сооружаемых блоков АЭС. Рассмотренные задачи имеют существенное значение для перехода к системе ремонта энергетического оборудования АЭС по техническому состоянию, а также управления процессом его эксплуатации в зависимости от показателей надежности на протяжении всего жизненного цикла АЭС. Научно-практическое значение решения этих задач также состоит в создании моделей, алгоритмов и компьютерных программ, направленных на обеспечение надежности, безопасности и эффективности эксплуатации энергетического оборудования АЭС путем совершенствования системы технического обслуживания и ремонта и режимов эксплуатации с учетом фактического технического состоянием энергетического оборудования.

*Ключевые слова:* Энергосистема, техническое состояние, атомные станции, диагностика оборудования, техническая диагностика, безопасность, надежность

*Ссылка при цитировании:*

Федоров М.П., Назарычев А.Н., Таджибаев А., Коровкин Н.В. Задачи управления техническим состоянием оборудования АЭС // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25, № 4. С. 23–30. DOI: 10.18721/JEST.25402

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

*М.П. Fedorov<sup>1</sup>, A.N. Nazarychev<sup>2</sup>, A. Tadjibaev<sup>2</sup>,  
N.V. Korovkin<sup>1</sup>*

- 1 – Federal State educational establishment, St. Petersburg, Russia  
2 – Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, St. Petersburg, Russia

## **PROBLEMS OF CONTROLLING THE TECHNICAL STATE OF EQUIPMENT IN NUCLEAR POWER PLANTS**

We have analyzed the measures to improve the theory for controlling the technical state of equipment in nuclear power plants. These measures should be considered as a comprehensive sectoral solution to the problem of ensuring reliable and safe operation of existing and newly constructed nuclear power plant units. The tasks discussed are of great importance for transition to a system for repairing NPP power equipment based on technical condition, as well as management of its operation, depending on reliability indicators throughout the life cycle of the NPP. The scientific and practical significance of solving these problems also consists in creating models, algorithms and computer programs aimed at ensuring reliable, safe and efficient operation of NPP power equipment. This is achieved by improving the system of maintenance and repair and operating modes, taking into account the actual technical state of the power equipment.

*Keywords:* Power system, Technical condition, nuclear power plants, equipment diagnostics, technical diagnostics, operational safety, robust performance

*Citation:*

M.P. Fedorov, A.N. Nazarychev, A. Tadjibaev, N.V. Korovkin, Problems of controlling the technical state of equipment in nuclear power plants, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology, 25 (04) (2019) 23–30. DOI: 10.18721/JEST.25402

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

*Введение.* Проблема управления техническим состоянием (ТС) энергетического оборудования (ЭО) атомных электрических станций (АЭС) является важной и актуальной. Действующие в различных условиях и режимах работы факторы оказывают определяющее влияние на степень износа ЭО в процессе эксплуатации. Они приводят к развитию и накоплению дефектов, и к более раннему наступлению предельного состояния и отказу ЭО. Для обеспечения безопасной и эффективной работы, при управлении режимами эксплуатации и ремонта необходимо знать фактический уровень надежности ЭО с учетом воздействия реальных эксплуатационных факторов [1]. Особенно это актуально для объектов ядерной энергетики. Воздействуя на режимы и условия работы, применяя при этом современные методы оценки ТС оборудования, можно эффективно и безопасно управлять процессом эксплуатации электроустановок АЭС<sup>1</sup>.

Анализ существующих и активно развивающихся методов и средств технической диагностики ЭО в России [2–5]<sup>2</sup> и зарубежном

[10–13] показал, что их современный уровень и перспективы развития открывают реальные возможности перехода к новой технологии эксплуатации и ремонта оборудования АЭС по ТС.

*Цель работы.* Комплексная разработка методов и средств технической диагностики ЭО для решения важной отраслевой проблемы управления ТС основного производственного ЭО и объектов АЭС.

### Материал и методика работы

Основные методологические положения и задачи управления ТС ЭО АЭС изложены в [10–13]. Система мероприятий по совершенствованию теории управления ТС ЭО объектов АЭС на основе внедрения методов и средств технической диагностики должна включать неотложные, среднесрочные и перспективные задачи.

Неотложные задачи:

- оценка ТС основного и вспомогательного ЭО, систем защиты, связи, телемеханики, автоматики и управления объектов АЭС;
- непрерывный сбор исходных данных, мониторинг состояния и прогнозирование остаточного ресурса оборудования АЭС;
- организация системы диагностики ЭО с использованием современных методов и средств;
- разработка нормативной базы, алгоритмов и программ по использованию результатов технической диагностики для адаптивного изменения режимов эксплуатации, выбора стратегии и планирование ремонтов оборудования АЭС;

<sup>1</sup> Назарычев А.Н., Таджибаев А.И., Титков В.В., Халилов Ф.Х. Основы управления техническим состоянием электрооборудования : учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 204 с.

<sup>2</sup> Назарычев А.Н., Таджибаев А.И., Титков В.В., Халилов Ф.Х. Основы управления техническим состоянием электрооборудования : учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 204 с.; Таджибаев А.И., Соловьев Ю.В., Назарычев А.Н. Анализ технического состояния защищенных проводов линий электропередачи : учеб. издание / под ред. А.И. Таджибаева. СПб.: ПЭИПК, «Северная звезда», 2015. 193 с.



- внедрение адаптивного управления состояниями процесса эксплуатации групп технологически взаимосвязанного оборудования АЭС;

- разработка инвестиционных программ целевого финансирования и контроль выполнения программ внедрения на объектах атомной энергетики средств технической диагностики.

Среднесрочные задачи:

- разработка и реализация программы развития системы технической диагностики действующего ЭО на протяжении жизненного цикла АЭС;

- совершенствование действующих и разработка новых методов и средств технической диагностики ЭО под напряжением;

- организация системы диагностики и прогнозирование ТС новых видов оборудования и токоведущих частей внедряемых на АЭС;

- разработка системы отраслевых регламентов и национальных стандартов по технической диагностике и оценке ТС ЭО на объектах атомной энергетики;

- разработка принципов развития объектов атомной энергетики с учетом внедрения цифровых технологий, методов управления производственными активами и новых средств контроля, мониторинга и оценки ТС ЭО;

- разработка системы высшего и дополнительного образования, непрерывного повышения квалификации по диагностике и неразрушающему контролю ЭО объектов атомной энергетики.

Перспективные задачи:

- производство в Российской Федерации современного высокоэффективного и высоконадежного диагностического оборудования для объектов атомной энергетики;

- формирование структуры глобальной системы диагностики и мониторинга на объектах атомной энергетики России, обладающей тре-

буемой глубиной, высокой наблюдаемостью, адаптивностью и достоверностью;

- реализация системы принципов, процедур и правил управления ТС ЭО, обеспечивающих требуемую надежность, безопасность и эффективность работы объектов атомной энергетики при одновременной внедрении технологий информационной безопасности на АЭС.

Вопросы совершенствования теории управления ТС ЭО на объектах атомной энергетики тесно связаны с применяемой в настоящее время системами технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и технического перевооружения и реконструкции (ТПиР). Выбор рациональных систем ТОиР и ТПиР оборудования АЭС представляет собой комплексную проблему, которая основывается на теории надежности, физических процессах старения и восстановления и т. д.

Задача системы ТОиР заключается в том, что по истечении определенной наработки в момент предшествующий отказу проводят профилактические ремонты. Чем меньше время между моментами ожидаемого отказа и выполнением профилактического ремонта, тем эффективнее стратегия ТОиР [6–9].

Задача системы ТПиР заключается в том, что по истечении определенной наработки необходимо провести реконструкцию и техническое перевооружение АЭС, которая позволит не только внедрить передовые доступные технологии на АЭС, снизить физический и моральный износ оборудования.

Поэтому, теория управления ТС ЭО объектов атомной энергетики включает в себя широкий комплекс задач: организацию диагностирования ЭО; оценку и прогнозирование показателей эксплуатационной надежности ЭО; оптимизацию сроков и объемов проведения ТОиР и ТПиР; выбор рациональной стратегии ТОиР и ТПиР; выбор стратегии управления процессом эксплуатации ЭО; планирование ТОиР и ТПиР оборудования с

учетом его фактического ТС; определения предельного времени эксплуатации ЭО, очередности ТПиР АЭС. Решение этих задач позволит повысить эффективность процесса эксплуатации всей атомной энергетической отрасли, надежность и безопасность эксплуатации АЭС.

### Расчетное исследование

В качестве количественной оценки ТС ЭО в настоящее время наиболее часто используются следующие интегральные показатели: технический ресурс (наработка); индекс технического состояния (ИС); коэффициент дефектности; бальная оценка и другие. При этом любая качественная оценка ТС должна достоверно отражать уровень ТС ЭО и его изменение в рамках установленных пределов, а также иметь понятный технический смысл и однозначную интерпретацию. При этом также важно получить количественные значения как показателей долговечности, так и показателей безотказности оборудования. Для этого разработана методика

оценки вероятности отказов ЭО с учетом его технического состояния, определяемого по значению интегрального показателя [14]. Методика позволяет получить не только конкретные точечные значения вероятностей, но и построить зависимости вероятностей безотказной работы и отказа от наработки  $t$ . Для этих целей проведены расчетные исследования по различным видам ЭО с учетом значений технического ресурса и индекса технического состояния. На рис. 1 и 2 в качестве примера представлены формы отображения зависимости функции изменения ИС  $S(r)$  от наработки, а также вероятностей отказа  $Q$  и безотказной работы  $P$  для трансформатора ТМН – 6300/110/10 за календарную наработку  $r$  (для линейной аппроксимации  $S(r)$ ).

Подобные зависимости построены для различного ЭО и позволяют расширить применение Методик оценки интегральных показателей оценки ТС за счет выполнения не только точечного сравнения значений показателей оценки ТС и вероятностей, но и на всем рассматриваемом периоде эксплуатации ЭО.

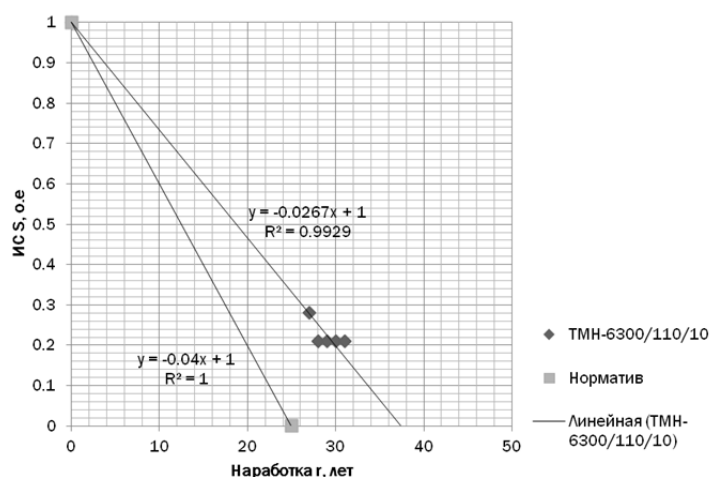


Рис. 1. Формы отображения зависимости функции изменения ИС  $S(r)$  от наработки для линейной аппроксимации  $S(r)$  для трансформатора ТМН – 6300/110/10

Fig. 1. Forms of displaying the dependence of the change function of the IS  $S(r)$  on the operating time for the linear approximation  $S(r)$  for the transformer ТМН - 6300/110/10

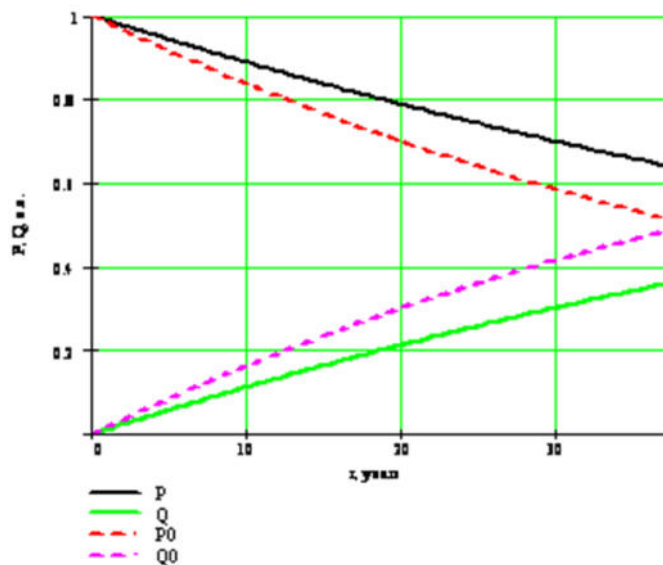


Рис. 2. Формы отображения зависимости функции изменения вероятностей отказа  $Q$  и безотказной работы  $P$  оборудования за календарную наработку  $r$  для трансформатора ТМН – 6300/110/10

Fig. 2. Forms of displaying the dependence of the function of changing the probability of failure  $Q$  and the failure-free operation  $P$  of the equipment for the calendar operating time  $r$  for the transformer TMN – 6300/110/10

### Обсуждение результатов

В работе [2] подробно рассмотрены подходы по определению технического ресурса трансформаторов, электродвигателей, выключателей, кабелей и другого ЭО. Получены выражения определения нормативного и фактического остаточного ресурса ЭО с учетом воздействия эксплуатационных факторов:

$$R_{0,ocm}^* = 1 - R_{cp}^*, \quad (1)$$

$$R_{ocm}^* = R_{0,ocm}^* - \left( - \sum_{j=1}^K \int_0^{R_j^*} e^{\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T j}^* - 1)}{\Delta X_{i_T}^*} + \sum_{i_{\mathcal{E}}=1}^{N_{\mathcal{E}}} \frac{(X_{i_{\mathcal{E}} j}^* - 1)}{\Delta X_{i_{\mathcal{E}}}^*} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M j}^* - 1)}{\Delta X_{i_M}^*} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X j}^* - 1)}{\Delta X_{i_X}^*}} dr - R_j^* \right), \quad (2)$$

где  $R_0^*$  – нормативный ресурс ЭО; где  $i_T = 1 \dots N_T$ ,  $i_{\mathcal{E}} = 1 \dots N_{\mathcal{E}}$ ,  $i_M = 1 \dots N_M$ ,  $i_X = 1 \dots N_X$  – количество тепловых, электрических, механических, химических факторов;  $X_{i_T}$ ,  $X_{i_{\mathcal{E}}}$ ,  $X_{i_M}$ ,  $X_{i_X}$  – величина  $i_T$ -го теплового,  $i_{\mathcal{E}}$ -го электрического,  $i_M$ -го механического,  $i_X$ -го химического факторов;  $\Delta X_{i_T}$ ,  $\Delta X_{i_{\mathcal{E}}}$ ,  $\Delta X_{i_M}$ ,  $\Delta X_{i_X}$  – отклонение  $i_T$ -го тепло-

вого,  $i_{\mathcal{E}}$ -го электрического,  $i_M$ -го механического,  $i_X$ -го химического факторов;  $R_j^*$  – интервал наработки;  $K$  – количество рассматриваемых интервалов наработки  $R_j^*$ .

После того как ЭО отработало фактический сработанный ресурс  $R_{cp}^*$ , по формуле (1) можно определить нормативный остаточный ресурс, т.е. величину наработки, которую электрооборудование сможет отработать при его дальнейшей эксплуатации в нормативных условиях.

Под индексом состояния (ИС) понимают безразмерную числовую величину, нормируемую к 100 (0 – наихудшее состояние, 100 – наилучшее), которая характеризует ТС ЭО. Для каждого ЭО рассчитывается ИС как взвешенная сумма оценок критериев ТС, которые формируются на основе измеряемых параметров ЭО. Для многокомпонентного ЭО ИС рассчитывается как средневзвешенное из ИС компонентов ЭО. Весовые коэффициенты, с которыми компоненты участвуют в расчете

ИС многокомпонентного ЭО, определяются экспертным путем, исходя из значимости компонента для функционирования многокомпонентного ЭО. Для расчета ИС многокомпонентных объектов используется формула:

$$I_{\text{МКО}} = \frac{\sum_i W_i I_i}{\sum_i W_i},$$

где:  $I_{\text{МКО}}$  – ИС многокомпонентного ЭО;  $W_i$  – вес  $i$ -го компонента ЭО;  $I_i$  – ИС  $i$ -го компонента. В таблице показан перевод количественной оценки ИС в качественную.

Данный подход позволяет сформировать приоритизированный с позиции управления ТС перечень ЭО с учетом оценки ИС, вероятности отказа и последствий отказа. Проблемой является корректная оценка ТС, и возможность спрогнозировать сроки и объем необходимого воздействия в виде ТОиР или замены ЭО. Методика оценки ТС по значению ИС предусматривает разработку текстовых алгоритмов оценки ИС для каждого ЭО.

**Перевод количественной оценки ИС в качественную**

**Translation of a quantitative assessment of IP into a qualitative**

Техническое состояние	Диапазон количественных значений индекса состояния
Предаврийное	0–29,999
Ухудшенное	30–59,999
Работоспособное	60–89,999
Исправное	90–100

Данная методика имеет логически обоснованную структуру, учитывает действующие

НТД и РД, а также значения параметров, полученных в результате выполнения технической диагностики. Оценка ТС выполняется по единым алгоритмам. Это является преимуществом такого подхода. Однако методика не учитывает динамику изменения и взаимное влияние показателей на ТС, что является препятствием корректной оценки ТС ЭО на основе ИС.

Балльная оценка ТС ЭО – безразмерный числовой показатель ТС сборочной единицы или узла, либо единицы ЭО выраженный в баллах. Интегральная классификационная балльная оценка ТС ЭО вводилась из предположения, что исправное состояние нового ЭО позволяет достичь допустимую установленную безотказную наработку. Развитие методики балльной оценки ТС получило при разработке методов экспрес-оценки ТС ЭО по результатам выездных проверок. Уровень развития каждого из возможных дефектов функциональных узлов ЭО классифицируются и соответствует определенному цвету. Заключение о ТС узла ЭО определяется наибольшим уровнем развития дефекта данного узла. Вид ТС ЭО определяется ТС узла с наименьшим баллом. Недостатком такой оценки ТС ЭО является высокое влияние человеческого фактора на результат оценки ТС.

Проведенные исследования позволяют выполнять расчеты интегральных показателей оценки ТС, а также вероятностей отказа и безотказной работы для различных групп ЭО АЭС в зависимости от наработки и ТС оборудования, определяемого по значениям интегральных показателей (ИС), что подтверждает возможность практического применения разработанных подходов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

[1] Воропай Н.И., Ковалёв Г.Ф., Кучеров Ю.Н., [и др.]. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. 304 с.

[2] Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. Иваново, 2005. 224 с.

[3] Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методические основы определения предельных сроков эксплуатации и очередности технического перевооружения объектов электроэнергетики / Иван. гос. ун-т. Иваново, 2005. 168 с.

[4] Назарычев А.Н., Таджибаев А.И. Управление техническим состоянием электроустановок активно-адаптивных энергетических предприятий. СПб.: ПЭИПК, 2011. 84 с.





- [5] Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 44. Обеспечение пожарной безопасности методами технической диагностики энергетических установок / под ред. д.т.н., проф. А.И. Таджибаева и д.т.н., проф. А.Н. Назарычева. СПб.: ПЭИПК, 2014. 115 с.
- [6] **Назарычев А.Н.** Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния / Иван. гос. энерг. ун-т. Иваново, 2002. 168 с.
- [7] **Назарычев А.Н., Таджибаев А.И., Андреев Д.А.** Совершенствование системы проведения ремонтов электрооборудования электростанций и подстанций. СПб.: ПЭИПК, 2004. 64 с.
- [8] **Назарычев А.Н.** Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию // Надежность либерализованных систем энергетики / под ред. Н.И. Воропая, А.Д. Тевяшева. Новосибирск: Наука, 2004. С. 173–183.
- [9] **Назарычев А.Н., Андреев Д.А., Таджибаев А.И.** Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов / под ред. А.Н. Назарычева. М.: Инфра-Инженерия, 2006. 928 с.
- [10] **Nazarychev A., Tadzhibaev A., Solovyev Y.** The Inspection of the Technical State of Critical Infrastructure Facilities // International Conference on Problems of Critical Infrastructures, Proceedings. Ed. by Z.A. Styczynski, N.I. Voropai. Irkutsk: Energy Systems Institute, 2015. P. 144–151.
- [11] Learning from Differences in Energy Sector // International Seminar, Proceedings. Ed. by A. Nazarychev, M. Huhtinen. St. Petersburg, Kotka: PEIPK, KY-AMK, 2016. 108 p.
- [12] **Solovyev Y., Nazarychev A., Tadzhibaev A.** Details on technical condition assessment of overhead covered conductors under extreme climatic impacts // Proceedings of 2014 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ 2014), Rakvere, Estonia, 11–13 June 2014, IEEE Catalog Number CFP1452E-POD. P. 379–383.
- [13] **Sulynenkov I.N., Nazarychev A.N., Tadzhibaev A.I.** Reliability Model of High-Voltage Circuit Breakers With Taking Into Account Breaker Failure Protection // Scientific – Industrial Journal Electroenergetics, Electrotechnics, Electromechanics + Control. 2013. Vol. 4, no. 4. P. 46–55.
- [14] **Бердников Р.Н., Гвоздев Д.Б., Кузьмин И.А., [и др.]**. Методика оценки вероятности отказов основного электросетевого оборудования с учетом его технического состояния // Сборник научно-технических статей сотрудников Группы компаний «Россети». М.: Электроэнергия. Передача и распределение, 2017. С. 151–163.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ФЕДОРОВ Михаил Петрович** — доктор технических наук советник ректора Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: M.Fedorov@spbstu.ru

**НАЗАРЫЧЕВ Александр Николаевич** — доктор технических наук ректор Петербургского энергетического института повышения квалификации

E-mail: rector@peipk.spb.ru

**ТАДЖИБАЕВ Алексей** — доктор технических наук заведующий кафедры «Диагностика и управление техническим состоянием энергетического оборудования» Петербургского энергетического института повышения квалификации

E-mail: nazarychev@mail.ru

**КОРОВКИН Николай Владимирович** — доктор технических наук заведующий кафедрой Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

Дата поступления статьи в редакцию: 24.04.2017

## REFERENCES

- [1] N.I. Voropay, G.F. Kovalev, Yu.N. Kucherov, **i dr.**, Kontsepsiya obespecheniya nadezhnosti v elektroenergetike. M.: OOO ID «ENERGIYA», 2013.
- [2] A.N. Nazarychev, D.A. Andreyev, Metody i matematicheskiye modeli kompleksnoy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya. Ivan. gos. energ. un-t. Ivanovo, 2005.
- [3] A.N. Nazarychev, D.A. Andreyev, Metodicheskiye osnovy opredeleniya predelnykh srokov ekspluatatsii i ocherednosti tekhnicheskogo perevoorzheniya obyektov elektroenergetiki. Ivan. gos. un-t. Ivanovo, 2005.
- [4] A.N. Nazarychev, A.I. Tadzhibayev, Upravleniye tekhnicheskim sostoyaniyem elektroustanovok aktivno-adaptivnykh energeticheskikh predpriyatiy. SPb.: PEIPK, 2011.
- [5] Metody i sredstva otsenki sostoyaniya energeticheskogo oborudovaniya. Vyp. 44. Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti metodami tekhnicheskoy diagnostiki energeticheskikh ustanovok. Pod red. d.t.n., prof. A.I. Tadzhibayeva i d.t.n., prof. A.N. Nazarycheva. SPb.: PEIPK, 2014.
- [6] A.N. Nazarychev, Metody i modeli optimizatsii remonta elektrooborudovaniya obyektov energetiki s uchetom tekhnicheskogo sostoyaniya. Ivan. gos. energ. un-t. Ivanovo, 2002.
- [7] A.N. Nazarychev, A.I. Tadzhibayev, D.A. Andreyev, Sovershenstvovaniye sistemy provedeniya remontov elektrooborudovaniya elektrostantsiy i podstantsiy. SPb.: PEIPK, 2004.
- [8] A.N. Nazarychev, Osnovnyye printsipy sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta elektrooborudovaniya po tekhnicheskomu sostoyaniyu, Nadezhnost liberalizovannykh sistem energetiki. Pod red. N.I. Voropaya, A.D. Tevyasheva. Novosibirsk: Nauka, (2004) 173 – 183.
- [9] A.N. Nazarychev, D.A. Andreyev, A.I. Tadzhibayev, Spravochnik inzhenera po naladke, sovershenstvovaniyu tekhnologii i ekspluatatsii elektricheskikh stantsiy i setey. Tsentralizovannoye i avtonomnoye elektrosnabzheniye obyektov, tsekhov, promyslov, predpriyatiy i promyshlennykh kompleksov. Pod red. A.N. Nazarycheva. M.: Infra-Inzheneriya, 2006.
- [10] A. Nazarychev, A. Tadzhibaev, Y. Solovyev, The Inspection of the Technical State of Critical Infrastructure Facilities, International Conference on Problems of Critical Infrastructures, Proceedings. Ed. by Z.A. Styczynski, N.I.Voropai. Irkutsk, Energy Systems Institute, (2015) 144–151.
- [11] Learning from Differences in Energy Sector// International Seminar, Proceedings. Edited by A. Nazarychev and M. Huhtinen. St. Petersburg, Kotka: PEIPK, KYAMK, 2016.
- [12] Y. Solovyev, A. Nazarychev, A. Tadzhibaev, Details on technical condition assessment of overhead covered conductors under extreme climatic impacts, Proceedings of 2014 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ 2014), Rakvere, Estonia, 11–13 June 2014, IEEE Catalog Number CFP1452E-POD (379–383).
- [13] I.N. Sulynkov, A.N. Nazarychev, A.I. Tadzhibayev, Reliability Model of High-Voltage Circuit Breakers With Taking Into Account Breaker Failure Protection, Scientific – Industrial Journal Electroenergetics, Electrotechnics, Electromechanics + Control, 4 (4) (2013) 46–55.
- [14] R.N. Berdnikov, D.B. Gvozdev, I.A. Kuzmin, **i dr.**, Metodika otsenki veroyatnosti otkazov osnovnogo elektrosetevogo oborudovaniya s uchetom yego tekhnicheskogo sostoyaniya, Sbornik nauchno-tekhnicheskikh statey sotrudnikov Gruppy kompaniy «Rosseti». M.: Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye, (2017) 151–163.

## THE AUTHORS

**FEDOROV Mikhail P.** – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: M.Fedorov@spbstu.ru

**NAZARYCHEV Aleksandr N.** – *Federal State educational establishment*

E-mail: rector@peipk.spb.ru

**TADJIBAEV Aleksei** – *Federal State educational establishment*

E-mail: nazarythev@mail.ru

**KOROVKIN Nikolai V.** – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

Received: 24.04.2017