

НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ



Том 13 №1 2020

Safety & Reliability
of Power Industry

В номере:

- Принципы классификации оборудования энергообъектов
- Балансовая надежность структуры энергосистем
- Нормирование цифровых технологий тренажерных систем
- Применение тренажерных комплексов в современном университете
- Повышение надежности турбоустановок ТЭС и АЭС
- О надежности теплоснабжения жилых зданий

www.sigma08.ru
www.testenergo.ru



Тренажер водоподготовительной установки для блоков СКД

Фирма АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ») разработала и внедрила тренажерно-аналитический комплекс водоподготовительной установки для блоков СКД Нижневартовской ГРЭС

Тренажер ВПУ блоков СКД

прошел корпоративную научно-техническую и сертификационную экспертизу, а так же государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Тренажер ВПУ блоков СКД

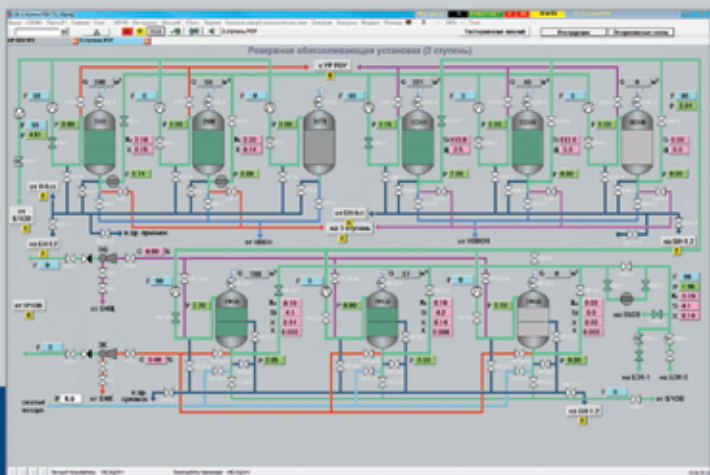
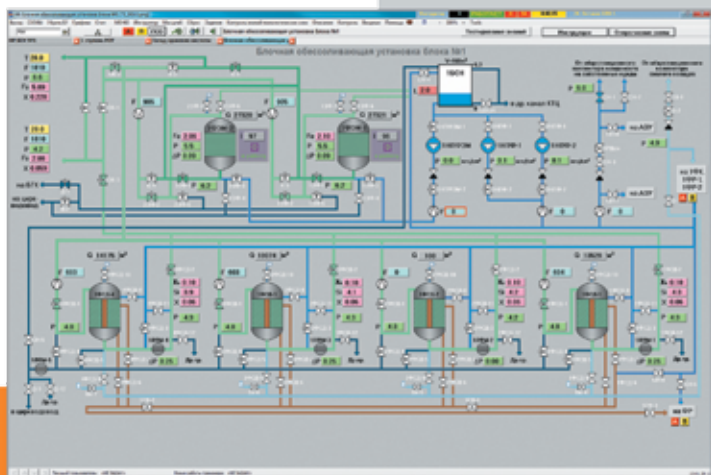
может применяться для подготовки оперативного персонала на тепловых электрических станциях, в учебных центрах, высших и средних учебных заведениях

Состав оборудования

- Установка предварительной обработки воды – УПОВ
- Натрий-катионитовая установка – НКУ
- Резервная обессоливающая установка – РОУ
- Автоматизированная обессоливающая установка – АОУ
- Установка очистки замасленных и замазученных стоков – УОЗЗС
- Блочная обессоливающая установка – БОУ – 1,2
- Реагентное хозяйство – РХ, установка коррекционной обработки воды – УКОВ
- Водно-химический режим блока 800 МВт – ВХР-800-1,2
- Водно-химический режим блока ПГУ-413 МВт – ВХР ПГУ-413

Состав тренажера

- активные динамические мнемосхемы 46 шт.
- всережимная физико-химическая модель оборудования и процессов ВПУ
- модель АСУТП (модель защит, блокировок, сигнализаций, АВР)
- модель водно-химического режима энергоблоков №№ 1,2,3
- развитая конфигурация сети
- комплект аварийных ситуаций
- контролирующая программа
- комплект штатных ситуаций
- графопостроение
- масштабирование времени
- сохранение режимов
- система поддержки оператора
- протоколы действий оператора, ошибок, сигнализации, защит, блокировок
- режим экзамена



АО «Тренажеры
электрических станций
и сетей»:

117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6
Тел. (495) 665-76-00, факс (495) 382-79-74
e-mail: magid@testenergo.ru, www.testenergo.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

С. И. МАГИД — д. т. н., профессор, генеральный директор АО «Тренажеры электрических станций и сетей», директор Департамента «Технические обучающие системы в энергетических технологиях» TEST UNESCO (Москва, Россия)

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Е. Н. АРХИПОВА — д. т. н., технический директор АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (Москва, Россия)

В. В. КУЛИЧИХИН — д. т. н., профессор ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия)

РЕДАКТОРЫ РАЗДЕЛОВ

Н. И. ВОРОПАЙ — чл.-корр. РАН, д. т. н., профессор, научный руководитель ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л. А. Меленцева» Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) (Иркутск, Россия) — раздел «Общие вопросы надежности и безопасности энергетики»

А. Я. ШЕЛГИНСКИЙ — д. т. н., профессор кафедры «Промышленные теплоэнергетические системы», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия) — раздел «Генерация электроэнергии и тепла»
Л. А. ХОМЕНКО (д. т. н., профессор, заведующий аналитическим отделом Научно-производственного объединения по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (ЦКТИ) (Санкт-Петербург, Россия) — раздел «Проектирование, исследование энергетического оборудования»

Н. Д. ЧИЧИРОВА — действительный член Российской академии естественных наук, д. х. н., профессор, зав. кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Эксплуатация электрических станций»

В. СТРИЕЛКОВСКИ — доктор философии, профессор, научный сотрудник Кембриджской бизнес-школы Кембриджского университета (Англия) — раздел «Электрогенерация зарубежных стран»

И. Г. АХМЕТОВА — д. т. н., проректор по научной работе, зав. кафедрой Экономики и организации производства ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Цифровые технологии и экономика»

Н. Н. ШВЕЦ — д. э. н., профессор, зав. кафедрой «Мировая электроэнергетика» МГИМО МИД России — раздел «Энергетические аспекты международных отношений»

А. И. ТАДЖИБАЕВ — Заслуженный энергетик Российской Федерации, действительный член Академии электротехнических наук, д. т. н., зав. кафедрой «Диагностика и управление техническим состоянием энергетического оборудования» ФГАОУ ДПО «ПЭИПК» (Санкт-Петербург, Россия) — раздел «Техническая диагностика и неразрушающий контроль в энергетике»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Н. ВИВЧАР — к. г. н., советник Директора ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики» (Москва, Россия)

Е. П. ГРАБЧАК — Заместитель министра Министерства энергетики Российской Федерации (Москва, Россия)

Х. С. ДРАГАНЧЕВ — профессор Технического университета (Варна, Болгария)

И. Ш. ЗАГРЕТДИНОВ — к. т. н., генеральный директор АО «Институт Теплоэлектропроект» (Москва, Россия)

З. ЗИМОН — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой Бранденбургского Технического Университета (Котбус-Зенфтенберг, Германия)

Н. А. ЗРОЙЧИКОВ — д. т. н., профессор, заместитель директора по научной работе ОАО «Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского» (ОАО «ЭНИН») (Москва, Россия)

М. Х. Г. ИБРАГИМОВ — д. т. н., профессор, Первый заместитель председателя НП «Техноэкспо» (Москва, Россия)

Н. Б. КАРНИЦКИЙ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета (г. Минск, Беларусь)

С. А. КРОПАЧЕВ — д. и. н., ректор Энергетического института повышения квалификации АО «Мособлэнерго» (Москва, Россия)

Б. М. ЛАРИН — д. т. н., профессор кафедры химии и химических технологий в энергетике ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» (Иваново, Россия)

М. Ю. ЛЬВОВ — д. т. н., советник генерального директора АО «Объединенная энергетическая компания» (Москва, Россия)

Н. Я. О. МАМЕДОВ — к. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Строительство инженерных систем и сооружений», Азербайджанский Архитектурно-строительный Университет (Баку, Азербайджан)

М. Е. МАРЧЕНКО — к. т. н., генеральный директор ОАО «Энив» (Москва, Россия)

В. Е. МЕССЕРЛЕ — д. т. н., профессор, главный научный сотрудник НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского Национального Университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан)

С. В. МИЩЕРЯКОВ — д. э. н., к. т. н., Генеральный директор Некоммерческого Партнерства «Корпоративный образовательный и научный центр Единой энергетической системы» (Москва, Россия)

Д. МОРВА — доктор, профессор Будапештского политехнического университета (Будапешт, Венгрия)

Л. П. МУЗЫКА — к. т. н., доцент, директор ООО «Ресурс-персонал» (Омск, Россия)

А. Н. НАЗАРЫЧЕВ — д. т. н., профессор, ректор ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (Санкт-Петербург, Россия)

В. А. НЕПОМНЯЩИЙ — академик Российской академии естественных наук, д. э. н., профессор, к. т. н. (Санкт-Петербург, Россия)

М. М. ПЧЕЛИН — Государственный советник РФ 1-го класса в отставке, лауреат премии Совета Министров СССР (Москва, Россия)

Н. Д. РОГАЛЕВ — д. т. н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», председатель Ученого совета (Москва, Россия)

А. Е. УЖАНОВ — к. с. н., доцент кафедры «Мировая электроэнергетика» Международного института энергетической политики и дипломатии МГИМО МИД России, член-корреспондент Академии военных наук (Москва, Россия)

К. ФРАНА — д. т. н., профессор, заместитель декана факультета «Машиностроение» Технического университета (г. Либерец, Чехия)

М. И. ЧИЧИНСКИЙ — к. т. н., Генеральный инспектор — начальник Департамента технического надзора и аудита ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС») (Москва, Россия)

Учредитель и издатель: Научно-производственное объединение «Энергобезопасность».

Периодичность издания четыре раза в год. Выходит с 2008 года.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство ПИ № ФС77-31974 от 14 мая 2008 г.

Журнал включен в новый перечень ВАК Министерства образования и науки РФ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней, а также в базы данных: РИНЦ, ВИНТИ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал ассоциирован при Международном центре обучающих систем ЮНЕСКО и Международной кафедре-сети ЮНЕСКО «TVET». Полнотекстовые версии статей размещены в научной электронной библиотеке elibrary.ru.

Подписные индексы: 45024 — Объединенный каталог и интернет-каталог «Пресса России»,
E45024 — Интернет-каталог «Книга-сервис».

Художественный редактор: — Маланин Д. Б., Технический редактор — Кутыко Н. Е.
Подписано в печать 25.03.2020 г. Отпечатано в ООО «Код-Полиграф»,
125009, Россия, Москва, пр. Девячьего Поля, д. 4.

Почтовый адрес редакции: 117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6, ООО «НПО «Энергобезопасность»
Телефон: +7 495 665-76-00, телефон/факс: +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; www.sigma08.ru

© ООО «НПО «Энергобезопасность», «Надежность и безопасность энергетики»

Scientific and Engineering Journal Safety and Reliability of Power Industry

Volume 13

Nº1

2020

EDITOR-IN-CHIEF

Sergey I. MAGID — Dr. of Tech. Sc., Professor, Director General, JSC «Simulators of power plants and networks», Director of the Department «Technical educational systems in energy technologies» TEST UNESCO (Moscow, Russia).

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. ARKHIPOVA — Dr. of Tech. Sc., Technical Director, JSC «Simulators of power plants and networks» (Moscow, Russia)

Vladimir V. KULICHIKHIN — Dr. of Tech. Sc., Professor, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)

SECTION EDITORS

Nikolay I. VOROPAI — Corr. Member of the RAS, Dr. of Tech. Sc., Professor, Scientific Director of the Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russia) — section «General issues of safety and reliability of power industry»

Aleksandr Y. SHELGINSKY — Dr. of Tech. Sc., Professor of Heat Power Industry Department, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia) — section «Electric power and heat generation»

Leonid A. KHOMENOK — Dr. of Tech. Sc., Professor, The head of analytical Department I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment (St. Petersburg, Russia) — section «Design, research of power equipment»

Nataliya D. CHICHIROVA — full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dr. of Chem. Sc., Professor, head of the Department of Thermal power plants of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Operation of power plants»

Wadim STRIELKOWSKI — Ph.D., University of Cambridge, Judge Business School (Cambridge, England) — section «Power generation in foreign countries»

Irina G. AKHMETOVA — Dr. Eng., Vice-rector for research, head of the Department of Economics and Information Technologies, of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Digital technologies and economy»

Nikolay N. SHVETS (PhD (Ec.)), Professor, Head of the World Electric Power Industry Department, MGIMO University of the Russian Federation Ministry of Foreign Affairs) — section Energy Related Aspects of International Relations

Aleksey I. TADZHIBAYEV — Honoured Power Engineer of the Russian Federation, full member of the Academy of Electrical Engineering Sciences, Doctor of Engineering, Head of FSAEI of Advanced Professional Training «PEIPK» (St. Petersburg, Russia) — section «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing in Power Engineering»

EDITORIAL BOARD

Anton N. VIVCHAR — Cand. of Geogr. Sc., Advisor of Director of Federal State Autonomous Institution Research Institute «Environmental Industrial Policy Centre»

Hristo S. DRAGANICHEV — Professor of the Varna Technical University (Varna, Bulgaria)

Evgeny P. GRABCHAK — Deputy Minister of the Ministry of Energy of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Ilyas Sh. ZAGRETDINOV — Cand. Sc. (Eng), Director of JSC «Institute Teploelectroproject» (Moscow, Russia)

Sylvio SIMON — Prof. Dr.-Ing., Brandenburg University of Technology (Cottbus-Senftenberg, Germany)

Nikolay A. ZROICHKOV — Dr. of Tech. Sc., Professor, «G. M. Krzhizhanovsky Power Engineering Institute» (Moscow, Russia)

Marat H. G. IBRAGIMOV — Dr. of Tech. Sc., Professor, First Deputy Chairman, NP «Tekhnoksp» (Moscow, Russia)

Nikolay B. KARNITSKIY — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the department of thermal power plants, the Belarus National Technical University (Minsk, Belarus)

Sergey A. KROPACHEV — Dr. of Hist. Sc., Rector of the Energy Institute for Advanced Studies of JSC Mosoblenergo (Moscow, Russia)

Boris M. LARIN — Dr. of Tech. Sc., Professor, Department of chemistry and chemical technology in the power industry, of the «Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin» (Ivanovo, Russia)

Mikhail Yu. LVOV — Dr. of Tech. Sc., Adviser to the General Director of United Energy Company JSC (Moscow, Russia)

Nurmammad Y. MAMMADOV — professor, head of Department «Construction of engineering systems and facilities», Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)

Mikhail. E. MARCHENKO — Cand. of Tech. Sc., Director, «Eniv», LLC (Moscow, Russia)

Vladimir E. MESSERLE — Dr. of Tech. Sc., Professor, Head Research

Fellow of the Research institute of experimental and theoretical physics, the al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Sergey V. MISHCHERYAKOV — Dr. of Econ. Sc., Cand. of Tech. Sc., Director General of the Non-profit Partnership «Corporate Training and Scientific Center of the Unified Energy System» (Moscow, Russia)

George MORVA — Sc. Dr., Professor, the Budapest Polytechnic University (Budapest, Hungary)

Leonid P. MUZYKA — Cand. of Tech. Sc., Director, «Resurs-Personal», LLC (Omsk, Russia)

Aleksandr N. NAZARYCHEV — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the «Peterburg power engineering institute of professional development» (St. Petersburg, Russia)

Vladimir A. NEPOMNYASHCHYI — Academician of the RAS, Dr. of Econ. Sc., Professor, Cand. of Tech. Sc. (St. Petersburg, Russia)

Mikhail M. PCHELIN — Class I State Councilor of the RF (retired), awardee of the Prize of the Council of Ministers of the USSR (Moscow, Russia)

Nikolay D. ROGALEV — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Chairman of the Academic Council (Moscow, Russia)

Aleksandr E. UZHANOV — Cand. of Sociol. Sc., Associate Professor of World Power Industry Department, International Institute of Energy Policy and Diplomacy, MGIMO of the Russian Federation Foreign Ministry, associate member of the Academy of Military Sciences (Moscow, Russia)

Karel FRANA — Prof. Dr. — Ing. habil, Technical University of Liberec (Liberec, Czech Republic)

Mikhail I. CHICHINSKIY — Cand. of Tech. Sc., Inspector General / Head of the Department of technical supervision and audit, PJSC «Federal Grid Company of the Unified Energy System» (Moscow, Russia).

Founder and publisher: Scientific and Production Association «Energobezопасnost». Frequency of the edition four times a year. Published since 2008.

The journal is registered in the Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communication, Communications and the Protection of Cultural Heritage. Certificate ПИ № ФЧ77-31974 dated May 14, 2008.

The journal is included into the SCADT's List of major reviewed scientific journals and publications, which shall publish the key scientific findings of theses for academic degrees of Doctor and Candidate of Sciences. The Journal is included in the following databases: RINC, VINITI, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory.

The journal is associated with the UNESCO International Center of Training Systems and the UNESCO International Chair Network «TVET».

Artistic editor: Malanin D. B. Technical Editor: Kutko N. E. Signed in the press on March 25, 2020.

Printed in LLC «Code-Poligraf», Proyezd Devich'yego Polya, 4, Moscow, 119121, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

Грабчак Е. П., Воробьев А. И., Мищеряков С. В. Основные принципы классификации оборудования энергетических объектов.....	4
---	---

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

Беляев Н. А., Егоров А. Е., Коровкин Н. В., Чудный В. С. Учет критерия балансовой надежности при оптимизации перспективной структуры энергосистемы	11
Магид С. И., Загреддинов И. Ш., Мищеряков С. В., Архипова Е. Н., Самойлов В. Л. Нормирование цифровых технологий тренажерных систем как способ обеспечения надежности условий обслуживания объектов электроэнергетики (часть 2)	17
Чичирова Н. Д., Абасев Ю. В., Евгеньев И. В. Повышение качества эксплуатации оборудования тепловых электростанций за счет применения компьютерных тренажерно-аналитических комплексов.....	29
Сухорукова Е. А., Синцова Т. Г., Николаенкова Е. К., Колпаков С. П. Повышение надежности турбоустановок ТЭС и АЭС с подогревателями смешивающего типа в системе регенерации	35
Самарин О. Д. Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей ГВС	41

ДИСКУССИИ

Куличихин В. В. Анализ технико-экономических показателей новой термоэлектрической установки	48
Закирова И. Р. К определению КПД турбодетандера	56

ИНФОРМАЦИЯ	59
-------------------------	----

ХРОНИКА, ПУБЛИКАЦИИ	60
----------------------------------	----

ДО ГОРИЗОНТА СОБЫТИЙ: ФАКТЫ, МНЕНИЯ, МЕТАФОРИЗМЫ	72
---	----

CONTENTS

GENERAL ISSUES OF RELIABILITY AND SAFETY OF ENERGY

Grabchak E. P., Vorobyev A. I., Mischeryakov S. V. Basic principles for classification of equipment of energy facilities	4
---	---

DESIGN, RESEARCH, CALCULATIONS

Belyaev N. A., Egorov A. E., Korovkin N. V., Chudny V. S. Consideration of capacity adequacy criterion in optimizing the prospective structure of electric power system	11
Magid S. I., Zagredtinov I. Sh., Mishcheryakov S. V., Arkhipova Ye. N., Samoylov V. L. Standardization of digital technologies of simulator systems as a method of ensuring reliability of conditions of service of power engineering facilities (part 2)	17
Chichirova N. D., Abasev Yu. V., Evgeniev I. V. Improving the quality of operation of equipment of thermal power plants through the use of computer-based training simulator and analytical complexes	29
Sukhorukova E. A., Sintsova T. G., Nikolaenkova E. K., Kolpakov S. P. Improving reliability of turbine units of TPPs and NPPs with mixing heaters in regeneration system	35
Samarin O. D. Analysis of reliable and safe heat supply of residential buildings using waste water after DHW heat exchangers	41

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-4-10>

УДК 658

Основные принципы классификации оборудования энергетических объектов

Гребчак Е. П.¹, Воробьев А. И.², Мищеряков С. В.^{3*}

¹ Министерство энергетики Российской Федерации, 129110, г. Москва, Россия ул. Щепкина д. 42

² ПАО «ТГК-1», 198188 г. Санкт-Петербург, пр. Добролюбова, д.16/А

³ Корпоративный энергетический университет, 111250, г. Москва, Россия, ул. Красноказарменная д.13, корп. «П»

Поступила / Received 18.01.2020

Принята к печати / Accepted for publication 06.03.2020

Представлены технологии, предназначенные для внедрения риск-ориентированного подхода в управлении производственными активами в части реализации онтологического моделирования для оценки технического состояния оборудования, потенциального ущерба, риска, определения состава, объема работ, сроков, стоимости и календарного планирования, предиктивной диагностики оборудования.

Выявлены и представлены проблемы создания универсальных классификаторов производственных активов, дублирующие позиции, имеющие разночтение в наименовании одной и той же группы оборудования, не полный перечень позиций по группам оборудования, несоответствие позиций классификации и их атрибутов в различных справочниках.

Изложены научные подходы к формированию классификаторов основного технологического оборудования (ОТО) в электроэнергетике. Определено место классификации в общем алгоритме онтологического моделирования производственной деятельности энергетических объектов и отрасли в целом, указали на насущную необходимость работ по классификации для внедрения цифровых технологий управления активами.

Представлены национальные стандарты, которые определяют требования к профилям информационных моделей и организации информационного обмена в электроэнергетике и устанавливают состав информационной модели для обеспечения однозначной интерпретации передаваемых и получаемых данных всеми участниками информационного обмена в электроэнергетике и соответствуют международным стандартам, что позволяет реализовать онтологическое моделирование в соответствии с серией стандартов CIM Международной Электротехнической Комиссии (МЭК, IEC).

Произведен и представлен анализ опыта классификации ОТО в энергетических компаниях по видам производственной деятельности и определены основные проблемы классификации их энергетического оборудования и других физических активов. Дана сравнительная характеристика российских систем классификации и зарубежных ERP-систем. Сформированы общие подходы к вопросам классификации. Рассмотрены возможные варианты способов классификации активов. Выделены единицы классификации по глубине и значимости для дальнейшего использования в процессе управления этапом их жизненного цикла «эксплуатация». Представлены конкретные направления использования единых классификаторов оборудования для кластерного анализа физических активов и выработки решений о техническом воздействии на них в процессе жизненного цикла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: субъекты энергетики, производственные активы, управления активами, классификаторы, кластерный анализ, жизненный цикл физических активов

Адрес для переписки:

Мищеряков С. В.
Корпоративный энергетический университет
111250, г. Москва, Россия, ул. Красноказарменная д.13, к. «П»
E-mail: msv@keu-ees.ru

Address for correspondence:

Mischeryakov S. V.
NP «CTSCenter UES»
111250, Moscow, Russia, ul. Krasnokazarmennaya, 13, bldg. "P"
E-mail: msv@keu-ees.ru

Для цитирования:

Гребчак Е. П., Воробьев А. И., Мищеряков С. В.
Основные принципы классификации оборудования энергетических объектов. Надежность и безопасность энергетики 2020. – Т. 13, №1. – С. 4 – 10.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-4-10>

For citation:

Grabchak E. P., Vorobyev A. I., Mischeryakov S. V. [Basic principles for classification of equipment of energy facilities]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry 2020, vol. 13, no. 1, pp. 4 – 10 (in Russian).
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-4-10>

Basic principles for classification of equipment of energy facilities

Grabchak E. P.¹, Vorobyev A. I.², Mischeryakov S. V.^{3*}

¹ Ministry of Energy of the Russian Federation
129110, Moscow, ul. Shchepkina, 42

² PJSC «TGK-1»
198188, St. Petersburg, Dobrolyubova ave., 16/A

³ NP «CTSCenter UES»
111250, Moscow, Russia, ul. Krasnokazarmennaya, 13, bldg. "P"

Technologies are presented that are designed to implement a risk-based approach in the management of production assets in terms of implementing ontological modeling to assess the technical condition of equipment, potential damage, risk, determination of the composition, scope of work, timing, cost and scheduling, predictive diagnosis of equipment.

The problems of creating universal classifiers of production assets, duplicate items that have different interpretations in the name of the same equipment group, an incomplete list of positions by equipment groups, inconsistency of classification items and their attributes in various directories are identified and presented.

Scientific approaches are outlined to the formation of classifiers of the main technological equipment (MTE) in the electric power industry. The place of classification in the general algorithm of ontological modeling of production activities of energy facilities and the industry as a whole is determined, the urgent need is pointed out for classification work to introduce digital asset management technologies.

National standards are presented that define the requirements for the profiles of information models and the organization of information communication in the electric power industry and establish the composition of the information model to ensure unambiguous interpretation of transmitted and received data by all participants in the information communication in the electric power industry and comply with international standards, which allows implementing ontological modeling in accordance with the series CIM standards of the International Electrotechnical Commission (IEC).

Analysis of the experience of the MTE classification in energy companies by type of production activity is made and presented, with the main problems in classifying their energy equipment and other physical assets identified. Comparative characteristic is given to the Russian classification systems and foreign ERP-systems. General approaches to classification issues are formed. Possible options for classifying assets are considered. Units of classification by depth and significance are defined for further use in the process of managing the "operation" stage of their life cycle. Specific directions are presented for using uniform equipment classifiers for cluster analysis of physical assets and developing decisions on the technical impact on them during the life cycle.

KEYWORDS: energy facilities, production assets, asset management, classifiers, cluster analysis, physical asset life cycle

Введение

Бурное развитие цифровых технологий управления параметрами жизненного цикла производственных активов выдвигает в число первоочередных системобразующих задач задачи идентификации оборудования, обобщения опыта работы с ним и унификации приемов, методов и механизмов моделирования. Декомпозиция технологического оборудования до функциональных узлов, их идентификация и последующая классификация являются основными процессами онтологического моделирования функционирования энергетических объектов. Существующее многообразие подходов к формированию информационного поля моделирования процессов, обеспечивающих жизненный цикл оборудования будет вносить и уже вносит трудности в работу, не позволяет обеспечивать трансляцию опыта эксплуатации, технического обслуживания и ремонтов оборудования всем субъектам, обеспечивая положительную синергию производственных процессов. Для устранения этих проблем необходимо ответить на следующие вопросы. Как обеспечить синхронизацию различных подходов к идентификации оборудования? Как согласовать различные кодировки

одних и тех же единиц технологического оборудования (ЕТО/ЕО)? Что и какие признаки-атрибуты оборудования взять за основу классификации? И как эти самые атрибуты использовать в цифровых системах (справочниках, прототипах, моделях)? Рассмотрению этих актуальных вопросов, вопросов классификации основного технологического оборудования посвящена предлагаемая статья.

Актуальность темы

В ходе внедрения цифровых технологий в энергетике сформировалось противоречие между необходимостью реализации системной унификации идентификации оборудования и многообразием подходов к его осуществлению. В настоящее время, когда цифровые технологии обработки больших массивов данных становятся практически фактором производства, это неразрешенное противоречие практически блокирует, делает невозможным движение к созданию онтологической модели деятельности энергообъектов, осуществлению предиктивного анализа состояния оборудования и обоснованному выбору видов технического воздействия на него. Это противоречие фор-

мирует проблему, разрешение которой определяет актуальность рассматриваемой темы.

Системы классификации оборудования энергообъектов

В настоящее время на предприятиях электроэнергетики классификаторы используются для решения различных задач, в том числе по учету основных производственных фондов (бухгалтерский, имущественный учет), основной единицей которого является агрегат, установка, единица оборудования (ЕО). Для этого применяются общероссийские классификаторы ОКВЭД, ОКОФ, ОКПД 2, классификаторы Минпромторга, Минстроя и международные классификаторы (ККС), в том числе классификаторы ERP (SAP), и другие.

Ряд генерирующих и электросетевых компаний, в том числе ПАО «Россети», ПАО «РусГидро», ПАО «Лукойл», ПАО «Интер РАО» имеют опыт создания классификаторов оборудования и внедрения их в автоматизированных информационных системах. При этом в разных компаниях применяются различные классификаторы, в каждом из которых структура и наименования объектов различны и в результате неоднозначны на отраслевом уровне, что препятствует взаимодействию для эффективного решения информационных и управленческих задач.

Так, в ПАО «Интер РАО» разработан классификатор основных производственных фондов генерирующих компаний и тепловых сетей.

Система классификации разработана в соответствии со следующими нормативными документами:

- ГОСТ 6.01.1-87 «Единая система классификации и кодирования технико-экономической информации. Основные положения»;
- ПР 50-735-93 «Положение о ведении общероссийских классификаторов на базе информационно-вычислительной сети Госкомстата России».

Классификатор устанавливает единые методологические и организационные основы по определению групп генерирующего оборудования и их кодированию, что обусловлено необходимостью обеспечения информационной совместимости при обмене данными с централизованными Государственными Информационными Системами (ГИС).

В ПАО «РусГидро» утвержден классификатор основных фондов и нематериальных активов.

Классификатор состоит из следующих разделов:

- здания;
- земельные участки;
- сооружения;
- машины и оборудование;
- административно-хозяйственное оборудование;
- транспорт;
- нематериальные активы;
- прочие основные фонды.

Все указанные разделы имеют систему кодов, включающих:

- группу оборудования;

- класс оборудования;
- подкласс оборудования;
- наименование объекта;
- код ОКОФ.

В зависимости от особенностей оборудования, выделяются разные виды конструктивных элементов оборудования:

- ресурсопределяющие узлы оборудования;
- ресурсопределяющие конструктивные элементы оборудования;
- технологические системы оборудования.

Состав базовых классификаторов и справочников системы нормативно-справочной информации ПАО «Россети» включает в себя:

- классификатор основного производственного оборудования, включая марки оборудования (КОПО);
- классификатор оборудования для расчета индекса состояния (КОРИС);
- справочник параметров оборудования;
- справочник позиций измерений параметров;
- справочник нормативных значений параметров (по маркам оборудования);
- справочник единиц измерения параметров;
- справочник дефектов оборудования;
- справочник групп измерений;
- справочник видов технических мест;
- справочник шаблонов типовых технических мест;
- справочник видов технологических отключений;
- справочник технологических карт.

Классификатор основного производственного оборудования предназначен для определенных видов оборудования и подразделяется на классы, которые объединяются в иерархическую структуру, отражающую описание оборудования от общих свойств группы оборудования до детализации свойств отдельного вида и марки оборудования.

Оборудование, установленное на подстанциях и линиях электропередач, идентифицируемое по модели, марке, серийному номеру завода-изготовителя, описывается как единица оборудования.

Единица оборудования отражает реально существующий физический объект, для которого необходимо самостоятельно вести историю монтажа, диагностики, технического обслуживания и ремонтов. На рисунке 1 представлены группировки оборудования.

Система классификации в ДЗО ПАО «Лукойл» организована в соответствии с Системой идентификации для электростанций Kraftwerk Kennzeichensystem (KKS), разработанной немецким объединением промышленников VGB, с учетом адаптации и принятых положений РД 153-34.1-35.144-2002 «Рекомендации по применению современной универсальной системы кодирования оборудования и АСУТП ТЭС» (утв. Департаментом научно-технической политики и развития ПАО «ЕЭС России» 03.07.2002).

Система идентификации KKS служит для обозначения установок, частей установок и позиций оборудования в соответствии с задачей, типом и местоположением и представляет собой систематизированный набор кодов,

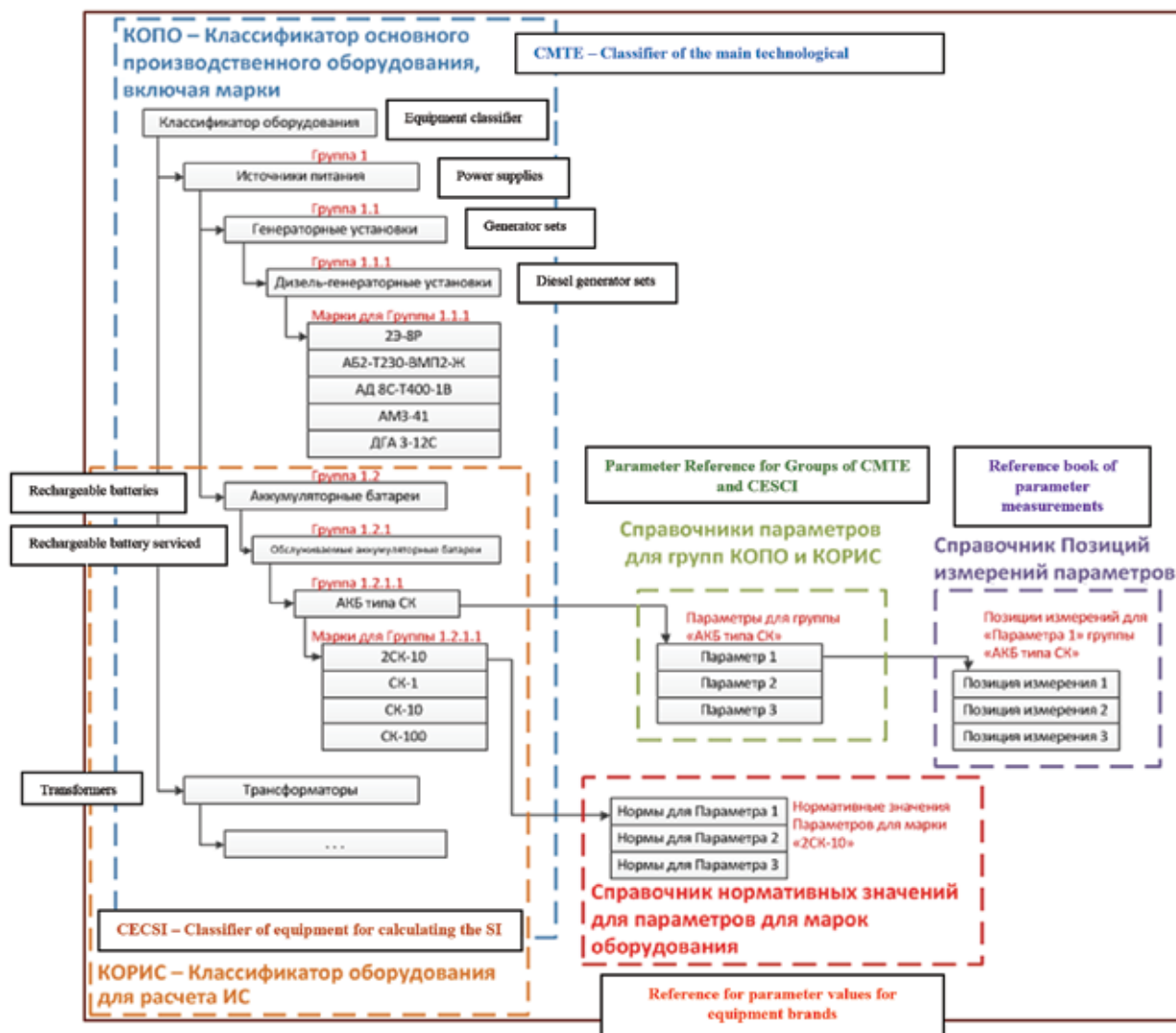


Рисунок 1. Группировка оборудования

Picture 1. Equipment groups

построенный по принципу «от общих групп к частным подгруппам». С помощью этих кодов могут быть идентифицированы все объекты электростанции, среди которых выделены характерные классы (технологические объекты, монтажные единицы, строительные объекты) [1].

Анализ действующих классификаторов показал отсутствие единых методологических подходов к классификации, идентификации (кодированию) объектов электроэнергетики, их оборудования / функциональных узлов, а также параметров, характеризующих, в том числе, техническое состояние, а именно:

- в каждой компании классификаторы и справочники строго ограничены составом и спецификой эксплуатируемых видов, типов и классов оборудования;
- не определен состав оборудования и его функциональных систем/узлов, конструктивных элементов и деталей в отношении, которого формируется оценка технического состояния;
- отсутствует единый подход к степени детализации/разукрупнению основных типов энергетического оборудования электрических станций и электрических сетей, к определению оптимального состава контролируемых

параметров оборудования, их значимости (весу) в итоговой количественной и качественной оценке;

- не в полной мере сформирована топология параметров, характеризующих текущее состояние функциональных систем/узлов и деталей в составе базовой системы оценки технического состояния оборудования;
- отсутствует единая система идентификации/кодирования оборудования;
- в связи с различиями систем оценки и как следствие получаемых результатов оценки технического состояния отсутствует корректная возможность сравнительного анализа технического состояния объектов электроэнергетики и их оборудования на отраслевом уровне.

Министерством энергетики ведутся исследования и разработки по формированию отраслевых требований к классификаторам и подготовлен доработанный приказ о введении классификатора основного технологического оборудования. Сформированные предложения по отраслевому классификатору должны быть применимы для следующих видов основного технологического оборудования и сооружений электрических станций и электрических сетей:

- паровые турбины установленной мощностью 5 МВт и более;
- газовые турбины установленной мощностью 5 МВт и более;
- гидротурбины установленной мощностью 5 МВт и более;
- гидрогенераторы номинальной мощностью 5 МВт и более;
- турбогенераторы номинальной мощностью 5 МВт и более;
- силовые трансформаторы (автотрансформаторы) напряжением 110 кВ и выше;
- паровые (энергетические) котлы;
- воздушные и кабельные линии электропередачи напряжением 110 кВ и выше [2].

Для эффективного решения отраслевых информационных и управленческих задач и для принятия решений о технических воздействиях на оборудование предлагается использовать единый отраслевой классификатор в системах управления производственными активами всех энергетических компаний.

В связи с тем, что на сегодняшний день определены не все задачи, решаемые на различных этапах жизненного цикла, на первоначальном этапе отраслевой классификатор будет использоваться в системах управления производственными активами на этапе жизненного цикла «Эксплуатация».

Для разработки и внедрения задаче-ориентированных классификаторов необходимо создать модель предприятия, описать субъекты и объекты деятельности и все решаемые задачи на различных этапах жизненного цикла (задача должна быть включена в проект дорожной карты по развитию Проекта).

Зарубежные компании достаточно часто применяют при управлении активами модули SAP. Одним из таких модулей является SAP ТОРО (техническое обслуживание и ремонт оборудования) в SAP, который позволяет оптимизировать процессы технического обслуживания оборудования, запланировать ремонтные работы без ущерба для производственной деятельности, определить необходимый размер финансовых средств на запчасти и работы.

Модули ТОРО SAP позволяют автоматизировать управление техническим обслуживанием и ремонтом оборудования на предприятии, оптимально распределив сроки ТО и финансовые ресурсы, выделяемые на эти цели. Для решения поставленных задач в программе задаются единицы оборудования, технические рабочие места, спецификация и технологические карты ТОРО. Внедрение модуля SAP ТОРО позволяет планировать предупредительное ТО и ремонт оборудования, автоматически создавать сообщения и заказы ТОРО на основе измерений и показаний счетчиков, хранить историю техобслуживания для анализа данных по расходу запчастей, в т. ч.:

- автоматизировать ведение данных по оборудованию (технические места, единицы оборудования, его классификация, спецификация технических объектов и т. п.);
- провести паспортизацию оборудования;

- обеспечить ведение баз данных по нормативам и каталогам ТОРО;

- произвести расчет потребностей в материалах, агрегатах, запасных частях и обеспечить формирование заявок на их закупку в необходимых количествах и ассортименте;

- обеспечить учет и контроль выполнения ремонтных работ, в т. ч. контроль выполнения проведенных ремонтов, подтверждения фактического количества часов, затраченных на проведение ремонтных работ, отпуск материалов;

- вести управление закупками (составить графики закупок для обеспечения своевременной поставки материалов и запчастей для ремонта и технического обслуживания оборудования);

- планировать численность персонала и иных видов материальных ресурсов, необходимых для ТОРО;

- эффективно распределять и корректировать затраты на ремонт по выбранным показателям (структурное подразделение, определенный период времени) [3].

Комплексное описание актива достигается за счет данных диагностики, измерений, испытаний, дефектов, получаемых из АСУТП и в ходе осмотров, а также имеющихся статистических данных.

За управление техническим обслуживанием и ремонтами по современным представлениям отвечает класс информационных систем, называемый «Системы управления производственными (физическими) активами предприятия». Соответствующий англоязычный термин — Enterprise Asset Management (EAM).

Эти системы решают комплекс задач, связанных с эффективностью использования всех физических активов предприятия, производственного оборудования, зданий и сооружений, вспомогательного оборудования и инженерных сетей.

Система класса EAM включает в себя подсистему поддержки принятия решений, которая предоставляет руководителю интегральные показатели, например, подсистему мониторинга простоев оборудования (основанную на показателях доступности, эффективности и качества). Функции систем класса EAM охватывают широкий круг задач: от паспортизации оборудования, выбора стратегий обслуживания и планирования ТО и ремонтов до обеспечения процессов ТОиР персоналом и ресурсами (как материальными, так и финансовыми), анализа результатов управления и пересмотра программ обслуживания.

Возможности EAM сводятся к следующим:

- состав и иерархическая структура оборудования;
- склад запасных частей и материалов;
- трудовые ресурсы;
- формирование и обработка заявок на снабжение;
- планирование предупредительного обслуживания;
- учет и контроль затрат;
- учет и контроль выполнения работ;
- стандартная и специальная отчетность;
- поддержка всего жизненного цикла оборудования;
- сервисное обслуживание;
- прогнозируемое обслуживание (по состоянию);

- выбор стратегии обслуживания;
- управление физическими рисками владения активами;
- обслуживание, ориентированное на надежность;
- анализ коренных причин отказов;
- анализ стоимости жизненного цикла активов;
- управление технической документацией;
- анализ эффективности использования активов;
- планирование развития производственных активов [3].

Сегодня модули для управления ТОиР есть в большинстве интегрированных систем управления предприятиями (как зарубежных: SAP R3, Microsoft Dynamics и др., так и отечественных, таких, как «1С:ERP Управление предприятием», «Галактика ERP» и др.).

Система EAM позволяет достичь показателей надежности и операционной эффективности, а именно предполагается:

- увеличение использования ресурсов;
- сокращение простоев;
- соответствие планам;
- увеличение доступности оборудования;
- сокращение складского запаса;
- ускорение процесса ремонтов;
- увеличение эффективности обслуживания;
- сокращение переработок;
- сокращение затрат на материалы;
- увеличение эффективности бюджетирования;
- сокращение затрат при единой системе, исключение избыточности.

В идеальном варианте процессы управления производственными активами должны быть автоматизированы в рамках единой информационной системы управления, построенной на основе программного обеспечения класса EAM или ERP (Enterprise Resource Planning — планирование ресурсов предприятия). При этом Международной Электротехнической Комиссией (МЭК или по-английски IEC) разработан набор открытых стандартов для представления элементов электроэнергетических систем (в том числе IEC 61968-11(2013)), оформленных в виде общей информационной модели (Common Information Model) или CIM.

15.11.2019 г. в России приняты ГОСТ Р 58651.1 – 15.11.2019 «Информационная модель электроэнергетики. Основные положения» и ГОСТ Р 58651.2 – 15.11.2019 «Информационная модель электроэнергетики. Базисный профиль информационной модели», которые определяют требования к профилям информационных моделей и организации информационного обмена в электроэнергетике и устанавливают состав информационной модели для обеспечения однозначной интерпретации передаваемых и получаемых данных всеми участниками информационного обмена в электроэнергетике. Принятие ГОСТов дает дополнительный импульс работам по разработке единых отраслевых классификаторов основного технологического оборудования.

Опыт разработки классификаторов показывает, что основным источником информации для формирования классификатора основного оборудования должны быть

данные структур оборудования, технических мест, единиц оборудования и различных вспомогательных справочников.

Для осуществления работ должна быть проведена классификация выделенного состава оборудования в соответствии с разработанной методико-регламентной документацией и типовой структурой оборудования.

Для создания классификаторов в энергетике наиболее приемлемыми являются комбинированные фасетные и иерархические схемы с параллельным и последовательным кодированием оборудования. При этом основными принципами/правилами формирования записей должны стать следующие принципы:

- 1) наследования, первоочередность наиболее общих признаков;
- 2) использование на каждой ступени только одного признака, имеющего принципиальное значение для этого этапа;
- 3) разделение объектов последовательно — от большего к меньшему, от общего к частному;
- 4) выбор из множества признаков одинаковой степени общности наиболее существенного;
- 5) необходимость установления оптимального числа признаков и ступеней, а также глубины;
- 6) одинаковая значимость и независимость используемых классификационных признаков;
- 7) отсутствие общности классификационных признаков (уникальность признаков);
- 8) возможность дополнения количества признаков.

После разработки Единого классификатора установок, технологических систем и групп оборудования к нему привязывается разработанный справочник основных и вспомогательных Функций. За основу при разработке данного справочника должен быть взят подход к функциональной классификации по стандарту KKS (Kraftwerk Kennzeichen System). Пример представлен на рисунке 2.

Классификация при онтологическом моделировании используется для проведения кластерного анализа и выработки рационального решения о техническом воздействии на оборудование по его фактическому состоянию.

Кластерный анализ — один из методов многомерной статистики. Он наиболее ярко отражает черты многомерности в процедуре классификации объектов. Главное назначение кластерного анализа — разбиение множества исследуемых объектов, характеризуемых совокупностью признаков, на однородные в соответствующем понимании группы (кластеры). Это означает, что решается задача классификации данных и выявления соответствующей структуры в ней.

Кластер — группа элементов, характеризуемых общим свойством, главная цель кластерного анализа — нахождение групп схожих объектов в выборке. Кластерный анализ выполняет следующие основные задачи:

- Разработка типологии или классификации.
- Исследование полезных концептуальных схем группирования объектов.
- Порождение гипотез на основе исследования данных.

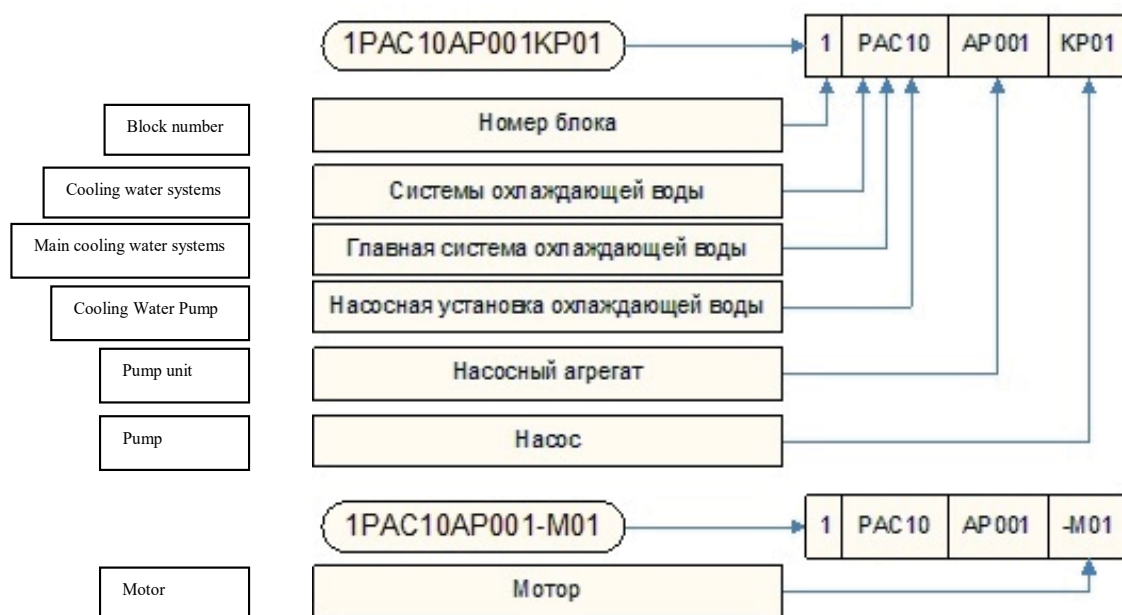


Рисунок 2. Функциональная классификация по стандарту KKS [4]
Picture 2. Functional classification according to the KKS standard [4]

- Проверка гипотез или исследования для определения, действительно ли типы (группы), выделенные тем или иным способом, присутствуют в имеющихся данных.
- Независимо от предмета изучения применение кластерного анализа предполагает следующие этапы:
 - Отбор выборки для кластеризации.
 - Определение множества переменных, по которым будут оцениваться объекты в выборке.
 - Вычисление значений той или иной меры сходства между объектами.
 - Применение метода кластерного анализа для создания групп сходных объектов.
 - Проверка достоверности результатов кластерного решения [5].
- Решение этих задач методами кластеризации позволит определить рациональные решения по ТОиР оборудования и обеспечить автоматизацию процессов подготовки управленческих решений на владение им и оптимизацию его жизненного цикла.

Заключение

Классификация оборудования является существенной составляющей внедрения в энергетике цифровых технологий. Вопросы классификации решаются в каждой энергетической компании по-разному. Министерство энергетики совместно с энергетическими компаниями разрабатывают универсальные подходы к классификации оборудования для эффективного решения отраслевых информационных и управленческих задач, для принятия решений о технических воздействиях на оборудование и создания онтологических моделей производственной деятельности отрасли. В целях унификации подходов к классификации оборудования необходимо на базе стандартов МЭК и опыта

работы в этом направлении зарубежных и Российских компаний закрепить в нормативных документах правила и требования к классификаторам оборудования энергетических компаний и обеспечить их синхронизацию на уровне отрасли.

Использованные источники

1. Гребчак Е. П. Цифровая трансформация энергетики. // Энергия единой сети 2018; 4 (40). 12–26.
2. Приказ Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. № 676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей».
3. Управление жизненным циклом активов при помощи EAM-решений, <https://www.sap.com/cis/>. 12.11. 2019
4. РД 153-34.1-35.144-2002, Рекомендации по применению современной универсальной системы кодирования оборудования и АСУ ТП ТЭС. Основные положения.
5. Орлов А. И. Теория принятия решений // М.: Экзамен 2006; 473.

References

1. Grabchak E.P. Digital transformation of energy. Basic approaches // Energy of a single network 2018; 4 (40). 12–26.
2. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated July 26, 2017 No. 676 «On approval of the methodology for assessing the technical condition of the main technological equipment and power lines of electric stations and electric networks».
3. Asset lifecycle management using EAM solutions, <https://www.sap.com/cis/>. 12.11. 2019
4. RD 153-34.1-35.144-2002, Recommendations on the use of a modern universal coding system for equipment and process control systems of thermal power plants. Key Points.
5. Orlov A. I. Theory of decision-making // M.: Exam 2006; 473.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-11-16>

УДК 621.311

Учет критерия балансовой надежности при оптимизации перспективной структуры энергосистемы

Беляев Н. А.^{1*}, Егоров А. Е.¹, Коровкин Н. В.², Чудный В. С.³

¹ ФГБУ «Российское энергетическое агентство Министерства энергетики Российской Федерации»
пр. Мира, д. 105, стр. 1, Москва, 129085, Россия

² ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

³ АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы»
ул. Курчатова, д. 1, лит. А, г. Санкт-Петербург, 194223, Россия

Поступила / Received 31.01.2020

Принята к печати / Accepted for publication 27.02.2020

Рассматривается метод оптимизации перспективной структуры электроэнергетической системы (далее — ЭЭС) по двум критериям: экономической эффективности (минимизации удельных приведенных затрат на электроснабжение потребителей) и балансовой надежности (минимизация вероятности дефицита мощности). Предлагаемый метод основан на применении генетического алгоритма. Представлены результаты апробации метода на примере оптимизации структуры генерирующих мощностей в концентрированной ЭЭС.

При планировании развития ЭЭС рассматриваются технические решения по развитию ЭЭС, которые по типу и технико-экономическим показателям могут быть сгруппированы в технологии. К технологиям развития генерации относятся агрегаты и энергоблоки электростанций разных типов различной единичной мощности. К технологиям развития электрической сети — новые линии электропередачи разных классов напряжения, а также средства компенсации реактивной мощности, позволяющие повысить их пропускную способность. Для каждой технологии должны быть заданы необходимые для вычисления целевых функций технико-экономические показатели и показатели надежности. Также в качестве исходных данных задаются параметры спроса на электроэнергию в ЭЭС: прогнозные электропотребление, максимум и график электрической нагрузки, показатели нерегулярных отклонений нагрузки с детализацией по отдельным узлам ЭЭС.

Для решения задачи, учитывая ее дискретность и наличие двух критериев, предлагается использовать генетический алгоритм. Расчет целевых функций на каждом шаге алгоритма производится с использованием метода Монте-Карло. В сравнении с классической постановкой задачи планирования развития ЭЭС решение предложенной задачи позволяет не только учесть нормативные требования к балансовой надежности ЭЭС, но и выбрать оптимальный уровень балансовой надежности, исходя из оценки прироста затрат на его обеспечение с учетом структуры конкретной ЭЭС и возможных технических решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроэнергетическая система, планирование развития, балансовая надежность, оптимизация затрат, генетический алгоритм

Адрес для переписки:

Беляев Н. А.
ФГБУ РЭА Минэнерго России
пр. Мира, д. 105, стр. 1, Москва, 129085, Россия
e-mail: Belyaev.NA@yandex.ru

Address for correspondence:

Belyaev N. A.
Russian Energy Agency Ministry of Energy of the Russian Federation
Mira av., 105, 1, Moscow, 129085, Russia
e-mail: Belyaev.NA@yandex.ru

Для цитирования:

Беляев Н. А., Егоров А. Е., Коровкин Н. В., Чудный В. С. Учет критерия балансовой надежности при оптимизации перспективной структуры энергосистемы. 2020. – Т. 13, №1. – С. 11–16.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-11-16>

For citation:

Belyaev N. A., Egorov A. E., Korovkin N. V., Chudny V. S. [Allowance for capacity adequacy criterion in optimizing the prospective structure of electric power system]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2020, vol. 13, no. 1, pp. 11–16. (in Russian).
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-11-16>

Consideration of capacity adequacy criterion in optimizing the prospective structure of electric power system

Belyaev N. A.^{1*}, Egorov A. E.¹, Korovkin N. V.², Chudny V. S.³

¹ Russian Energy Agency Ministry of Energy of the Russian Federation
Shchepkina str., 40, Moscow, 129110, Russia

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Polytechnicheskaya str., 29, St. Petersburg, 195251, Russia

³ Scientific and Technical Center of Unified Power System
Kurchatova str. 1A, St. Petersburg, 194223, Russia

This paper considers a method for optimization of the prospective structure of electric power system (EPS), with account made for two criteria: cost-efficiency (minimization of specific reduced energy costs for customers) and capacity adequacy (minimization of capacity shortage probability). The proposed procedure is based on application of a genetic algorithm. The results of procedure evaluation have been considered by the example of optimization of the structure of generating capacities within a concentrated electric power system.

When planning EPS, engineering solutions should be examined that may be grouped in technologies based on the type and performance-based indicators. Technologies of generation development cover power station units and power generation plants of various types of different unit capacity. Technologies covering the development of electrical networks are as follows: construction of new power transmission lines of various voltage classes as well as means of reactive power compensation making possible to expand their capacity. Each technology should be provided with performance indicators and reliability data so as to ensure the calculation of target functions. Parameters related to the demand of power supply in EPS must be given as source data: forecast power consumption, peak electrical demands and electricity load curves, nonconforming load indicators with details for every node of electric power system.

To solve the problem while considering its discreteness and availability of two criteria, it is suggested to use a genetic algorithm. The calculation of target functions at each algorithm step is carried out by applying the Monte-Carlo technique. Compared to the standard problem statement of EPS planning, the solution of the proposed problem allows not only taking into account regulatory requirements as to EPS capacity adequacy but also selecting an optimal level of capacity adequacy on the basis of evaluation of a rise of costs incurred for providing the same, with due account made for the structure of a specific EPS and potential engineering solutions.

KEYWORDS: electric power system, development planning, capacity adequacy, cost optimization, genetic algorithm

Введение. Постановка задачи

Классическая постановка задачи планирования развития электроэнергетических систем ЭЭС сводится к минимизации суммарных приведенных затрат Z на электроснабжение потребителей [1, 2]:

$$Z(\mathbf{x}) = \sum_t (Z_t^K(\mathbf{x}) + Z_t^O(\mathbf{x})) \cdot (1 + d)^{-t} \rightarrow \min, \quad (1)$$
$$\mathbf{x} \in R,$$

где Z_t^K , Z_t^O — капитальные и операционные затраты в году t соответственно, d — ставка дисконтирования. Переменными $\mathbf{x}$ в задаче (1) являются основные технические решения по развитию систем производства, передачи и распределения электрической энергии, определяющие величину и структуру затрат. Область ограничений R определяется требованиями к надежности и безопасности ЭЭС, влияющими на выбор отдельных технических решений или их сочетаний. К таким ограничениям относятся, в том числе, требования к балансовой надежности ЭЭС, которые задаются в виде нормативного значения показателя балансовой

надежности (ПБН) или соответствующего ему необходимого резерва мощности [3, 4].

Такой подход к учету требований балансовой надежности имеет недостатки, поскольку требует технико-экономического обоснования указанного нормативного значения ПБН. Такое обоснование затруднено из-за отсутствия в настоящее время адекватных оценок ущербов от дефицита мощности и сложности их получения в связи с многообразием состава потребителей в ЭЭС и режимов их работы. Кроме того, известные методы обоснования нормативного значения ПБН [5] основаны на допущении линейной зависимости затрат на резервную мощность от ее величины, что, как правило, не справедливо, учитывая реальный состав генерирующих мощностей в энергосистемах.

В связи с этим предлагается двухкритериальная постановка задачи планирования развития ЭЭС, предусматривающая минимизацию затрат при минимизации ПБН — вероятности J_d дефицита мощности в ЭЭС

$$\begin{aligned} Z(\mathbf{x}) &\rightarrow \min, \\ J_d(\mathbf{x}) &\rightarrow \min, \\ \mathbf{x} &\in R. \end{aligned} \quad (2)$$

Исходные данные, переменные и ограничения в задаче

При планировании развития ЭЭС рассматриваются технические решения по развитию ЭЭС, которые по типу и технико-экономическим показателям могут быть сгруппированы в технологии [2]. Возможный состав таких технологий представлен в таблице. К технологиям развития генерации (G) относятся агрегаты и энергоблоки электростанций разных типов различной единичной мощности. К технологиям развития электрической сети — новые линии электропередачи разных классов напряжения, а также средства компенсации реактивной мощности, позволяющие повысить их пропускную способность. Для каждой технологии должны быть заданы необходимые для вычисления целевых функций (2) технико-экономические показатели и показатели надежности. Также в качестве исходных данных задаются параметры спроса на электроэнергию в ЭЭС: прогнозные электропотребление, максимум и график электрической нагрузки, показатели нерегулярных отклонений нагрузки с детализацией по отдельным узлам ЭЭС.

Переменными в задаче являются дискретные величины $X_{k,i} \in X$, соответствующие количеству принимаемых к реализации мероприятий технологии k в узле i , под которым понимается часть энергосистемы (зона), внутри которой отсутствуют ограничения на передачу мощности [6].

Область R описывается следующими ограничениями:

- максимально или минимально возможное (с учетом существующей структуры ЭЭС и принятых к реализации решений) количество $(\underline{X}_{k,i}, \bar{X}_{k,i})$ мероприятий каждой технологии:

$$\underline{X}_{k,i} \leq X_{k,i} \leq \bar{X}_{k,i}, \quad (3)$$

- необходимый по величине максимальной электрической нагрузки $N_{\max}$ суммарный объем генерирующих мощностей:

$$\sum_i \sum_k P_k X_{k,i} \geq N_{\max}, \quad k \in G, \quad (4)$$

где P_k — единичная располагаемая мощность генерирующего оборудования по технологии k ,

- технические ограничения суммарной мощности $(\underline{P}_{k,i}, \bar{P}_{k,i})$ отдельных видов электростанций: по технологическому минимуму, поставкам топлива, по требуемому объему отпуска тепловой энергии (для ТЭЦ) и др.:

$$\underline{P}_{k,i} \leq P_k X_{k,i} \leq \bar{P}_{k,i}. \quad (5)$$

Решение задачи

Для решения задачи (2) с учетом ограничений (3) – (5), учитывая ее дискретность и наличие двух критериев, предлагается использовать генетический алгоритм, основные положения которого применительно к от-

раслевым задачам представлены в [8]. Расчет целевых функций на каждом шаге алгоритма производится с использованием метода Монте-Карло в следующем порядке:

1. Для каждого сформированного варианта решения разыгрывается множество случайных состояний ЭЭС с учетом плановых и неплановых ремонтов оборудования ЭЭС, регулярных и нерегулярных изменений нагрузки, изменений располагаемой мощности электростанций сезонного и стохастического (для солнечных и ветровых электростанций) характера на основе заданных в составе исходных данных показателей. Для каждого разыгранного состояния определяются: рабочая мощность P_{pi} электростанций в узлах, нагрузка N_i потребителей в узлах, пропускная способность $Z_{i,j}$ связей между узлами. Аналогично могут учитываться отклонения технико-экономических показателей от ожидаемых (прогнозных) значений.

2. Для каждого случайного состояния решается задача минимизации дефицита мощности D_i :

$$\begin{aligned} \sum_i D_i &\xrightarrow{P_{Hi}} \min \\ \sum_i (P_{Hi} - n_i) &= 0, \\ \forall i: D_i = N_i - n_i &\geq 0, \\ P_{Hi} &\leq P_{pi}, \\ \forall i, j: \sum_m k_m^{i,j} (P_{Hm} - n_m) &\leq Z_{i,j}, \end{aligned} \quad (6)$$

где P_{Hi} и n_i — фактические нагрузки электростанций и потребителей в узлах соответственно, $k_m^{i,j}$ — коэффициент линейной зависимости потока мощности между узлами i, j от мощности узла m (сетевой коэффициент). Порядок расчета сетевых коэффициентов представлен в [9].

3. Для полученных в результате решения (6) значений n_i решается задача минимизации операционных затрат 3^0 :

$$\begin{aligned} 3^0 &\xrightarrow{P_{Hi}} \min \\ \sum_i (P_{Hi} - n_i) &= 0, \\ \forall i: P_{Hi} &\leq P_{pi}, \\ 3^0 &= \sum_i \sum_k P_{Hk,i} 3_k^0, \\ \forall i, j: \sum_m k_m^{i,j} (P_{Hm} - n_m) &\leq Z_{i,j}, \end{aligned} \quad (7)$$

где 3_k^0 — удельные операционные затраты технологии k ($k \in G$).

4. По результатам решения (6) и (7) для множества случайных состояний определяются значения целевых функций (2) для сформированного варианта решения. Вероятность дефицита мощности определяется как относительное число состояний с дефицитом мощности, полученных по результатам решения (6), величина суммарных затрат — в соответствии с (1) с учетом средней величины 3^0 , полученной по результатам решения (7).

По результатам решения задачи (2) определяется

множество Парето-оптимальных решений, анализ которого позволяет, в том числе, определить влияние изменения нормативного значения ПБН на величину необходимых для его достижения затрат и выбрать наиболее приемлемый вариант развития ЭЭС.

Необходимо отметить, что для достижения приемлемой точности расчета целевых функций (2) количество разыгрываемых случайных состояний для каждого варианта решения должно составлять $\sim 10^6$. При этом для обеспечения сходимости генетического алгоритма при характерном количестве переменных ~ 20 численность одного поколения должна составлять не менее 10^3 . Таким образом, при числе поколений $\sim 10^2$ для получения решения рассматриваемой задачи необходимо выполнить оценку $\sim 10^{11}$ случайных состояний ЭЭС с решением (6) и (7).

Апробация

Расчеты выполнены для концентрированной (одно-узловой) ЭЭС. Максимум электрической нагрузки ЭЭС составляет 12,87 ГВт, коэффициент неравномерности графика нагрузки 0,77, коэффициент заполнения — 0,92. Для выполнения расчетов состав технологий принят по данным таблицы, показатели надежности оборудования, включая показатели планового и аварийного простоя (по данным [10]). Полученные результаты представлены на рисунке.

На рисунке по осям отложены значения целевых функций (2): по оси абсцисс — вероятность дефицита мощности, по оси ординат — себестоимость электроэнергии, соответствующая полученным суммарным затратам. Точками отмечены полученные решения. Общее количество полученных решений составило 375.

В советский период было обосновано и до настоящего времени применяется нормативное значение ПБН — вероятности бездефицитной работы на уровне

0,996 [5], что соответствует $J_d = 0,004$. Таким образом, при использовании такого норматива необходимо выбрать решение, которое выделено меткой на рисунке, цена на электроэнергию в этом случае составит 1,73 руб./кВт·ч. Но такой вариант оказывается неоптимальным, если рассмотреть другие полученные решения. Так, незначительное увеличение цены в пределах 1 коп./кВт·ч позволяет снизить J_d до уровня 0,00226. Также следует отметить, что объективно, с учетом неопределенности условий функционирования ЭЭС на долгосрочную перспективу, погрешность задания ряда параметров технологий, используемых в задаче в качестве исходных данных, прежде всего стоимостных показателей, может составлять до 5% и более, что соответственно влияет на точность определения затрат. При этом увеличение цены на 5% по сравнению с отмеченным на рисунке 1 решением (до 1,81 руб./кВт·ч, показано горизонтальным пунктиром) позволяет снизить J_d до уровня 0,00016, то есть более чем на порядок.

Дальнейшее снижение J_d может быть нецелесообразным, поскольку затраты растут более высоким темпом и незначительное снижение J_d ведет к существенному росту цены. При цене 1,97 руб./кВт·ч достигается минимальное значение $J_d \sim 6,3 \cdot 10^{-5}$, которое практически нечувствительно к увеличению цены. Диапазон изменения установленной мощности по полученным решениям составил от 14,95 ГВт до 22,15 ГВт, что соответствует величине полного резерва мощности от 16,2% до 72,1% от максимума нагрузки ЭЭС. Для отмеченного на рисунке решения, соответствующего нормативному ПБН, резерв мощности составил 19,7%. Для решения с ценой 1,81 руб./кВт и $J_d = 0,00016$ резерв мощности равен 29,8%.

Заключение

В сравнении с классической постановкой задачи пла-

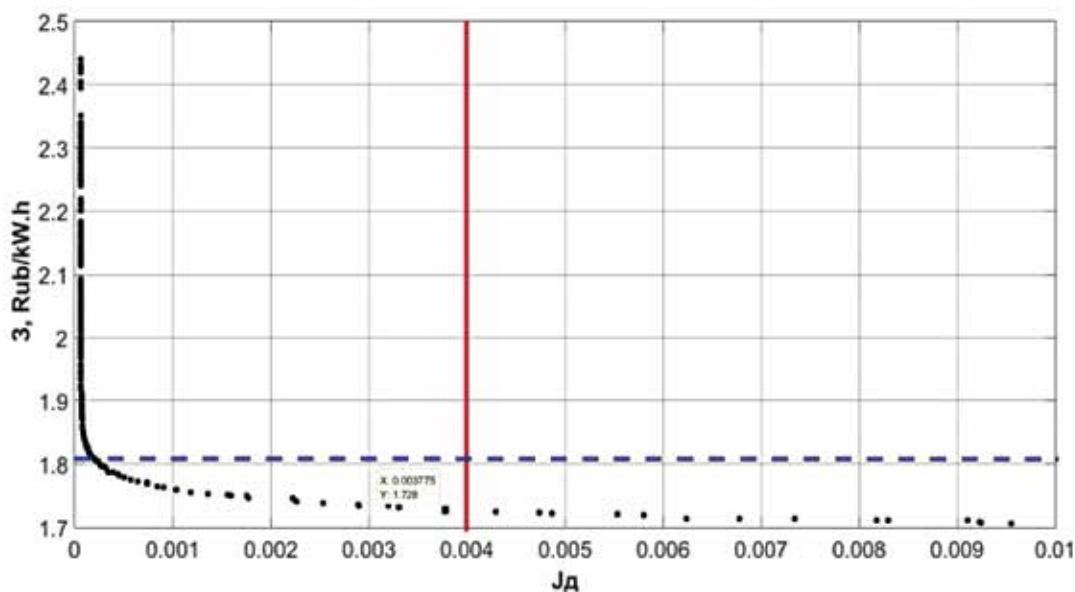


Рисунок. Результаты расчетов
Figure. Calculation results

Таблица. Состав технологий при планировании развития ЭЭС
Table. Structure of technologies at EPS planning

Тип	Название	Располагаемая (максимальная) мощность, МВт	Технологический минимум, МВт	Удельные капитальные затраты, тыс.руб./кВт, (млн руб./км)	Удельные операционные затраты, руб./кВт·ч,
Type	Name	Available (maximum) capacity, MW	Technological minimum, MW	Specific capital costs, th. Rub/kW (mln Rub/km)	Specific operational costs, Rub/ kW·h
Генерация / Generation					
ТЭЦ TRP	T-50 ST-50	50	40	55	1,17
ТЭЦ TRP	T-100 ST-100	100	80	50	1,11
КЭС CTPP	K-50 CTST-50	50	25	50	1,17
КЭС CTPP	K-100 CTST-100	100	50	45	1,11
КЭС CTPP	K-200 CTST-200	200	100	40	1,08
КЭС CTPP	K-300 CTST-300	300	150	37	1,05
КЭС CTPP	K-500 CTST-500	500	250	35	1,03
КЭС CTPP	K-600 CTST-600	600	360	50	0,70
КЭС CTPP	K-800 CTST-800	800	400	34	1,00
КЭС CTPP	ПГУ-150 CCP-150	150	60	60	0,77
КЭС CTPP	ПГУ-450 CCP-450	450	180	50	0,73
КЭС CTPP	ПГУ-800 CCP-800	800	240	40	0,69
КЭС CTPP	ГТ-50 GT-50	50	0	65	1,24
КЭС CTPP	ГТ-100 GT-100	100	0	60	1,17
ГЭС HPP	ГА-100 Hydraul- ic unit-100	100	15	145	-
ГЭС HPP	ГА-300 Hydraul- ic unit-300	300	30	120	-
АЭС NPP	ВВЭР-1200 LWGR-1200	1200	1200	110	-
ВЭС WG	ВЭС-50 WG-50	*	*	150	-
Сеть / Network					
ЛЭП TL	220 кВ 220 kV	249	-	12	-
ЛЭП TL	330 кВ 330 kV	748	-	13	-
ЛЭП TL	500 кВ 500 kV	1698	-	19	-
УШР CSR	на 1 кВАр per 1 kVAr	-	-	3	-
БСК CB	на 1 кВАр per 1 kVAr	-	-	0,4	-

* задается как ряд распределения вероятностей [7]

* to be specified as probability distribution series [7]

нирования развития ЭЭС (1) решение предложенной задачи (2) позволяет не только учесть нормативные требования к балансовой надежности ЭЭС, но и вы-

брать оптимальный уровень балансовой надежности, исходя из оценки прироста затрат на его обеспечение с учетом структуры конкретной ЭЭС и возможных тех-

нических решений. При этом на основе выполненных расчетов показана возможность значительного улучшения ПБН относительно нормативного уровня при незначительном, в пределах точности задания исходных данных, увеличении затрат.

Следует также отметить возможность развития поставки (2) путем включения в нее дополнительных критериев, актуальных при планировании развития ЭЭС. Такими критериями могут быть минимизация воздействия на окружающую среду (минимизация выбросов топливных электростанций), обеспечение энергетической безопасности (минимизация дефицита установленной мощности в отдельных узлах ЭЭС) и другие.

Список использованных источников

1. Ли В. Вероятностное планирование системы передачи электроэнергии. М. 2016;: 308.
2. Веселов Ф. В., Новикова Т. В., Федосова А. В. Основы экономики электроэнергетики: Методические указания. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина 2016;: 80.
3. Чукреев Ю. Я., Чукреев М. Ю. Модели оценки показателей балансовой надёжности при управлении развитием электроэнергетических систем. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН 2014;: 207.
4. Ковалёв Г. Ф., Лебедева Л. М. отв. ред. Н. И. Воропай. Надежность систем электроэнергетики. Новосибирск: Наука 2015;: 224.
5. Крупнев Д. С., Лебедева Л. М., Ковалев Г. Ф., Беляев Н. А., Егоров А. Е., Громов Р. Е. К оценке уровня резервирования генерирующей мощности в Единой энергосистеме России. Энергетическая политика 2018; (1): 33–44.
6. Belyaev N., Egorov A., Korovkin N., Chudny V. Economic aspects of ensuring the capacity adequacy of electric power systems. E3S Web of Conferences 2018; (58): 01010.
7. Krupnev D. Assessment of power system adequacy with renewable energy sources and energy storage systems. E3S Web of Conferences 2018; (58): 01012.
8. Korovkin N. V., Odintsov M. V., Frolov O. V. Operational planning in power systems based on multi-objective optimization. Power Technology and Engineering 2016; (1): 75–78.

9. Беляев Н. А., Коровкин Н. В., Чудный В. С. Формирование расчетных моделей электроэнергетических систем для оценки показателей балансовой надежности. Электричество 2018; (5): 11–17.

10. Непомнящий В. А. Надежность оборудования энергосистем. М.: Изд-во журнала «Электроэнергия. Передача и распределение» 2013;: 196.

References

1. Li W. Probabilistic transmission system planning. IEEE, EIC BC Hydro 2016;: 308. (In Eng.)
2. Veselov F. V., Novikova T. V., Fedosova A. V. Fundamentals of electric power's economics: Guidelines. M.: Publishing House of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas 2016;: 80. (In Russ.)
3. Chukreev Yu. Ya., Chukreev M. Yu. Models of evaluation of capacity adequacy indices when managing the development of electric power systems. Syktyvkar: Komi scientific centre of RAS Ural division 2014;: 207. (In Russ.)
4. Kovaliov G. F., Lebedeva L. M., main editor N.I. Voropay. Reliability of electric power systems. Novosibirsk: Nauka 2015;: 224. (In Russ.)
5. Krupnev D. S., Lebedeva L. M., Kovalev G. F., Belyaev N. A., Yegorov A. Ye., Gromov R. E. On assessment of generating capacity redundancy margin within the Unified Energy System of Russia. Energeticheskaya politika 2018; (1): 33–44. (In Russ.)
6. Belyaev N., Egorov A., Korovkin N., Chudny V. Economic aspects of ensuring the capacity adequacy of electric power systems. E3S Web of Conferences 2018; (58): 01010. (In Eng.)
7. Krupnev D. Assessment of power system adequacy with renewable energy sources and energy storage systems. E3S Web of Conferences 2018; (58): 01012. (In Eng.)
8. Korovkin N. V., Odintsov M. V., Frolov O. V. Operational planning in power systems based on multi-objective optimization. Power Technology and Engineering 2016; (1): 75–78. (In Eng.)
9. Belyaev N. A., Korovkin N. V., Chudny V. S. Development of computational models of electric power systems for the evaluation of capacity adequacy indices. Elektrichestvo 2018; (5): 11–17. (In Russ.)
10. Nepomniaschiy V. A. Reliability of electrical power system equipment. M.: Publishing House of magazine "Electroenergiya. Transmission and distribution" 2013;: 196. (In Russ.)



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-17-28>

УДК 621.311

Нормирование цифровых технологий тренажерных систем как способ обеспечения надежности условий обслуживания объектов электроэнергетики (часть 2)

Магид С. И.^{1*}, Загреддинов И. Ш.², Мищеряков С. В.³, Архипова Е. Н.¹, Самойлов В. Л.⁴

¹ АО «Тренажеры электрических станций и сетей», Варшавское шоссе, д. 125Ж, корп. 6, 117587, г. Москва, Россия

² АО «Институт Теплоэлектропроект», Спартаковская ул., д. 2а, стр. 1, 105066 г. Москва, Россия

³ Некоммерческое партнерство «Корпоративный образовательный и научный центр Единой энергетической системы им. А. Ф. Дьякова», ул. Красноказарменная д. 13, к. "П", 111250, г. Москва, Россия

⁴ ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного знамени теплотехнический научно-исследовательский институт», ул. Автозаводская, д. 14, 115280, г. Москва, Россия

Поступила / Received 05.08.2019

Принята к печати / Accepted for publication 19.03.2020

Рассматриваются вопросы нормирования цифровых тренажерных систем для обеспечения надежности условий обслуживания объектов электроэнергетики. Выявлены причины невозможности достижения основной цели первых и последующих нормативных документов, а именно единства структуры и функций технических систем и средств для подготовки персонала энергопредприятий, энергосистем и объединений. Показано, что гносеологическая цепочка: вопрос – проблема – гипотеза – аналитическая модель – эксперимент – имитационная модель определяет и структуру, и сущность современной методологии системно-имитационного моделирования энергетических объектов. При этом важнейшими современными методологическими предпосылками построения моделей является вероятностно-статистический подход и многокритериальная оптимизация. Достаточно подробно излагаются вопросы аналитического моделирования, системной концепции, моделирования в условиях дестабилизации, а также системных парадоксов модели объекта. Излагаются основные принципы системного подхода к построению всережимной модели реального времени, уровни ее детализации и применяемые на практике модели объектов управления. При этом уделяется большое внимание физико-статистическому подходу к идентификации имитационных моделей, их верификации и валидации. Изложена современная научная классификация моделей, принципов их упрощения. На основании изложенных позиций утверждается, что подход к построению всережимной модели реального времени состоит в разделении функций статического и динамического моделирования с направленной асимметрией точности разделенных функций. Обобщая изложенное, следует очевидный вывод о том, что принятые ранее нормативы определяли только требования к готовому изделию и его подсистемам, а вопросы методологии разработки модели и ее цифровой (программной) реализации вообще не рассматривались. В связи с изложенным представляется необходимым разработать новый нормативный методологический документ, в котором должна быть предусмотрена возможность раскрытия цели его разработки, а именно: обеспечение единства методики разработки структуры и функций цифровых технологических систем для подготовки персонала энергопредприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормирование, цифровые технологии, тренажерные системы, объекты электроэнергетики, надежность обслуживания

Адрес для переписки:

Магид С. И.

АО «Тренажеры электрических станций и сетей»

Варшавское шоссе, д. 125Ж, корп. 6, 117587, г. Москва, Россия

e-mail: magid@testenergo.ru

Address for correspondence:

Magid S. I.

JSC «Simulators of power plants and networks»

bldg. 6, 125Zh, Varshavskoe shosse, 117587, Moscow, Russia

e-mail: magid@testenergo.ru

Для цитирования:

Магид С. И., Загреддинов И. Ш., Мищеряков С. В., Архипова Е. Н., Самойлов В. Л. Нормирование цифровых технологий тренажерных систем как способ обеспечения надежности условий обслуживания объектов электроэнергетики (часть 2) // Надежность и безопасность энергетики 2020. – Т. 13, №1. – С. 17–28.

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-17-28>

For citation:

Magid S. I., Zagredtinov I. Sh., Mishcheryakov S. V., Arkhipova Ye. N., Samoylov V. L. [Standardization of digital technologies of simulator systems as a method of ensuring reliability of conditions of service of power engineering facilities (part 2)]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* = *Safety and Reliability of Power Industry* 2020, vol. 13, no. 1, pp. 17–28. (in Russian)

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-17-28>

Standardization of digital technologies of simulator systems as a method of ensuring reliability of conditions of service of power engineering facilities (part 2)

Magid S. I.^{1*}, Zagredtinov I. Sh.², Mishcheryakov S. V.³, Arkhipova Ye. N.¹, Samoylov V. L.⁴

¹ JSC "Simulators of power plants and networks", bldg. 6, 125Zh, Varshavskoe shosse, 117587, Moscow, Russia

² JSC Teploproekt Institute, Spartakovskaya St, 2a, bldg 1, 105066, Moscow, Russia

³ NP «CTSCenter UES named after A. F. Dyakov», Krasnokazarmennaya street, 13P, 111250, Moscow, Russia

⁴ JSC "All-Russia Thermal Engineering Institute", 14 Avtozavodskaya St, 115280, Moscow, Russia

Issues are considered of normalization of digital training simulator systems to ensure the reliability of conditions for maintenance of electric power industry facilities. The reasons are identified of impossibility of achievement of the basic purpose of the first and subsequent standard documents, namely the unity of the structure and functions of engineering systems and means for training of personnel of power enterprises, power systems and associations. It is shown that the question–problem–hypothesis–analytical model–imitation model gnoseological chain defines both the structure and the essence of modern methodology of systemic imitation simulation of power facilities. At the same time, the most important modern methodological prerequisites for modeling are the probabilistic-statistical approach and multi-criteria optimization. Issues of analytical simulation, systemic concept, simulation in destabilization conditions, as well as systemic paradoxes of facility simulation are described in sufficient detail. The basic principles of systemic approach to construction of an all-mode real-time model, levels of its detailing and models of objects of control applied in practice are stated. At the same time, a great attention is paid to the physical-statistical approach to identification of simulation models, their verification and validation. A modern scientific classification of models, principles of their simplification is stated. On the basis of the stipulated positions it is stated that the approach to construction of an all-mode real-time model consists in separation of static and dynamic simulation functions with directional asymmetry of accuracy of separated functions. To generalize the aforesaid, an obvious conclusion is drawn that the previously adopted standards only defined requirements to a finished product and its subsystems, whereas the questions of methodology of working out a model and its digital (program) implementation were not considered at all. It therefore appears necessary to develop a new normative methodological document, in which the possibility of disclosing the purpose of its development should be provided, namely: assuring the unity of the methodology of development of the structure and functions of digital technological systems for training the personnel of power industry enterprises.

KEYWORDS: normalization, digital technologies, training simulator systems, power industry facilities, reliability of maintenance

Введение

В первой части статьи [1] были рассмотрены вопросы нормирования цифровых тренажерных систем для обеспечения надежности условий обслуживания основных объектов электроэнергетики. Первые нормативные документы отрасли [2, 3] были разработаны с целью обеспечения **единства** структуры и функций технических систем и средств для подготовки персонала энергопредприятий, энергосистем и объединений и утверждены Минэнерго СССР в 80-х годах прошлого столетия.

Таким образом, планировалось организовать единую государственную систему подготовки, переподготовки и непрерывного повышения квалификации оперативного, обслуживающего и ремонтного персонала электроэнергетики.

Указанная система подготовки персонала была реализована только частично в связи с распадом СССР и реформированием единой энергосистемы.

Кроме того, основная цель первого этапа нормативизации — обеспечение **единства** структуры и функций технических систем и средств для подготовки

персонала не могла быть полностью достигнута из-за наличия следующих обстоятельств.

Во-первых, как начальные, так и все последующие стандарты, нормы и технические условия определяют только **требования** к функциональным свойствам подсистем тренажера, а именно: к рабочему месту оператора, рабочему месту инструктора, модели объекта регулирования, модели системы регулирования, учебно-методическому обеспечению и т. д., а вопросы методологии и методики разработки базовой подсистемы тренажера — математической модели объекта в указанных нормативных документах вообще не рассматриваются.

Во-вторых, перед разработчиком средства реализации тренажера, а именно его программного обеспечения (ПО), встают вопросы разработки **программной тренажерно-моделирующей среды**, которая и должна, собственно, моделировать теплотехническое, электротехническое и водоподготовительное оборудование и процессы в них. Указанные вопросы программирования также не нормируются и не рассматриваются.

И в-третьих, существующие разработки тренажеров отечественных и зарубежных фирм, связанных с авиа-

цией, атомной энергетикой и военно-промышленным комплексом, были в те времена, впрочем, как и сейчас, **строго засекречены**, так что вся информация методологического, методического и технико-прикладного характера для разработчиков тренажеров традиционной энергетики была практически недоступна.

Таким образом, в сложившихся условиях добиться единства структур и функций тренажерных систем для подготовки персонала было практически невозможно, поскольку методология разработки собственно тренажеров не была сформулирована и, естественно, не стандартизирована, а указанные «причины» или «обстоятельства» и определили то состояние в тренажеростроении, которое мы имеем на данный момент времени, и его негативные тенденции были фрагментарно рассмотрены в первой части статьи.

Каковы же современные перспективы развития систем подготовки персонала в мире?

По максимальной оценке Глобального института Мак Кинси 375 млн работников во всем мире (14% занятых) к 2030 г. придется сменить специальность из-за автоматизации, цифровизации, роста применения искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения. Минимальный прогноз — переучиваться придется 75 млн работникам (3% занятых).

Как следствие всеобщей трансформации технологического уклада рабочие места и компетенции меняются быстрее, чем люди или организации могут адаптироваться. Глобальный индекс компетенций Coursera за 2019 год показал, что две трети населения мира отстают в важнейших практических навыках. По данным исследований Всемирного экономического форума основные навыки, необходимые для выполнения большинства профессиональных обязанностей, к 2022 г. изменятся в среднем на 42%. Предвосхищая изменения таких масштабов, компании срочно пытаются найти и получить компетенции, необходимые для поддержания конкурентоспособности. Согласно недавнему опросу PricewaterhouseCoopers, сейчас недостаток навыков является одной из основных угроз для бизнеса, с точки зрения руководителей во всем мире.

В связи с изложенным, учитывая наличие глобальных потребностей в приобретении персоналом промышленности развитых и развивающихся стран новых компетенций, представляется весьма актуальным рассмотреть вопросы, связанные с методологией моделирования промышленных объектов, разработанной и широко применяемой российской компанией «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ»)¹ в практике проектирования и внедрения тренажеров на

предприятиях электроэнергетики РФ и стран СНГ.

Методология моделирования энергетических объектов

1. Мотивы, классификация и гносеологические аспекты моделирования. Современные положения теории математического моделирования физических объектов связаны с трудами известных зарубежных ученых: Н. Винера, У. Р. Эшби, К. Э. Шеннона и др., а также с трудами ученых российской школы: Вавилова А. А., Веникова В. А., Пухова Г. Е., Растригина Л. А., Попырина Л. С., Ротаца В. Я., Магида С. И., Дозорцева В. М. и др.

Отмечается пять основных мотивов применения моделей в качестве средства: осмысления действительности, общения, обучения, реализации эксперимента, инструмента прогнозирования.

Моделирование позволяет осуществлять косвенные (непрямые) эксперименты с системами как в процессе их проектирования, так и в ходе исследования свойств существующих систем. Вместо того, чтобы проводить дорогостоящие и сложные эксперименты или обучение на натуре, исследования или тренаж осуществляют на модели системы [4].

Модель как бы перебрасывает мост между натурным экспериментом и имитационным моделированием:

- пассивный натурный эксперимент — реальная система используется как объект для изучения и сбора статистики;
- полунатурный эксперимент — система изучается в условиях искусственного воспроизведения определенных режимов ее функционирования и воздействия внешней среды;
- физическое моделирование — модель воспроизводит изучаемый процесс (оригинал) с сохранением его физической природы;
- аналитическое моделирование — модель описывает математические зависимости выходных величин (выходных параметров) подсистем от входных величин и параметров.
- имитационное моделирование (системный подход) — для каждого элемента сложной системы составляется математическая модель, имитирующая его поведение; совокупность таких подсистем образует математическую модель системы, таким образом, модель становится полностью математической (аналитической), но сохраняет структурное сходство с оригиналом, причем только определение интегральных свойств модели системы при ее рекурсивной адаптации (верификации и валидации) и позволяет создать на их основе адекватную во всех смыслах имитационную модель объекта.

В общем случае в соответствии с традиционной классической гносеологией (теорией познания) науч-

¹ Созданная по приказу Минэнерго СССР в 1978 году на базе РЭУ Мосэнерго бывшими сотрудниками ведущих наладочных и научно-исследовательских институтов ОРГРЭС, ЦКТИ, ВТИ выпускниками Московского энергетического института (МЭИ) и МГУ — фирма ТЭСТ как носитель самой передовой на то время энергетической технологии уже в начале 80-х годов прошлого века при разработке и внедрении тренажеров перешла на новую информационную платформу, на единую базу данных, единую систему обмена и кодирования информа-

но-познавательный процесс разработки моделей современного IT-тренажера заключается в переходе от вопроса к проблеме, затем к гипотезе (аналитической модели), которая после достаточного экспериментального обоснования превращается в имитационную модель. Гносеологическая цепочка: вопрос — проблема — гипотеза — аналитическая модель — эксперимент — имитационная модель — определяет и структуру, и сущность современной методологии системно-имитационного моделирования энергетических объектов.

Основой методологии современного моделирования служит, с одной стороны, — гносеология (теория познания), то есть, в нашем случае, это — определение соотношения анализ-синтез для выработки стратегии при построении моделей, которое при реализации моделей имеет многовариантный характер в зависимости от целей моделирования, с другой стороны — системный анализ при рассмотрении вариантов построения математических моделей в рамках классической физики.

Кроме того, важнейшими современными методологическими предпосылками построения моделей является вероятностно-статистический подход и многокритериальная оптимизация.

Широкое применение в современной методологии моделирования находит методика агрегирования грубых моделей. Основная идея агрегирования грубых (аналитических) моделей состоит в том, что начальное семантическое содержание отдельных подсистем объекта моделирования объединяется (агрегируется) в одну сложную систему с целью определения в дальнейшем интегральных свойств агрегированной модели при ее адаптации, отличных от индивидуальных свойств отдельных подсистем.

Существенным при построении моделей является гносеологический аспект отражения. Каждая модель содержит знания об объекте в аналитической (программной) форме, при этом трансформация знаний в аналитику, как правило, приводит к уменьшению избыточности. Поэтому для реализации возможности связей со средой модель должна иметь языковую функцию. Содержание знаний – аналитическая модель (программа) является, таким образом, семантической стороной. Способы, с помощью которых знания вводятся в модель и выводятся из нее, то есть кодируются в ней, являются синтаксической стороной.

В соответствии с классификацией моделей различают материальные и идеальные модели.

Материальная модель подразумевает создание в качестве модели материального объекта по конкретным свойствам адекватного реальному объекту и предназначенного для изучения указанных свойств. Например, аэродинамическая модель котла, физическая, аналоговая модель электрической сети и т. п.

Идеальная (знаковая) модель описывает свойства реального объекта формализованно на основании накопленной информации и, таким образом, что только после экспериментальной адаптации (верификации, валидации) возможна на ее основе имитация реаль-

ного объекта с помощью аналоговых или цифровых средств.

Современные энергообъекты, рассматриваемые как объект моделирования, в большинстве своем нестационарны, нелинейны, многомерны, со многими внутренними обратными связями, невелика или отсутствует априорная информация о форме и степени взаимосвязи между переменными в реальных условиях эксплуатации. Это значительно усложняет получение их адекватного математического описания. Использование разработчиком модели для этой цели априорной информации, которая имеется, например, в распоряжении конструктора (физические, химические, механические закономерности, нормативные документы и др.) в большинстве случаев вызывает затруднения [5].

Это можно объяснить следующими причинами:

- закономерности (уравнения кинетики, тепломассообмена, материального баланса и др.) при эксплуатации энергообъекта значительно искажаются, т. е. изменяется форма и степень связи между переменными из-за изменения масштабов процесса, влияния помех, шумов различного рода, отклонения от идеальных условий;

- математическая модель должна включать одновременное влияние на выходную переменную всех входных параметров. Однако это уравнение не может быть получено из уравнений зависимостей выходной переменной от каждой из входных параметров, тем более, что для реальных тепловых процессов все переменные по своей природе стохастические.

Поэтому использование всей априорной информации практического изучения реальных процессов значительно ускоряет процесс получения модели. Результаты промышленных экспериментов, проводимых при испытаниях теплотехнического оборудования наладочными и другими организациями, оказываются определяющими при решении задачи выбора структуры модели, оценки параметров, стационарности, линейности, выбора информативных переменных, оценки степени адекватности модели реальному объекту и т. д.

Существует много способов определения модели технологических процессов. Каждый способ дает возможность построить модель, адекватную процессу в том или ином смысле, что зависит от выбранного критерия.

Выбор структуры модели, критерия ее адекватности процессу и другие параметры модели необходимо тесным образом увязать с целью моделирования процесса, с задачей, стоящей перед исследователем при разработке модели.

Модель энергообъекта, разрабатываемая для тренажера, т. е. для использования ее в системе «человек-машина» должна прежде всего отвечать целям восприятия человеком-оператором информационной модели объекта управления, анализа информации и принятия решений, а также формирования и совершенствования у операторов профессиональных навыков и умений.

Основные цели моделирования энергообъекта, а именно, организация восприятия и анализа оператором информационной модели, а также управление ею

позволяют рассматривать синтез необходимой модели в рамках структур и методов, применяемых теорией управления с учетом упрощений, характерных для фильтрующих свойств человека-оператора.

На рисунке 1 показана общая схема «ручного» управления в человеко-машинной системе. Под «ручным» управлением здесь понимается такое целенаправленное воздействие человека-оператора на объект, в результате которого объект оказывается в определенном смысле «ближе» к выполнению поставленных целей, чем до управления. На объект управления в общем случае действуют следующие факторы: X — неуправляемая, но контролируемая через систему отображения информации (СОИ), составляющая воздействия среды; X'' — управляемая составляющая (управление объектом воспринимается также, как воздействие среды); E — неуправляемая и ненаблюдаемая составляющая воздействия среды; Y — состояние объекта управления; X' и Y' — информация соответственно о неуправляемых (но наблюдаемых) воздействиях среды и состоянии объекта управления, получаемая человеком-оператором с учетом отображения ее в СОИ, а также с учетом его собственных фильтрующих свойств (Ф). Естественно, что эта информация составляет лишь часть, содержащуюся в X и Y , т. е. $X'' \subset X$ и $Y' \subset Y$.

Для осуществления управления необходимо прежде всего определить цель (T), т. е. то, к чему должен стремиться человек-оператор при воздействии на объект. Целевая функция человеко-машинной системы управления, например, котельной установки, обычно регламентируется и состоит в обеспечении заданной паропроизводительности котла с минимальными отклонениями от расчетных параметров пара при минимуме удельных расходов топлива и электроэнергии на тонну пара и при минимальных отклонениях от критериев, обеспечивающих надежную работу оборудования. Однако для достижения указанной цели необ-

ходим выбор (B) наиболее целесообразной стратегии управления (S) и ее реализация с помощью имеющихся органов управления и исполнительных механизмов. Таким образом, управление характеризуется взаимоотношением четырех элементов:

$$\langle X'', I = \langle X'', Y' \rangle, S, T \rangle, \quad (1)$$

где X'' — управляющее воздействие; $I = \langle X'', Y' \rangle$ — информация о состоянии среды и объекта; S — стратегия; T — цель управления.

Цель управления T определяет требования, выполнение которых обеспечивается человеком-оператором, управляющим воздействием X'' с помощью стратегии S и сбором информации по каналам $X \rightarrow X'$ и $Y \rightarrow Y'$. Однако, если у человека-оператора не сформирована концептуальная модель (КМ) технологического процесса $Y'(Y) = F[X'(X), X'']$, т. е. он не знает, как $X'(X)$ и X'' влияют на состояние объекта $Y'(Y)$, то он не сможет подобрать стратегию S и определить управляющее воздействие X'' . Причем, в реальных условиях эксплуатации концептуальная технологическая модель складывается у оператора-технолога последовательно — сначала из $КМ_1$ — выработки тактики управления на основании оценки производственной ситуации по неполной оперативной информации I , необходимой для выбора наиболее целесообразной стратегии S , а затем из $КМ_2$ — выработки частной концептуальной модели планируемого развития технологического процесса при данном управляющем воздействии на объект X'' .

В обычных условиях формирование концептуальной технологической модели достигается у человека-оператора за счет длительного дублирования действий на рабочем месте, а также методом «проб и ошибок», что приводит зачастую к нежелательным последствиям. При обучении человека-оператора на тренажере концептуальная модель формируется целенаправленно на доста-

точно адекватной модели прототипа, а затем уже процесс управления переносится на реальный объект. Таким образом, процесс управления с помощью тренажера должен состоять в общем виде из трех этапов (рисунок 2):

- синтез (идентификация и реализация) адекватной модели объекта для тренажера;
- формирование КМ технологического процесса у человека-оператора на тренажере;
- синтез управления на основе полученной КМ на реальном объекте.

2. Аналитическое моделирование и системная концепция. Аналитическая модель — это, в общем случае, в энергетике — формула, представляющая математическую зависимость тепловых, гидравлических, аэродинамических, механических и электротехнических процессов в объекте

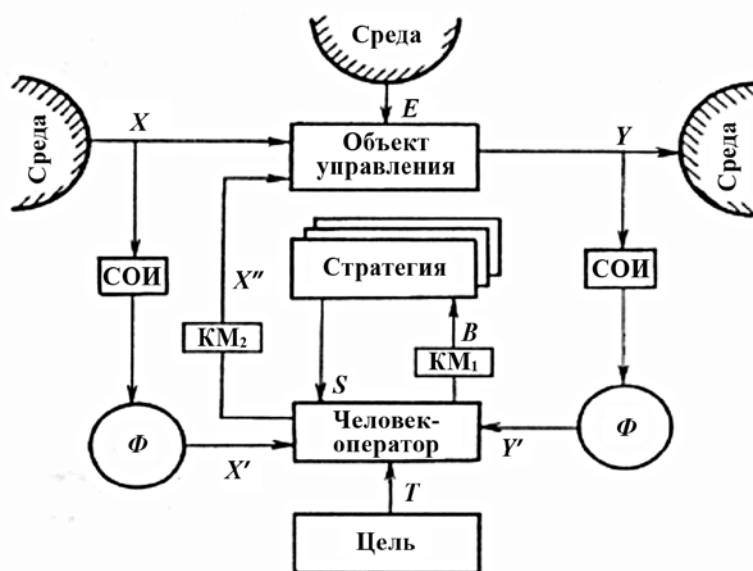


Рисунок 1. Общая схема «ручного» управления в человеко-машинной системе
Figure 1. General diagram of «manual» control in the human-machine system

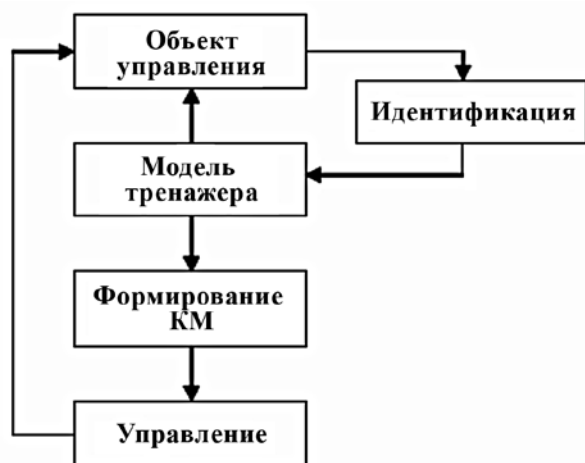


Рисунок 2. Блок-схема управления с помощью тренажера
Figure 2. Flow chart of simulator-based control

моделирования, показывающая, что выходы модели находятся в функциональной зависимости от входов. В самом общем виде указанную зависимость можно представить как: $U = f(x)$, где U — вектор выходов, x — вектор входов, а f — зависимость, которая записана в виде математической функции.

Основанием каждой модели, таким образом, является более или менее развитая теория объекта моделирования (аналитическая модель); эта теория укладывается в синтаксически установленные рамки, в концепцию системы, положенную в основу конкретного построения модели.

Системная концепция фиксирует общие рамки модели, иначе говоря, она определяет структуру модели. Конкретная форма модели, в которой она соответствует объекту моделирования, получается благодаря тому, что экспериментальные (эмпирические) данные приводят форму модели в соответствие с объектом, то есть для параметров модели, ее степеней свободы шаг за шагом устанавливаются все более достоверные знания. В этом смысле каждая разработанная модель выражает компромисс между теорией и практикой, теоретическими познаниями и эмпирическими данными.

3. Моделирование в условиях дестабилизации. Методология решения проблемы управления энергообъектами в условиях дестабилизации при разработке современных тренажерных средств имеет ряд важных концептуальных аспектов, рассмотрение которых необходимо начать, прежде всего, с определения основополагающих понятий таких как: «управление», «регулирование» и «контруправление».

Под «управлением» обычно понимается процесс воздействия на объект с целью изменения его текущего состояния в соответствии с изменением задания. Конкретно это сводится к обеспечению изменения управляемых величин объекта в соответствии с изменением заданных их значений.

Под «регулированием» понимают обеспечение равенства или близости управляемой величины ее заданному значению, вне зависимости от того, является ли

заданное значение неизменным или меняющимся во времени.

Во многих странах эти два понятия вообще не различаются, так в англоязычных странах они объединены словом «control».

Если учесть тот факт, что практически все объекты электроэнергетики недетерминированы, то становится ясным, почему так невелика эффективность традиционных АСУТП, исторически рассчитанных на решение задач управления только детерминированными объектами. Именно в этом и кроется еще один источник дестабилизации объектов электроэнергетики.

Аварийное состояние объекта характеризуется большой степенью недетерминированности, то есть резким изменением его статических и динамических характеристик. Здесь вступают в действие так называемые запретительные закономерности теории автоматического регулирования (защиты и блокировки). Однако до срабатывания защит, или при их несрабатывании необходимо правильное управление с целью обеспечения безопасности оперативного персонала и технологического оборудования.

Вот это управление энергообъектом в состоянии резкого изменения его статических и динамических характеристик, то есть управление в предаварийном или в аварийном состоянии объекта мы будем называть противоаварийным (контраварийным) управлением, или «контруправлением».

4. Системный парадокс модели объекта. С точки зрения теории автоматического управления возможность законченного синтеза практически жизнеспособных алгоритмов функционирования контроллеров и регуляторов непосредственно по априорной модели объекта сомнительна уже из-за противоречивости самой постановки задачи идентификации объекта (системного парадокса модели объекта). Кроме того, техническая реализация результатов синтеза обычно связана с появлением ряда неучтенных факторов, которые могут потребовать существенной корректировки получаемых результатов.

Это заставляет расчленять процедуру синтеза на два этапа, выполняемых во время проектирования системы и во время ввода ее в эксплуатацию на действующем объекте.

Системный парадокс модели объекта состоит в том, что принципиально невозможно сформулировать критерий приближения к реальному объекту его модели, по которой будет синтезироваться алгоритм управления или регулирования, если неизвестен этот алгоритм.

Системный парадокс модели объекта состоит в том, что принципиально невозможно сформулировать критерий приближения к реальному объекту его модели, по которой будет синтезироваться алгоритм управления или регулирования, если неизвестен этот алгоритм.

Выход из полученного порочного круга — в переходе к итерационной процедуре синтеза, в рамках которой синтез алгоритма по априорной модели объекта является только первым шагом. Остальные шаги движения

к оптимуму выполняются непосредственно на реальном объекте при вводе системы в действие и после ее ввода.

Для преодоления указанных противоречий и проблем и создаются так называемые имитационные модели, которые с позиций классификации представляют некоторый симбиоз материальной и идеальной модели. Результаты промышленных экспериментов, проводимых при испытаниях энергетического оборудования исследовательскими, наладочными и другими организациями, а кстати, и разработчиком модели (если он сможет это сделать), оказываются существенными при определении синтаксиса и семантики модели, то есть при решении задач выбора структуры модели, оценки параметров, стационарности, линейности, выбора информативных переменных, оценки степени адекватности модели реальному объекту и т. д.

Таким образом, главные трудности при создании тренажеров, то есть при разработке математических моделей энергооборудования и процессов обусловлены основным противоречием моделирования технологических объектов для тренажеров, а именно, противоречием между необходимостью учета действия большого количества факторов, определяющих процессы, протекающие в сложных технологических системах, и необходимостью быстрого получения надежных результатов, т.е. работы тренажера в реальном и ускоренном масштабе времени.

Выполнение этих противоречивых условий возможно только на основе разработки новых методов и алгоритмов, ориентированных на решение задач высокой и сверхвысокой размерности, уровень сложности которых должен определяться физиологическими возможностями восприятия среды человеком-оператором.

5. Разработка нового подхода к построению всережимной модели реального времени. Анализ методов и алгоритмов для решения задач моделирования показал, что процедура решения включает не только собственно алгоритм, позволяющий получить интересующие разработчика переменные (модель, реализуемую с помощью цифровой техники), но и алгоритм построения модели, т. е. алгоритм моделирования, формируемый по имеющейся информации о системе. Именно алгоритм построения и определяет эффективность реализуемой модели.

Оптимизируемыми считаются параметры модели в широком смысле, т. е. структура логических связей между отдельными блоками модели, уровень детализации моделируемых функций, исходя из психофизиологических свойств человека-оператора, тип блоков и их количество и т. д.

Опыт разработки математических моделей для тренажеров позволил авторам методологии предложить подход к упрощению моделирования объектов управления для тренажеров, основанный на учете объективных свойств как моделируемого оборудования, так и обслуживающего его человека-оператора. Анализ современного теплотехнического оборудования и его математических моделей показывает, что в боль-

шинстве случаев можно применить линеаризацию разрабатываемых для тренажера моделей относительно идентифицируемых параметров, что в свою очередь дает возможность разделить нелинейность и динамику объекта.

С целью разработки моделей энергообъекта, удовлетворяющих приведенным положениям, был предложен следующий подход:

- для упрощения математических моделей разделяются функции статического и динамического моделирования;

- статическое моделирование осуществляется в основном посредством решения нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений с высокой степенью точности;

- для моделирования динамики используется динамическая модель, полученная предварительным расчетом динамических характеристик на ЭВМ и упрощенная в пределах неразличимости этих упрощений в паре «объект-модель» человеком-оператором;

- образованная таким образом непрерывная нелинейная динамическая система управляется дискретной логикой, определяемой закодированной информацией о состоянии технологической схемы [6].

6. Определение основных принципов системного подхода. Далее необходимо определить основные принципы системного подхода, на основе которых должна разрабатываться методологическая база и схемы практической реализации всех этапов решения задач моделирования, анализа и синтеза.

За основные были приняты следующие принципы:

- единство функционально-целевых и причинно-следственных отношений;

- последовательное раскрытие неопределенности и избыточности; однозначное представление свойств и характеристик; многоуровневая функционально-целевая и причинно-следственная интеграция объекта моделирования и модели;

- целенаправленное эволюционное развитие топологии, структур операторов и параметров модели;

- выбор общего базиса для оценки влияния топологии, структур операторов и параметров на свойства, качество и характеристики модели.

Выбор общего базиса для оценки влияния топологии, структур операторов и параметров на свойства, качество и характеристики модели позволяет на всех этапах синтеза системы сравнить и оценить эффективность очередного шага эволюционного развития топологии, структур операторов и параметров модели и выбрать наиболее рациональное продолжение процесса.

7. Уровни детализации и применяемые модели объектов управления. Соответствие модели оригиналу может быть выражено в точных математико-логических терминах изо- и гомоморфизма [7]. Следует заметить, что для любых физически реализуемых систем отношение изоморфизма всегда есть идеализация. Отношение же гомоморфизма, будучи рефлексивным и транзитивным, симметричным не является.

Отсутствие в гомоморфной модели свойства симме-

тричности делает ее (в качестве модели используется гомоморфный образ) и оригинал неравноправными:

- модель проще оригинала и отношение «быть моделью» оказывается не отношением типа равенства (эквивалентности), а отношением сходства или толерантности;

- реализуется идея не тождества, а всего лишь подобия.

При моделировании оборудования, работающего только в штатном режиме, достаточным уровнем детализации является, очевидно, разработка имитаторов, обеспечивающих оператору индикацию параметров систем объекта. Такие модели получили название «индикаторные» или «демонстрационные».

При моделировании нештатных (в том числе и аварийных) ситуаций такой уровень детализации оказывается недостаточным, так как часть подсистем и элементов объекта может быть вообще не рассмотрена при моделировании или рассмотрена в недопустимо упрощенном виде.

Адекватность реакции модели обеспечивается автоматическим учетом в математической модели изменившихся условий. Вмешательство человека (оператора или инструктора) дополняет процедуру реализации детерминированной модели неформализованными эвристиками, представляющими собой следствие деятельности человека. Это превращает «гибкие» модели в «имитационные», с помощью которых можно охватить все реально мыслимые состояния объекта. Имитационная модель позволяет рассчитать поведение частей сложного объекта и их взаимодействие с учетом влияющих факторов и в условиях, близких к реальным.

8. Модель Гаммерштейна и оперативные модели. Экспериментальные статистические исследования энергообъектов с учетом психофизиологических свойств человека-оператора показали, что для обучения допустимо свертывание информации за счет линеаризации модели нелинейного объекта относительно идентифицируемых параметров. Допущение линейности такого рода позволило построить достаточно простые и эффективные алгоритмы идентификации функциональных характеристик, а именно, разделить нелинейность и динамику объекта. Таким образом, в указанной модели допустимо использовать точную нелинейную безынерционную статику и качественную динамику (модель Гаммерштейна). Таким образом, модель Гаммерштейна, модифицированная с учетом логико-числовых функций, выделяется как подкласс из класса «оперативных» моделей.

К моделям последнего типа относятся параметрические, многомерные, динамические модели с сосредоточенными параметрами, обладающими свойствами непрерывности, линейности по параметрам и нелинейности по переменным, стационарности и детерминированности, работающие во временной области.

Оперативные модели в тренажерах по своим свойствам наиболее полно отвечают задачам поддержания уровня натренированности персонала непосредственно на электростанциях. Воспроизведение текущих со-

стояний реального объекта, возможность явного представления входной и выходной информации, а также подобие структуры модели структуре реального энергообъекта позволяют удовлетворить всем основным требованиям к моделям в тренажерах. Кроме того, иерархическая структура оперативных моделей обеспечивает достижение на каждом уровне иерархии различной (рациональной в смысле обучения) степени детализации модели по отношению к реальному объекту.

Весьма существенно и принципиально то, что модель, как динамическая структура хранения знаний, является элементом, связующим теоретические и эмпирические знания. Аналитическая модель (формализованная теория) позволяет описать большое число частных факторов с помощью небольшого числа общих формул. Следовательно, использование аналитической модели заключается, в том числе и в уменьшении избыточности, то есть в отсечении частных, несущественных факторов и, таким образом, в более формализованном описании основных закономерностей объекта моделирования.

9. Физико-статистический подход к идентификации имитационных моделей. Современное, имитационное моделирование промышленных объектов (физико-статистическая идентификация) включает в себя два подхода: физико-технологический (аналитический) и функционально-статистический (верификация и валидация). Указанные подходы обладают присущими им достоинствами и недостатками.

При физико-технологическом подходе было установлено, что аналитические методы и модели, достаточно хорошо описывающие физику и механизмы явлений технологического процесса, оказываются не всегда пригодными для объяснения конкретных данных, получаемых в условиях промышленного производства тепловой и электрической энергии. В свою очередь, статистические методы и функциональные модели, связывающие контролируемые переменные на входе и выходе объекта и случайные возмущения внешней среды, адекватно описывая конкретные данные технологического процесса, часто несовместимы с физическими представлениями о механизмах явлений.

Имитационная модель энергообъекта, разработанная с позиции физико-статистического подхода включает в себя аналитическое описание физических процессов в объекте моделирования, адаптированное к реальным процессам с учетом выборочных наблюдений в реальном масштабе времени, накоплением и анализом данных статистических процедур с корректировкой структуры модели и оценкой параметров и состояний модели объекта [8].

Указанный подход полностью согласуется с действующим в настоящее время отраслевым нормативным документом по этому вопросу — «Нормы годности программных средств подготовки персонала энергетики» (СО 153-34.0-12.305-99), где указано, что «...построение модели должно базироваться на основе математического описания физических процессов, происходящих в реальном объекте, в виде систем дифференциальных, алгебраических и логических уравнений, а опре-

деление параметров должно производиться на основе технологических характеристик оборудования и экспериментальных данных о работе объекта».

Имитационное моделирование применяется в тех случаях, когда моделируемая система и ее процессы настолько сложны и нестабильны, что использование только аналитических методов для их описания не представляется возможным.

При моделировании энергообъектов такая ситуация неизбежна в связи с тем, что, как указывалось выше, реальные современные энергообъекты в большинстве своем нестационарны, нелинейны и многомерны, кроме того, все переменные (входные и выходные) по своей природе стохастичны. Указанные свойства обуславливают принципиальную неприемлемость чисто аналитических методов при моделировании энергообъектов с целью разработки имитационных моделей для тренажеров.

В то же время исследуемая система обычно естественным образом расчленяется на подсистемы и элементы, а моделируемый процесс — на элементарные акты-события так, что становится возможным с достаточной точностью разработать математическое описание каждого из них в отдельности.

Таким образом, в имитационных моделях моделирующий алгоритм строится как суперпозиция подалгоритмов, каждый из которых отражает функционирование какой-либо структурной единицы моделируемой системы (описание системы как структуры) или некоторый шаг моделируемого процесса (описание системы как процесса).

10. Верификация и валидация имитационных моделей. Существенным моментом имитационного моделирования является проверка его истинности, то есть

адекватности модели объекта моделирования путем проведения ее верификации и валидации.

Под верификацией имитационной модели обычно понимают проверку и корректировку алгоритмов и структуры (логики) разработанной модели. Подбираются некоторые исходные данные состояний моделируемого объекта с известными выходными параметрами, затем проводится имитационный эксперимент, по результатам которого производится корректировка алгоритмов и структуры модели. Вторым этапом проверки работоспособности модели является ее валидация или проверка статистики с корректировкой параметров модели. По результатам проведенной верификации и валидации модели делаются выводы о соответствии модели основному научному критерию — опытной подтверждаемости, то есть адекватности модели объекту-прототипу.

Адекватность математического моделирования (динамических моделей) в тренажере является доминирующей. От того, с какой точностью воспроизводятся параметры тепловых и электрических процессов, напрямую зависит качество всего тренажера и его дидактическая ценность (рисунок 3).

11. Современная научная классификация моделей и принципы их упрощения. Классификация видов моделей в современной теории моделирования приведена в работах [9, 10], причем имеется как минимум 2^{10} имитационных моделей, определенных на основе бинарных альтернативных соотношений следующих типов: детерминированные — стохастические, статические — динамические, непрерывные — дискретные и т. д. Получаем, что только имитационных моделей, определенных на основе бинарных соотношений, имеется $2^{10} = 1024$ типов, а с учетом других типов моделей

(аналитические, физические, информационные и т. д.), а также разнообразия применяемых критериев, методов решения систем уравнений и т. п., получим огромное множество вариантов описаний технологического объекта. Из этого «информационного моря» математических описаний энергообъекта не каждый «модельер» может уверенно выбрать на твердый «берег» системного подхода, основанного на принципах необходимости и достаточности, причем адекватность моделей которого определяется только физико-технологическим анализом. А если адекватность математического описания объекта определяется степенью верификации, то есть анализом технологическим, то и десять несведущих в технологии математиков сделают при моделировании не больше, чем один разбирающийся в математике технолог.

Очевидно, что в этом и кроется



Рисунок 3. Классификация процедур моделирования по уровням адекватности
Figure 3. Classification of simulation procedures by adequacy levels

основное противоречие современного российского тренажеростроения, а именно: проектированием моделей технологического оборудования занимаются математики, специалисты по автоматике, программисты, системотехники, психологи и т. п., то есть любые специалисты, кроме технологов, владеющих вопросами устройства и режимов эксплуатации технологического оборудования.

Существующая современная классификация [10] разделяет модели на два класса:

- дескриптивные (description models);
- прескриптивные (prescription models, normative models).

Дескриптивные модели предназначены для следующих целей: осмысления действительности — объяснения и описания наблюдаемых фактов, общения, обучения человека, реализации эксперимента, инструмента прогнозирования.

Прескриптивные модели предназначены для нахождения желательного состояния объекта, например, оптимального: технико-экономические и конструктивные расчеты при проектировании (в том числе нормативные методики расчета).

Причем дескриптивные модели (в том числе и в некоторых российских разработках) развиваются в настоящее время, в сторону адаптивирования и контроля адекватности.

Адаптивность означает способность приспособления к новым условиям среды, и, таким образом, выделяются дескриптивные модели с адаптивным теступравлением (adaptive test-control):

- самонастраивающиеся тест-модели;
- самоорганизующиеся тест-модели.

У самонастраивающихся тест-моделей при изменении внутренних свойств объекта изменяются математические характеристики моделей, то есть производится валидация или проверка статистики модели с корректировкой параметров модели.

У самоорганизующихся тест-моделей при изменении внешних (структурных) свойств объекта изменяется структура модели, то есть производится верификация или проверка и корректировка структуры модели.

Таким образом, в энергетическом тренажеростроении, по нашему мнению, в соответствии с современной научной классификацией должны применяться дескриптивные, самонастраивающиеся и самоорганизующиеся параметрические многомерные динамические модели, обладающие свойствами непрерывности, линейности по параметрам и нелинейности по переменным, стационарности и стохастичности, работающие во временной области.

Так, например, теплогидравлические системы энергообъекта могут быть описаны тремя законами сохранения: сохранения массы m , энергии e и импульса mv . В общем виде они описываются трехмерными дифференциальными уравнениями в частных производных. Однако это не является эффективным подходом для решения задачи моделирования энергообъекта для тренажера. Вместо этого, рассматриваются обыкновен-

ные дифференциальные уравнения для дискретного контрольного объема, где свойства изменяются только по направлению потока.

Таким образом, более быстрые динамические процессы позволяют значительно упрощать модели, построенные для их анализа человеком с помощью систем контроля и управления.

В этом случае динамические свойства объектов управления должны моделироваться в пределах возможностей восприятия человеком изменений инерционных свойств. Это связано с тем, что человек-оператор в процессе восприятия и переработки больших потоков информации не различает скорость изменения выходных сигналов без фиксации начала этого изменения [11].

Допустимость достаточно больших отклонений временных характеристик при моделировании технологических процессов с точки зрения психофизиологических свойств оператора можно объяснить следующим. По современным представлениям, у человека нет специального временного анализатора, равнозначного по физиологическому смыслу зрительному или слуховому [12]. Вместе с тем, каждый анализатор наряду со своей непосредственной функцией может при определенных условиях выполнять еще функцию отсчета времени. Зрительный анализатор служит преимущественно органом восприятия пространства. Однако ему принадлежит конкретная роль и в восприятии времени. Оно воспринимается глазом хуже, чем пространство. Это подтверждается тем, что ошибка в восприятии пространства в процессе зрительной чувствительности значительно меньше ошибки в оценке длительности.

Правомерность требования к точности статических и достаточно больших отклонений при моделировании динамических характеристик энергоблоков подтверждается как российскими исследователями [13, 14], так и зарубежными материалами [15, 16, 17].

Пренебрежение принципами системного анализа приводит к тому, что разработчик модели такой многомерной и сложной иерархической системы, какой является современная электрическая станция, «...вынужден нагромождать одно логическое условие на другое, поправку на поправку, пока все это латаное сооружение не рухнет под собственной тяжестью» (Н. Винер [11]).

Таким образом, «борьба» некоторых российских тренажеростроительных фирм с упрощениями при моделировании энергообъектов [18, 19] с целью улучшения «внутренних качеств тренажеров» носит, по нашему мнению, лишь спекулятивный, коммерческий и рекламный характер, относящийся скорее к области «ситуативной этики».

Выводы

1. Начальные и все последующие нормативные документы, касающиеся цифровых технологий тренажерных систем, имели целью обеспечение единства структуры и функций технических систем и средств для подготовки персонала энергопредприятий, энергосистем и

объединений отрасли. Однако, по ряду объективных причин (см. начало статьи) указанное единство практически не было достигнуто, что и определило снижение эффективности обучения персонала на тренажерах большинства разработчиков из-за отсутствия в моделях объекта регулирования таких основополагающих свойств как полномасштабность, всережимность, топологическая и параметрическая адекватность.

2. Таким образом, основной причиной недостижения поставленной цели принятыми нормативами был тот факт, что все они определяли только требования к готовому изделию и его подсистемам, а вопросы методологии разработки модели и ее цифровой (программной) реализации вообще не рассматривались.

3. Объективность причин сложившегося в тренажеростроении положения объясняется, по нашему мнению, следующим. Классификация видов моделей в современной теории моделирования определяет то, что имеется, как минимум, 2^{10} имитационных моделей, определенных на основе бинарных альтернативных соотношений типов: детерминированные — стохастические, статические — динамические, непрерывные — дискретные и т. д. Получаем, что только имитационных моделей, определенных на основе бинарных соотношений, имеется $2^{10}=1024$ типов, а с учетом других типов моделей (аналитические, физические, информационные и т. д.), а также разнообразия применяемых критериев, методов решения систем уравнений и т. п., получим огромное множество вариантов описания технологического объекта.

4. Из этого «информационного моря» математических описаний энергообъекта не каждый «модельер» может уверенно выбрать на твердый «берег» системного подхода, основанного на принципах необходимости и достаточности, причем адекватность моделей которого определяется только физико-технологическим анализом. А в связи с тем, что адекватность математического описания объекта определяется только степенью верификации, то есть анализом технологическим, то и десять несведущих в технологии математиков сделают при моделировании не больше, чем один разбирающийся в математике технолог.

5. Очевидно, что в этом и кроется основное противоречие современного российского тренажеростроения, а именно: проектированием моделей технологического оборудования и процессов в нем занимаются по отдельности математики, специалисты по автоматике, программисты, системотехники, психологи, то есть любые специалисты, кроме технологов, владеющих вопросами устройства и режимов эксплуатации технологического оборудования.

6. То есть возникает следующая парадоксальная ситуация: люди, не обладающие профессиональными технологическими знаниями, создают технические средства для переподготовки и повышения квалификации специалистов-технологов.

Отсюда следует второй системный парадокс модели объекта, который состоит в том, что принципиально невозможно сформулировать критерий

приближения к реальному объекту его модели, по которому будет синтезироваться алгоритм ее рекурсивной идентификации, если неизвестен этот алгоритм.

7. Таким образом, для преодоления «порочного круга» второго системного парадокса модели объекта необходимо разработать новый нормативный методологический документ, в котором была бы раскрыта цель его разработки, а именно: обеспечение единства методологии разработки структуры и функций цифровых технологических систем для подготовки персонала энергопредприятий.

Список использованных источников

1. Магид С. И., Загреддинов И. Ш., Мищеряков С. В., Архипова Е. Н., Самойлов В. Л. Нормирование цифровых технологий тренажерных систем как способ обеспечения надежности условий обслуживания объектов электроэнергетики (часть 1) // Надежность и безопасность энергетики 2019; 12(3): 177–189.
2. РД 34.12.302 (СО 153-34.12.302). Указания по построению комплекса обучающих и тренажерных систем для подготовки эксплуатационного персонала энергоблоков ТЭС, АЭС, предприятий электросетей, энергосистем и объединений 1986.
3. РД 34.12.303. Основные технические требования к комплексным тренажерам для подготовки эксплуатационного персонала энергоблоков тепловых электростанций 1988.
4. Нюберг Н. Д. О познавательных возможностях моделирования. В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов. М.: Мысль 1968.
5. Магид С. И., Архипова Е. Н., Музыка Л. П. Проблемы и научно-технические принципы современного компьютерного моделирования технологических объектов для тренажеров оперативного персонала // Надежность и безопасность энергетики 2009; 1(4): 27–35.
6. А. с. СССР №1128286. Тренажер для обучения оператора энергетического объекта / С. И. Магид, С. С. Токаев, Н. И. Серебряников и др. // Оpubл. БИ. 1984; 45.
7. Изоморфизм. Философская энциклопедия 1962; (2).
8. Магид С. И., Архипова Е. Н., Музыка Л. П. Надежность персонала – одна из основных гарантий безопасности. // Надежность и безопасность энергетики 2008; (1): 22–33.
9. Магид С. И. Теория и практика тренажеростроения для тепловых электрических станций. М.: МЭИ 1998.
10. Магид С. И., Оразбаев Б. Е., Камнев В. И., Ибрагимов И. М. Моделирование энергетических систем. М.: «Апарт» 2002.
11. Винер Н. Кибернетика. М.: Наука 1983.
12. Багрова Н. Д. Фактор времени в восприятии человеком. Л.: Наука, 1980.
13. Бичаев Б. П. Метод определения допустимой погрешности моделирования параметров, используемых для оценки обучаемых в тренажерах // Управляющие системы и машины 1980; (3).
14. Плютинский В. И., Охотин В. В. Методика оценки точности динамических моделей тренажеров энергоблоков // Теплоэнергетика 1985; (10).
15. Arthorn C. H. Nuclear power plant training simulator // «ASEA-Journal». 1973; 46(3): 73.
16. Schwarz O., Schlegel G. Ausbildung von Kraftwerks personal fur fossilbefeuerte Kraftwerke an Simulatoren, Konzepton, Qualification

und Nutzen des KWS-Simulators. VGB Kraftwerkstechnik, 65 1985; 65 (2): 104–109.

17. American National Standard Nuclear Power Plant Simulators for use in Operator Training ANSI/ANS-3.5-1985.

18. Теория и практика построения и функционирования АСУТП М. 2005.

19. Магид С. И., Архипова Е. Н., Музыка Л. П. Зияющие высоты субъективизма и псевдопроблем при «сверхточном» аналитическом моделировании энергетических объектов // Надежность и безопасность энергетики 2009; 3(6): 28–36.

References

1. Magid S. I., Zagretdinov I. Sh., Mishcheryakov S. V., Arkhipova Ye. N., Samoylov V. L. Normalization of digital technologies of training simulator systems as a way to ensure the reliability of conditions of maintenance of electric power engineering facilities (part 1) // Safety and reliability of power engineering 2019; 12(3): 177–189.

2. RD 34.12.302 (CO 153-34.12.302). Instructions for building a set of training and simulator systems for training the operating personnel of TPP, NPP power units, power utility companies, power systems and associations. 1986.

3. RD 34.12.303. Basic technical requirements for integrated simulators for training the operating personnel of power units of thermal power plants. 1988.

4. Nyuberg N. D. On cognitive possibilities of simulation. In the book: Mathematical modeling of vital processes. M.: Mysl. 1968.

5. Magid S. I., Arkhipova Ye. N., Muzyka L. P. Problems and scientific-engineering principles of modern computer simulation of technological facilities for operational personnel training simulators // Safety and reliability of power engineering 2009; 1(4): 27–35.

6. USSR author's certificate No. 1128286. Simulator for training an

operator of a power engineering facility / S. I. Magid, S. S. Tokayev, N. I. Serebryanikov et al. // Publ. by BI. 1984; 45.

7. Isomorphism. Philosophic encyclopedia. 1962; (2).

8. Magid S. I., Arkhipova Ye. N., Muzyka L. P. Reliability of personnel as a key safety guarantee. // Safety and reliability of power engineering 2008; (1): 22–33.

9. Magid S. I. Theory and practice of simulator construction for thermal power plants. M.: MPEI. 1998.

10. Magid S. I., Orazbayev B. Ye., Kamnev V. I., Ibragimov I. M. Simulation of power engineering systems. M.: Apart. 2002.

11. Wiener N. Cybernetics. M.: Nauka. 1983.

12. Bagrova N. D. Time factor as perceived by humans. L.: Nauka, 1980.

13. Bichayev B. P. Method for determination of allowable error of simulation of parameters used for assessment of trainees in simulators // Controlling systems and machines 1980; (3).

14. Plyutinskiy V. I., Okhotin V. V. Methodology for estimation of accuracy of dynamic models of power unit simulators // Thermal power engineering 1985; (10).

15. Arthorn C. H. Nuclear power plant training simulator // "ASEA-Journal". 1973; 46(3): 73.

16. Schwarz O., Schlegel G. Ausbildung von Kraftwerks personal fur fossilbefeuerte Kraftwerke an Simulatoren, Konzepton, Qualification und Nutzen des KWS-Simulators. VGB Kraftwerkstechnik, 65 1985; 65 (2): 104–109.

17. American National Standard Nuclear Power Plant Simulators for use in Operator Training ANSI/ANS-3.5-1985.

18. Theory and practice of construction and functioning of APCS. M. 2005.

19. Magid S. I., Arkhipova Ye. N., Muzyka L. P. Yawning heights of subjectivism and pseudo-problems in "super-precise" analytical simulation of power generation facilities. // Safety and reliability of power engineering 2009; 3(6): 28–36.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-29-34>
УДК 621.311.22

Повышение качества эксплуатации оборудования тепловых электростанций за счет применения компьютерных тренажерно-аналитических комплексов

Чичирова Н. Д., Абасев Ю. В.*, Евгеньев И. В.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия

Поступила / Received 4.12.2019

Принята к печати / Accepted for publication 27.02.2020

Рассмотрены компьютерные тренажерно-аналитические комплексы (компьютерные тренажеры), применяемые в учебном процессе в Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ) на кафедре «Тепловые электрические станции» (ТЭС). Для повышения качества эксплуатации теплоэнергетического оборудования тепловых электрических станций целесообразно применение компьютерных тренажеров, моделирующих работу оборудования ТЭС. На кафедре ТЭС создан компьютерный класс «Научно-образовательная платформа «Компьютерные тренажеры в теплоэнергетике и электроэнергетике», в который вошли всережимные компьютерные тренажеры энергоблока ПГУ-410 (АО «ТЭСТ»), энергоблока ПГУ-450 (АО «ТЭСТ»), электростанции с поперечными связями (АО «ТЭСТ»). Изложен процесс внедрения тренажерно-аналитических комплексов в образовательный процесс с переработкой всех дисциплин, связанных с изучением тепловых схем и эксплуатацией теплоэнергетического оборудования. Для выполнения лабораторных и практических работ с применением компьютерных тренажеров разработано учебно-методическое обеспечение, помогающее освоить выполнение заданий на тренажерах. Описаны задачи, которые решаются с применением данных комплексов в процессе обучения по образовательным программам кафедры «Тепловые электрические станции». Отмечается преимущество применения в образовании таких тренажеров, так как они позволяют познакомить студентов с процессом производства тепловой и электрической энергии на ТЭС. Применение данных программ при обучении студентов эксплуатации оборудования ТЭС позволяет выработать навыки управления энергетическим оборудованием в различных режимах работы, и, тем самым, ускорить дальнейшую адаптацию выпускников на рабочих местах. Сделаны рекомендации по функциональным возможностям компьютерных тренажерно-аналитических комплексов для обучения работе на них.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерные тренажеры, режимы работы, эксплуатация оборудования ТЭС

Адрес для переписки:

Абасев Ю. В.
ФГБОУ ВО «КГЭУ», кафедра ТЭС
ул. Красносельская, 51, 420066, г. Казань, Россия
e-mail: abasev@inbox.ru

Address for correspondence:

Abasev Yu. V.
Kazan State Power Engineering University, Department TPP
Krasnoselskaya str., 51, 420066, Kazan, Russia
e-mail: abasev@inbox.ru

Для цитирования:

Чичирова Н. Д., Абасев Ю. В.*, Евгеньев И. В. Повышение качества эксплуатации оборудования тепловых электростанций за счет применения компьютерных тренажерно-аналитических комплексов. Надежность и безопасность энергетики 2020. – Т. 13, №1. – С. 29–34.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-29-34>

For citation:

Chichirova N. D., Abasev Yu. V.*, Evgeniev I. V. [Improving the quality of operation of equipment of thermal power plants through the use of computer-based training simulator and analytical complexes]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2020, vol. 13, no. 1, pp. 29–34 (in Russian).
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-29-34>

Improving the quality of operation of equipment of thermal power plants through the use of computer-based training simulator and analytical complexes

Chichirova N. D., Abasev Yu. V.*, Evgeniev I. V.

Kazan State Power Engineering University
51 Krasnoselskaya str., 420066, Kazan, Russia

Computer simulators used in the educational process at the Kazan State Power Engineering University at the Department of Thermal Power Plants (TPP) are considered. To improve the quality of TPP thermal power equipment operation, it is advisable to use computer-based simulators simulating operation of TPP equipment. A computer class "Scientific and educational platform "Computer simulators in the heat and power industry" was created at the TPP department, which included all-mode computer simulators a PGU-410 power unit simulator (JSC "TEST"), and a PGU-450 power unit simulator (JSC "TEST"), a cross-connection power plant (JSC "TEST"). The process of introducing the training simulator and analytical complexes in the educational process is described: reforming of all training courses related to the study of thermal circuits and operation of thermal power equipment was required. To perform laboratory and practical works involving the use of computer-based simulators, educational and methodological support has been developed that helps to master the performance of tasks on simulators. The tasks that are solved using these complexes in the training process under educational programs of "Thermal Power Plants" department are described. The advantage of using such simulators in education is noted, because they allow students to get acquainted with the process of thermal and electric energy production at thermal power plants. The use of these programs in teaching students how to operate TPP equipment allows them to develop skills of managing power equipment in various operating modes, and thereby to accelerate further adaptation of graduates at the workplace. Recommendations are made on the functional capabilities of computer-based training simulator and analytical complexes for learning how to work on them.

KEYWORDS: computer-based training simulators, operating modes, operation of TPP equipment

Аварийность на тепловых электрических станциях (ТЭС) в более чем 70% случаев определяется так называемым «человеческим фактором». Современное эффективное управление развитием человеческого потенциала с целью увеличения безопасности производства работ в электроэнергетике невозможно без широкомасштабного применения информационных технологий [1]. В связи с этим в корпоративных учебных центрах по подготовке и повышению квалификации оперативного персонала электростанций, на ряде электростанций, а также на соревнованиях профессионального мастерства оперативного персонала ТЭС применяются компьютерные тренажеры. В дополнение к традиционным лабораторным работам в Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ) решено было применять компьютерные тренажерно-аналитические комплексы, предназначенные для оперативного персонала ТЭС. Данные программы в КГЭУ применяются для подготовки высококвалифицированных специалистов и повышения квалификации персонала электростанций [2].

В процессе обучения по образовательной программе «Тепловые электрические станции» на кафедре ТЭС с 2008/2009 учебного года применяются всережимные компьютерные тренажеры, имитирующие работу оборудования тепловых электростанций. Компьютерные тренажеры позволяют познакомить студентов с реальными процессами при производстве тепловой и электрической энергии на ТЭС, выработать навыки управления энергетическим оборудованием в различных режимах работы, и, тем самым, ускорить дальнейшую

адаптацию выпускников на рабочих местах. При этом следует отметить необходимость соблюдения минимальных требований и критериев к тренажерам эксплуатационного персонала энергопредприятий [3].

Опыт применения компьютерных тренажеров на кафедре ТЭС. Для создания класса компьютерных тренажеров в КГЭУ были приобретены компьютеры, которые имитировали рабочее место машиниста энергоблока с отображением: мнемосхемы блока, панели управления механизмами и запорно-регулирующей арматуры, панелей сигнальных табло, панелей контролируемых и регистрирующих приборов, фрагментов технологических схем блока, а также компьютер — рабочее место инструктора. Для обучения студентов каждый компьютер оснастили 2-мя мониторами.

Полноценной работе с тренажером должна предшествовать теоретическая подготовка по работе на тренажере, а также необходимы знания схем, оборудования и правил эксплуатации оборудования. Поэтому первоначально студенты должны изучить тепловые схемы, мнемосхемы и оборудование энергоблока, правила работы на тренажерах и правила эксплуатации оборудования. Однако учебные планы и программы дисциплин бакалавриата разработаны таким образом, что все это студенты узнают только к завершению обучения. Для более раннего освоения данной программы на кафедре ТЭС было принято решение в каждой дисциплине, изучающей схему и работу теплоэнергетического оборудования, разработать задания, которые можно выполнить с применением тренажера. В результате теперь в каждой дисциплине начали подробнее изучать

оборудование, режимы работы и эксплуатацию тепло-энергетического оборудования. В то же время применение компьютерного тренажерно-аналитического комплекса позволило разработать задачи для практических занятий, в которых рассчитываются энергетические показатели работы тепловой схемы энергоблока 300 МВт по исходным данным из самого тренажера. В этом также проявляется преимущество тренажеров — увеличивается возможное количество вариантов задач, решаемых на практических занятиях, а студенты знакомятся с реальными параметрами работы тепловой схемы.

Например, изучая дисциплину «Режимы работы и эксплуатация ТЭС», студенты рассчитывают энергетические и другие показатели тепловой схемы энергоблока при различных нагрузках, изучают особенности способов регулирования нагрузки на номинальном и скользящем начальном давлении пара, исследуют переходные процессы в котле. В последнем семестре студенты выполняют лабораторные работы по пуску энергоблока.

Еще один из тренажеров, установленных на кафедре ТЭС — тренажер-симулятор парогазового энергоблока мощностью 410 МВт Няганской ГРЭС, разработанный АО «ТЭСТ» [4]. Тренажер-симулятор парогазовой установки 410 МВт моделирует работу основного и вспомогательного оборудования ПГУ-410 МВт, алгоритмов управления и защиты, имитирует управление с операторских станций, является средством обучения, предэкзаменационной подготовки и экзаменационного тестирования оперативного персонала ТЭЦ.

В состав объекта-прототипа тренажера ПГУ-410 входят [5]: газовая турбина Siemens SGT5-4000F, паровая турбина SST5-3000, котел-утилизатор Еп-270/316/46-12,5/3,06/0,46-560/560/237, турбогенератор SGen5-2000H, вспомогательное оборудование энергоблока; удаленные объекты, управление которыми производится с блочного щита управления, в том числе циркуляционная станция, береговая насосная станция, башенная градирня с естественной циркуляцией, блочный пункт подготовки газа; автоматизированная система управления и контроля SPPI-T3000 (Siemens).

В тренажере моделируются следующие режимы:

1. Пуск блока из любого теплового состояния.
2. Останов блока.
3. Работа блока в любом диапазоне нагрузок.
4. Включение и отключение теплофикационной установки.
5. Работа блока с различным составом оборудования.
6. Синхронизация и включение в сеть генераторов.
7. Работа блока с автоматическим и (или) ручным регулированием.
8. Реализованы пошаговые программы для оборудования блока.

9. Работа блока в нештатных режимах.

В тренажере разработано 18 заданий — сценариев тренировок. Каждое задание составлено на основе эксплуатационных инструкций, действующих на электростанции, и представляет собой одну из стандартных технологических операций. После выполнения задания автоматически выставляется оценка. На кафедре ТЭС разработано учебное пособие, помогающее освоить выполнение заданий на тренажере [5]. В учебном пособии рассмотрены сценарии тренировок, связанные с процессом пуска энергоблока:

1. Включение в работу системы охлаждения блока;
2. Включение в работу маслосистемы блока;
3. Пуск системы уплотнения вала турбины и генератора, включение валоповоротного устройства газовой турбины и паровой турбины;
4. Подготовка и пуск вакуумно-конденсационной установки;
5. Пуск деаэрационной установки;
6. Подготовка и заполнение котла-утилизатора;
7. Пуск газового хозяйства энергоблока;
8. Пуск комплексного воздухоподготовительного устройства;
9. Подготовка к пуску газовой турбины;
10. Подготовка к пуску паровой турбины;
11. Пуск газовой турбины;
12. Нагружение газовой турбины;
13. Пуск паровой турбины.

Пуско-остановочные режимы являются сложными и ответственными мероприятиями, при которых из-за неправильных действий персонала в теплоэнергетическом оборудовании могут возникать недопустимые термические и механические напряжения, приводящие к снижению ресурса работы оборудования.

Для каждого задания в тренажере можно узнать условия его выполнения. Например, для задания «Пуск газового хозяйства энергоблока ПГУ-410» они приведены на рисунке 1.

На начальном этапе обучения при выполнении заданий у студентов возникают сложности с включением насосов, открытием арматуры, введением в работу

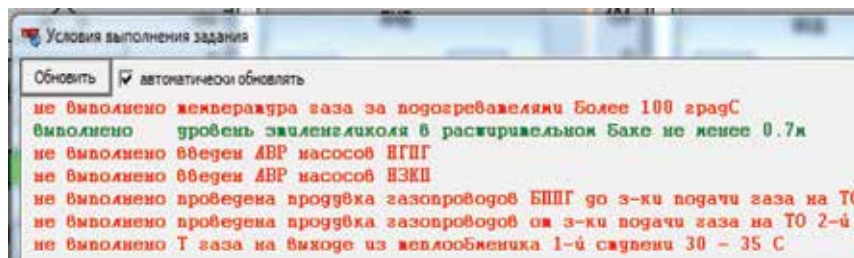


Рисунок 1. Фрагмент условий выполнения задания «Пуск газового хозяйства энергоблока ПГУ-410»: АВР — автоматическое включение резерва; НГПГ — насосы греющего контура подогрева газа; НЗКП — насосы замкнутого контура подогрева газа; БППГ — блочный пункт подготовки газа; ТО — теплообменники; Т — температура; ГТ — газовая турбина

Figure 1. Conditions for completing the task «Starting the gas economy of the CCGT-410 power unit»: АВР — automatic inclusion of a reserve; НГПГ — pumps heating gas heating circuit; НЗКП — pumps closed gas loop heating; БППГ — block gas treatment point; ТО — heat exchangers; Т — temperature; ГТ — gas turbine

автоматического включения резерва (АВР) и т. п. Для обучения студентов, на наш взгляд, целесообразно предусмотреть обучение данным операциям в виде отдельных заданий. В то же время в данном тренажере можно самостоятельно определить условия включения/выключения элементов схем с помощью встроенной справки. Это позволяет студентам разбираться в возникающих проблемах при работе на тренажере и избегать ошибочных действий.

При выполнении задания программа сообщает о выполнении условий задания (на рисунке 1 они обозначены зеленым цветом) и возникающих ошибках. В случае возникающих ошибок, если их не устранить в процессе выполнения задания, начисляются штрафные баллы. За счет функции масштабирования времени можно ускорить процессы (кроме выполнения пошаговых программ). Еще одним из положительных свойств тренажера является возможность приостановить работу, вернуть состояние тренажера на любое время. Тем самым в процессе обучения можно подумать над решением возникшей проблемы, исправить ошибку (что особенно актуально для заданий, требующих много времени на выполнение).

В 2018 г. на кафедре ТЭС КГЭУ создан компьютерный класс «Научно-образовательная платформа «Компьютерные тренажеры в теплоэнергетике и электроэнергетике» (рисунок 2) [6]. В него вошли всережимные компьютерные тренажеры: ПГУ-410 (АО «ТЭСТ»), энергоблока ПГУ-450 (АО «ТЭСТ»), станции с поперечными связями (АО «ТЭСТ») — на рисунке 3 приведена мнемосхема «Турбина ПТ-60 (ТГ-1)». Для них на кафедре ТЭС разработаны учебные пособия, позволяющие освоить выполнение заданий на тренажерах [5, 7, 8].

В учебном пособии [8] рассмотрены сценарии тренировок, связанные с эксплуатацией получивших широкое распространение в энергетике Российской Фе-

дерации турбоустановок ПТ-60/75-130/13, Т-100-130 и котлоагрегата ТП-80:

1. Включение общестанционного оборудования; включение циркуляционного и технического водоснабжения турбины ПТ-60-130;
2. Включение маслосистем смазки, уплотнений вала генератора и валоповоротного устройства турбины ПТ-60-130;
3. Пуск конденсационной, регенеративной установки ПТ-60-130 и ПЭН;
4. Подготовка котла ТП-80 к пуску из холодного состояния;
5. Растопка и нагружение котла на газе;
6. Прогрев паропроводов, пуск и нагружение турбины ПТ-60-130 из холодного состояния;
7. Пуск системы смазки и системы уплотнений вала генератора Т-100-130;
8. Пуск в работу конденсационного, регенеративного устройств турбоустановки Т-100-130;
9. Пуск турбины Т-100-130 из холодного состояния на конденсационном режиме;
10. Набор электрической нагрузки турбоустановки Т-100-130;
11. Останов парового котла высокого давления ТП-80;
12. Перевод котла с газа на сжигание мазута;
13. Перевод котла с мазута на сжигание газа.

Для изучения этапов пуска оборудования [8] требуется достаточно много времени. Выполнение задания «Прогрев паропроводов, пуск и нагружение турбины ПТ-60/75-130/13 из холодного состояния», в котором производится пуск турбины ПТ-60/75-130/13 из холодного состояния и ее нагружение составляет около 6 ч. Однако в процессе обучения на это затрачивается больше времени. Произвести пуск турбины во время аудиторных занятий не представляется возможным,



Рисунок 2. Компьютерный класс «Научно-образовательная платформа «Компьютерные тренажеры в теплоэнергетике и электроэнергетике»
Figure 2. Computer class «Scientific and educational platform «Computer simulators in the heat and power industry»

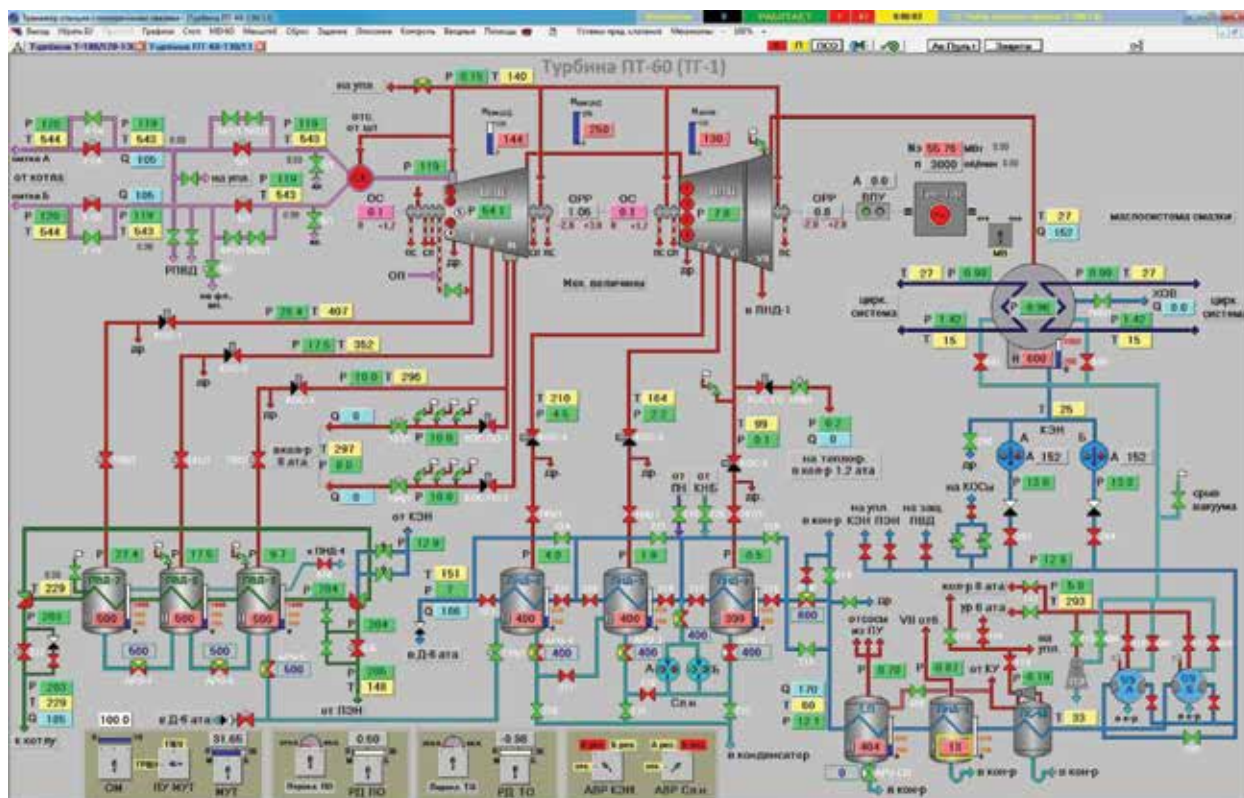


Рисунок 3. Мнемосхема «Турбина ПТ-60 (ТГ-1)»
Figure 3. Mimic diagram “Turbine PT-60 (TG-1)”

так как для этого потребуются несколько лабораторных занятий. Для выполнения таких заданий хорошо подходит производственная практика, а также самостоятельная работа студентов.

В качестве эксперимента на экзаменах по дисциплине «Режимы работы и эксплуатация ТЭС» проведена проверка умений студентами осуществлять пусковые операции. Результаты экзамена показали отличную и хорошую подготовку студентов по выполнению, в частности, данного задания. На наш взгляд такая проверка является объективной проверкой умений студентов и должна применяться в дальнейшем. Проведенный в [9] эксперимент это подтвердил.

Для студентов заочной формы обучения, работающих на аналогичном оборудовании, работа на компьютерных тренажерах действительно является тренировкой. Однако не каждый студент с опытом работы на действующем оборудовании справляется с работой в данных программах. Видимо, требуется время на адаптацию к работе на тренажере. К сожалению, у студентов заочной формы обучения существенно меньше аудиторная нагрузка и поэтому меньшее количество времени работы в данных программах. В то же время существуют тренажерные комплексы («цифровые прототипы ТЭС»), которые применяются для дистанционной подготовки к всероссийским соревнованиям, а также применялись на соревнованиях профессионального мастерства оперативного персонала ТЭС в 2019 г. [10, 11]. Тренажерные комплексы, работающие дистанционно

с соответствующим методическим обеспечением, могут стать удачным решением для студентов заочной формы обучения, а также для подготовки персонала электростанций.

Выводы

Накопленный опыт применения в учебном процессе на кафедре «Тепловые электрические станции» Казанского государственного энергетического университета тренажерно-аналитических комплексов позволяет рекомендовать их для обучения студентов. Для применения таких комплексов в учебном процессе целесообразна адаптация с разработкой заданий по включению, регулированию отдельных механизмов и оборудования. Справочная система тренажера должна позволять обучающимся самостоятельно разбираться в возникающих проблемах при работе. Целесообразна возможность масштабирования времени работы с возвратом состояния тренажера в любое прошедшее время. Для студентов заочной формы обучения, а также для подготовки персонала электростанций, целесообразно применение тренажерных комплексов, работающих дистанционно.

С повышением качества подготовки специалистов-энергетиков с помощью компьютерных тренажерно-аналитических комплексов можно повысить качество эксплуатации теплоэнергетического оборудования тепловых электрических станций, снизить «человеческий фактор» при нарушениях работы электростанций.

Список использованных источников

1. Актуальные вопросы развития тренажеростроения современной электроэнергетики / Магид С. И., Архипова Е. Н., Куличихин В. В., Загредтинов И. Ш. // Надежность и безопасность энергетики 2015; 2(29): 28–41.
2. Чичирова Н. Д., Абасев Ю. В., Шагиев Н. Г., Бускин Р. В., Сaitов С. Р. Применение компьютерных тренажеров, моделирующих работу тепловых электростанций, в подготовке специалистов для теплоэнергетики / В сборнике: Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество Материалы VIII Всероссийской научно-методической конференции 2018; 117–121.
3. Магид С. И., Загредтинов И. Ш., Мищеряков С. В., Архипова Е. Н., Самойлов В. Л. Нормирование цифровых технологий тренажерных систем как способ обеспечения надежности условий обслуживания объектов электроэнергетики (часть 1) Надежность и безопасность энергетики 2019; 12(3): 177–189.
4. Тренажеры для электростанций, разработанные и внедренные АО «ТЭСТ». URL: <https://testenergo.ru/tren-zao-test/> (дата обращения: 01.11.2019).
5. Прикладные задачи тренажера энергоблока ПГУ-410: практикум / Н. Д. Чичирова и др. – Казань: КГЭУ 2018; 275.
6. Chichirova N. D., Abasev Yu. V., Shagiev N. G. Computer simulator-analytical complexes of thermal power stations for the training with higher education students / International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 288 (2019); 012078.
7. Компьютерный тренажерно-аналитический комплекс блока ПГУ-450 МВт: практикум / под общ. ред. Н.Д. Чичировой. – Казань: Казанский государственный энергетический университет 2018; 280.
8. Тренажерно-аналитический комплекс для электростанции с поперечными связями: учеб. пособие / под общ. ред. Н. Д. Чичировой. – Казань: Казанский государственный энергетический университет 2018; 221.
9. Исследование эффективности обучения с применением компьютерных тренажеров для специальных дисциплин / Чичирова Н. Д., Пateeва Т. А. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики 2011; (5–6): 1–6.
10. Всероссийские соревнования оперативного персонала ТЭС. All-Russian competition of operational personnel of thermal power plants. URL: <http://muc-ees.ru/vserossijskie-sorevnovaniya-operativnogo-personala-tes.html> (дата обращения: 01.11.2019).
11. В Москве завершились всероссийские соревнования про-

фессионального мастерства 2019 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15812> (дата обращения: 01.11.2019).

References

1. Actual issues of the development of the simulator industry of modern electric power industry / Magid S. I., Arkhipova E. N., Kulichikhin V. V., Zagredtinov I. Sh. // Reliability and safety of energy 2015; 2(29): 28–41.
2. Chichirova N. D., Abasev Yu. V., Shagiev N. G., Buskin R. V., Saitov S. R. The use of computer simulators simulating the operation of thermal power plants in the training of specialists for the power industry / In the collection: Actual issues of engineering education: content, technology, quality Materials of the VIII All-Russian Scientific and Methodological Conference 2018; 117–121.
3. Magid S. I., Zagredtinov I. Sh., Mishcheryakov S. V., Arkhipova Ye. N., Samoylov V. L. [Standardization of digital technologies of simulator systems as a method of ensuring reliability of conditions of service of power engineering facilities (part 1)]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry 2019; 12(3): 177–189. (In Russ)
4. Simulators for power plants developed and implemented by TEST JSC. URL: <https://testenergo.ru/tren-zao-test/> (accessed: 11/01/2019).
5. Applied tasks of the power unit simulator CCGT-410: workshop / N. D. Chichirova et al. – Kazan: KSEU 2018; 275.
6. Chichirova N. D., Abasev Yu. V., Shagiev N. G. Computer simulator-analytical complexes of thermal power stations for the training with higher education students / International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 288 (2019); 012078.
7. Computer training and analytical complex of the CCGT-450 MW unit: workshop / under the total. ed. N. D. Chichirova. – Kazan: Kazan State Power Engineering University 2018; 280.
8. Training and analytical complex for a power plant with cross-links: textbook. allowance / under the general. ed. N. D. Chichirova. – Kazan: Kazan State Power Engineering University 2018; 221.
9. Study of the effectiveness of training with the use of computer simulators for special disciplines / Chichirova N. D., Pateeva T. A. // News of higher educational institutions. Energy issues 2011; (5–6): 1–6.
10. All-Russian competition of operational personnel of thermal power plants. All-Russian competition of operational personnel of thermal power plants. URL: <http://muc-ees.ru/vserossijskie-sorevnovaniya-operativnogo-personala-tes.html> (accessed: 11/01/2019).
11. In Moscow, the all-Russian competitions of professional excellence in 2019 ended. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15812> (accessed: 11/01/2019).



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-35-40>
УДК 621.165

Повышение надежности турбоустановок ТЭС и АЭС с подогревателями смешивающего типа в системе регенерации

Сухорукова Е. А., Синцова Т. Г., Николаенкова Е. К., Колпаков С. П.*

Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»)
Атаманская ул., д. 3/6, 191167, Санкт-Петербург, Россия

Поступила / Received 27.01.2020

Принята к печати / Accepted for publication 03.03.2020

При разработке конструкций смешивающих теплообменных аппаратов, применяемых в системе регенерации низкого давления для турбоустановок мощностью от 200 до 1200 МВт ТЭС и АЭС, особое внимание уделяется защите проточных частей турбины от попадания капельной влаги.

Многолетний опыт работ ОАО «НПО ЦКТИ» по исследованию, разработке и внедрению подогревателей низкого давления (ПНС) показал, что их установка в вакуумной зоне конденсатного тракта, а также в зоне относительно малого избыточного давления обеспечивает максимальную экономичность и надежность работы систем регенерации турбоустановки. Однако, незначительная разность рабочих давлений в корпусе ПНС и греющего пара из отборов паровых турбин, свойственная типовым вариантам подключения подогревателей, требует разработки дополнительных организационно-технических мероприятий по предупреждению попадания воды в турбину. Для стационарных режимов работы предусматривается две ступени защиты от повышения уровня в аппарате, обеспечивающие надежное удаление воды через систему аварийного перелива или путем остановки конденсатных насосов. В случаях аварийного сброса нагрузки турбоустановки процесс увеличения уровня в ПНС идет существенно быстрее, вплоть до вскипания всего объема конденсата.

Рассмотрены возможные условия образования и попадания капельной влаги в проточную часть турбины. Проведен анализ известных натурных и лабораторных исследований работы ПНС в наиболее неблагоприятных режимах эксплуатации (в частности, при сбросе нагрузки турбоустановки).

Приведено описание процесса вскипания воды в смешивающих ПНД при сбросе нагрузки турбины. Предложен вариант методики оценки времени набухания уровня воды в смешивающих ПНД. Представленные теоретические обоснования позволяют оценить время образования и роста пузырьков в деаэрированной воде. Исследуемый физический процесс характерен для условий работы смешивающих подогревателей системы регенерации низкого давления турбоустановок и представляет интерес для обоснования времени быстрого действия системы защиты турбины от попадания влаги в турбину с обратным потоком пара.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Надежность системы регенерации ТЭС и АЭС, смешивающий подогреватель низкого давления, время набухания уровня воды, безопасность турбины

Адрес для переписки:

Колпаков С. П.

ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»)
ул. Атаманская, 3/6, 191167, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: KolpakovSP@ckti.ru

Address for correspondence:

Kolpakov S. P.

Joint Stock Company «I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment» (JSC «NPO CKTI»)
3/6, Atamanskaya Str., Saint- Petersburg, Russia 191167
e-mail: KolpakovSP@ckti.ru

Для цитирования:

Сухорукова Е. А., Синцова Т. Г., Николаенкова Е. К., Колпаков С. П., Повышение надежности турбоустановок ТЭС и АЭС, в системе регенерации которых используются подогреватели смешивающего типа. Надежность и безопасность энергетики. 2020. – Т. 13, №1 – С. 35–40.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-35-40>

For citation:

Sukhorukova E. A., Sincova T. G., Nikolaenkova E. K., Kolpakov S. P. [Improving reliability of turbine units of TPPs and NPPs with mixing heaters in regeneration system] Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2020, vol. 13, no. 1, pp. 35–40. (in Russian)
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-35-40>

Improving reliability of turbine units of TPPs and NPPs with mixing heaters in regeneration system

Sukhorukova E. A., Sintsova T. G., Nikolaenkova E. K., Kolpakov S. P.*

Open Joint-Stock Company «Scientific and industrial association for research and design of energy equipment named after I. I. Polzunov»

Atamanskaya Street 3/6 191167, St. Petersburg, Russia

When developing designs of mixing heat exchangers used in low-pressure regeneration system for turbines with power from 200 to 1200 MW of TPPs and NPPs, special attention is paid to protecting the turbine flow parts from dripping moisture.

Many years of work of JSC "NPO CKTI" on the research, development and implementation of low-pressure heaters (LPH) have shown that their installation in the vacuum zone of the condensate path, as well as in the zone of relatively low overpressure, ensures the maximum cost-efficiency and reliability of the turbine plant regeneration systems. However, an insignificant difference in operating pressures in the LPH and the heating steam from steam turbine extractions, typical for connection options for heaters, requires the development of additional organizational and technical measures to prevent water from entering the turbine. For stationary operating modes, there are two stages of protection against rising levels in the apparatus, providing reliable removal of water through the emergency overflow system or by stopping condensate pumps. In cases of emergency load dump of a turbine unit, the process of increasing the level in the LPH is much faster, up to boiling the entire volume of condensate.

The article discusses the possible conditions for the formation and penetration of droplet moisture into the flow part of the turbine. Analysis of well-known field and laboratory studies of the operation of LPH in the most unfavorable operating conditions (in particular, load shedding of a turbine unit) is carried out.

A description of the process of boiling water in mixing LPH during turbine load shedding is given. A variant of methodology for estimating the time of swelling of the water level in mixing LPH is proposed. The presented theoretical justifications make it possible to estimate the time of formation and growth of bubbles in deaerated water. The physical process under study is characteristic of the operating conditions of mixing heaters of the low-pressure regeneration system of turbine units and is of interest from the point of view of substantiating the action speed of the system for turbine protection from moisture entering the turbine with a return steam flow.

KEYWORDS: Reliability of regeneration system of TPPs and NPPs, low-pressure mixing heater, water level swelling time, turbine safety

На современных отечественных энергоблоках ТЭС и АЭС мощностью 200÷1200 МВт широко применяются комбинированные системы регенерации низкого давления, в вакуумной зоне которых установлены один или два подогревателя низкого давления смешивающего типа (ПНС). Многолетний опыт работ ОАО «НПО ЦКТИ» по исследованию, разработке и внедрению ПНС показал, что их установка в вакуумной зоне конденсатного тракта, а также в зоне относительно малого избыточного давления обеспечивает максимальную экономичность и надежность работы систем регенерации турбоустановки [1–3].

ПНС могут быть включены в схему регенерации как с перекачивающими насосами, так и по гравитационному принципу. Оба варианта обеспечивают устойчивую работу системы регенерации во всем диапазоне предусмотренных нагрузок турбоустановок, и существенных преимуществ относительно друг друга не имеют.

В то же время незначительная разность рабочих давлений в корпусе ПНС и греющего пара из отборов паровых турбин (давление не более 0,15 МПа), свойственная обоим вариантам, требует разработки дополнительных организационно-технических мероприятий по предупреждению попадания воды в турбину. В стационарных режимах работы предусматривается две ступени защиты от повышения уровня в аппарате при

отказе откачивающих насосов или регулирующего клапана:

- установка в отсеке нагрева патрубка аварийного перелива, соединенного с конденсатором через специальный безарматурный гидрозатвор;

- отключение насосов, подающих воду в аппарат при достижении уровня воды до величины уставки защиты.

Поступление воды в проточную часть турбины из ПНС возможно и при резком снижении мощности. При скорости разгрузки, превышающей постоянную времени аппарата, произойдет вскипание находящейся на линии насыщения воды и набухание уровня. При достижении пароводяной смеси уровня патрубка подвода пара возможно попадание воды в проточную часть турбины с обратным потоком пара.

Для исключения указанного явления в смешивающем подогревателе предусмотрена перегородка, отделяющая отсек нагрева от отсека сбора нагретого конденсата. Конструкция перегородки, обеспечивающая минимально допустимый объем воды на ней, снабжена устройством для слива конденсата и уравнительными патрубками. Площадь сечения уравнительных патрубков ограничивает скорость падения давления в отсеке сбора конденсата, а, следовательно, набухание уровня в нем и расход пара в отсеке нагрева, что исключает заброс воды в проточную часть турбины.

При эксплуатации возможно наложение двух ситуаций: отказ откачивающих насосов и сброс нагрузки турбины. Это приводит к накоплению находящейся на линии насыщения воды в отсеке нагрева, ее вскипанию, набуханию уровня и обратному току пара в турбину при отказе обратного парового клапана или его отсутствия в конструктивной схеме ПНС.

Натурные и лабораторные исследования работы ПНС в наиболее неблагоприятных режимах эксплуатации (в частности, сброса нагрузки турбоустановки) позволили выработать рекомендации и технические решения для обеспечения безопасной работы турбины во всем диапазоне рабочих режимов. Так, в [4] предложено ограничивать высоту патрубка аварийного перелива над перегородкой не более 300 мм; в [1, 4] рекомендована установка сепарационных устройств и приведено расчетное обоснование величины максимального подъема слоя воды без анализа структуры слоя кипящей воды; в [1] также рекомендовано иметь заданный перепад высоты между патрубком подвода пара и перегородкой, обоснована установка обратного клапана на патрубке подвода пара или сохранение клапана обратного соленоидного (КОС) на паропроводе от отбора турбины к ПНС.

Установка обратного парового клапана (ОПК), вследствие наличия гидравлического сопротивления самого клапана, снижает нагрев основного конденсата на $2\div3^\circ\text{C}$, и соответственно, мощность турбоустановки на $100\div240$ кВт для турбины $N=1000$ МВт, а наличие КОС снижает нагрев на $5\div6^\circ\text{C}$ и мощность до 500 кВт. Наличие 2-х и более обратных паровых клапанов в отсеке нагрева может приводить к автоколебаниям и металлическим стукам в аппарате. При гравитационной схеме включения смешивающих подогревателей возможен рост давления пара в нижнем аппарате и прекращение слива конденсата из верхнего подогревателя в нижний [2].

В настоящее время отсутствует однозначное мнение о целесообразности сохранения на паропроводе КОС или установке обратного клапана на патрубке подвода пара в отсек нагрева. В эксплуатации более 40 лет имеются аппараты с ОПК, с КОС и без ОПК и КОС [1, 2].

Исследования работы смешивающих подогревателей при нормальном уровне воды в отсеке сбора конденсата рассмотрены в [1–3]. Для принятия обоснованных решений следует рассмотреть физическую картину набухания уровня в отсеке нагрева в зависимости от режима работы турбоустановки.

Набухание уровня воды при кипении определяется количеством пара находящимся под уровнем и выделившимся из воды в паровое пространство. Количество пара, выделившегося в паровое простран-

ство, определяется скоростью всплытия паровых пузырей. Если размеры канала существенно больше диаметра крупных пузырей, то для определения скорости их всплытия рекомендуется формула Франк-Каменецкого [6]:

$$u_0 \approx 1,5 \sqrt[4]{\sigma g (\rho' - \rho'') / (\rho')^2}$$

где: σ — поверхностное натяжение; g — ускорение силы тяжести; ρ' — плотность тяжелой фазы; ρ'' — плотность легкой фазы.

Групповая скорость всплытия пузырей определяется:

$$u^* = \psi u_0 \quad (1)$$

где: $\psi = \psi(\rho'/\rho'')$ — фактор взаимодействия.

Из анализа экспериментальных данных получена следующая зависимость [6]:

$$\psi = 1,4(\rho'/\rho'')^{1/5} (1 - \rho''/\rho')^5 \quad (2)$$

Формула (2) получена при барботаже в каналах относительно большого диаметра для которых обеспечена стабильность потока. При этом длина участка стабилизации при равномерном распределении пара по сечению барботажной колонки не превышает $0,1\text{--}0,2$ м. Таким образом, соотношения (1) и (2) правомерны для парожидкостных систем в условиях гидродинамической стабилизации потока.

В [1] показано, что скорость всплытия одиночных пузырей практически не зависит от их диаметра и составляет $0,2\div0,4$ м/с (рисунок 1).

Данной скорости всплытия пузырей соответствует скорость падения давления пара и мощности турбоагрегата соответственно: $0,02\div0,03$ МПа/с и $0,02\div0,03 N_{\text{ном}}/\text{с}$, при которой пузыри всплывают и вы-

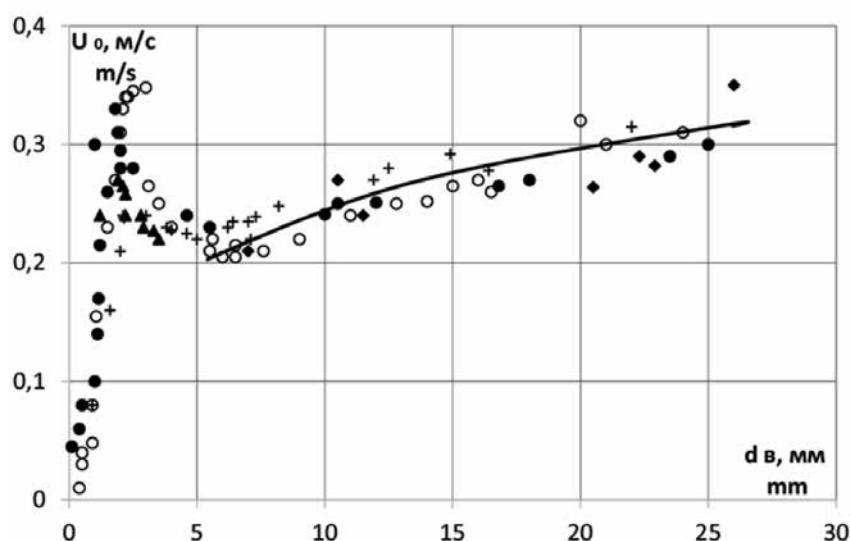


Рисунок 1. Зависимость скорости всплытия одиночных паровых пузырей от их диаметра. Условные обозначения: $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacklozenge$, $\circ$, $+$ — соответствуют сериям опытов [5].

Figure 1. Dependence of the rate of ascent of single vapor bubbles on their diameter. Legend: $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacklozenge$, $\circ$, $+$ — correspond to a series of experiments [5].

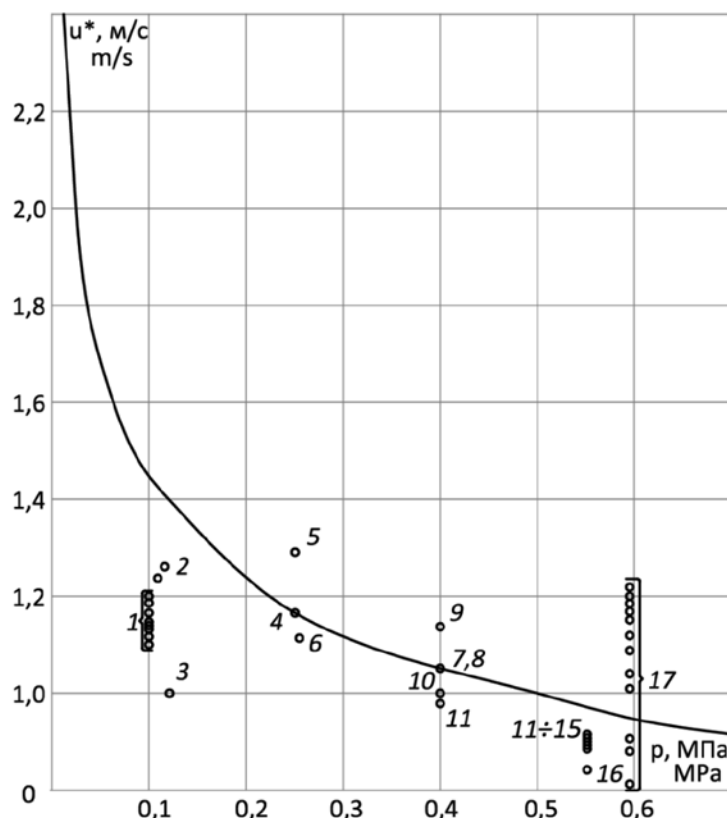


Рисунок 2. Зависимость групповой скорости всплывания паровых пузырей от давления. Цифрами 1–17 обозначены серии опытов по [4]

Figure 2. Dependence of the group velocity of the rise of steam bubbles on pressure. Numbers 1–17 show a series of experiments [4]

деляются из воды без набухания уровня.

На рисунке 2 представлена зависимость групповой скорости всплывания пузырей от давления согласно формулы (1), а также результаты ряда экспериментальных исследований [1]. При постоянном давлении пара в аппарате 0,1 МПа скорость всплывания пузырей составляет от 1,08 до 1,21 м/с, чему соответствует скорость изменения мощности не более $0,1 N_{\text{ном}}/\text{с}$.

Однако, при отключении энергоблока в аварийной ситуации скорость снижения давления пара и мощности на порядок выше и составляют соответственно $1-1,5 P_{\text{ном}}/\text{с}$ и $1-1,5 N_{\text{ном}}/\text{с}$. Поэтому, при данном режиме предложенные в [1, 2, 6] методики расчета набухания, основанные на скорости всплывания пузырей, не могут быть применены.

Методики расчета времени набухания уровня воды на линии насыщения при большой скорости падения давления, когда пузырьки пара не успевают выделиться из воды для смешивающих подогревателей паровых турбин, отсутствуют. Ниже предложена методика расчета для указанного случая.

падение давления, чем в недеаэрированной воде. Центрами образования и роста пузырей являются микронеровности на поверхностях элементов конструкции аппарата, микрочастицы в воде, микропузырьки и неустойчивая структура состояния воды [9].

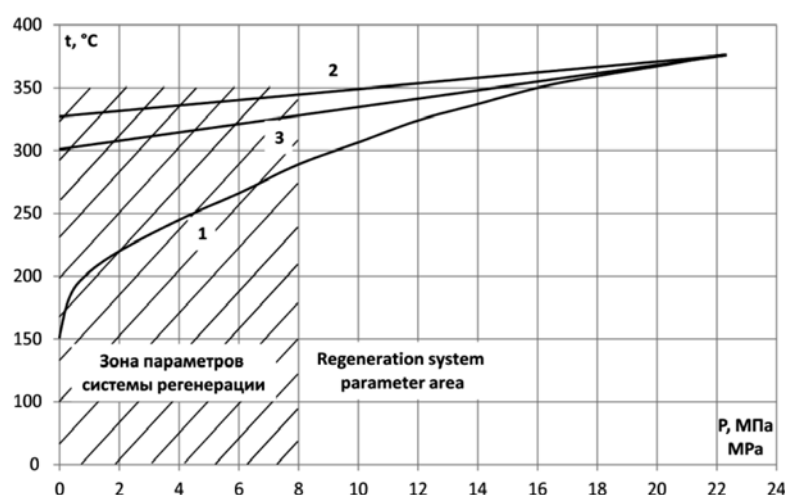


Рисунок 3. Иллюстрация метастабильного состояния воды в $t-P$ координатах. Приведена зона параметров системы регенерации. Цифрами обозначены: 1 — бинодаль, 2 — спинодаль, 3 — линия постоянной скорости образования пузырей

Figure 3. Illustration of the metastable state of water in $t-P$ coordinates. The zone of parameters of the regeneration system is given. The numbers indicate: 1 — binodal, 2 — spinodal, 3 — line of constant bubble formation rate

Время набухания уровня пароводяной смеси в паровом отсеке включает в себя следующие составляющие:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

где: τ_1 — время падения давления при конденсации массы пара, находящегося в отсеке нагрева с учетом обратного потока пара из отсека в турбину;

τ_2 — характерное время ожидания образования жизнеспособного парового пузырька;

τ_3 — время роста пузырька до момента разрушения.

τ_1 определяется из следующих соображений. При нормальной работе давление пара в камере отбора турбины больше давления в аппарате на величину гидравлического сопротивления тракта. При сбросе нагрузки энергоблока давление в отборе падает по экспоненциальной зависимости:

$$P = \frac{P_{\tau 0}}{10,3\tau^{2,2} + 1}$$

где: $P_{\tau 0}$ — давление пара в отборе турбины.

В начальный момент времени прекращается поступление пара из отбора в подогреватель и на струях холодной воды происходит конденсация пара, находящегося в отсеке нагрева. Время снижения давления от P_0 до P_1 , соответствующего среднеинтегральной температуре струй воды, определяется по выражению:

$$\tau_1 = \frac{V_{\pi} \cdot \rho_{\pi} \cdot r}{G_B (i_{\text{вых}} - i_{\text{вх}})}$$

где: V_{π} , ρ_{π} — объем и плотность пара в отсеке нагрева;

r — скрытая теплота парообразования;

G_B — расход воды;

$i_{\text{вых}}$, $i_{\text{вх}}$ — энтальпия воды на входе и выходе отсека нагрева.

Влияние истечения пара на падение давления в отсеке нагрева составляет 2–3 с, что исключает спонтанное, взрывное вскипание воды на перегородке. Фазовый переход при образовании и росте пузырей происходит по механизму гетерогенной нуклеации.

Поскольку возникновение парового пузырька носит случайный характер, то под временем τ_2 следует понимать среднее время ожидания зародыша. Величина $J = 1/\tau_2$ определяет частоту зародышеобразования, то есть среднее число зародышей, образующихся в данном объеме воды в единицу времени. Скорость зародышеобразования в единице объема $J_1 = J/V$ и тогда $\tau_2 = 1/(J_1 V)$.

Частота зародышеобразования определяется по уравнению Деринга – Фольмера:

$$J_1 = B \sqrt{\frac{6\sigma}{(3-b)\pi m}} \exp\left[-\frac{h}{kT}\right] \exp\left[-\frac{W_k}{kT}\right]$$

где: B — количество молекул в единице объема; m — масса молекулы;

σ — поверхностное натяжение;

h — теплота парообразования в расчете на одну молекулу;

k — постоянная Больцмана;

W_k — работа по образованию критического зародыша.

Отношение $W_k/kT = G$ — число Гиббса, определяющее глубину проникновения жидкой фазы в паровую область, то есть степень метастабильности.

Время τ_3 определяется как время роста пузырька до критического состояния (до разрушения). Для условий отсека нагрева смешивающего подогревателя примем следующие допущения при росте пузырька при декомпрессии:

- пузырек имеет сферическую форму с одинаковой температурой и давлением на линии насыщения;
- влиянием вязкости и сжимаемости пренебрегаем вследствие большой скорости звука в паре и в воде;
- влиянием инерционных сил пренебрегаем в виду малой плотности пара.

Давление воды на границе пузырька определяется по зависимости:

$$P(R) = P_v(T) - \frac{2\sigma}{R}$$

где: $P_v(T)$ — давление насыщенного пара при температуре T на границе пузырька.

Начальный радиус пузырька R_0 определяется из соотношения:

$$\frac{2\sigma}{R_0} = P_v(T_0) - P_0$$

Тогда уравнение движения границы или скорости роста пузырька пара в деаэрированной воде с параметрами, характерными при работе системы регенерации низкого давления примет вид:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} R^2 = \frac{P_v(T) - P_v(T_0) + \frac{2\sigma}{R_0} \left(1 - \frac{R_0}{R}\right)}{\rho}$$

Рост пузырька заканчивается при равенстве величин давления пара внутри и силы поверхностного натяжения пленки воды. После чего происходит разрушение пузырька с выделением пара и образованием капли воды.

Выводы

Таким образом, анализ ранее проведенных экспериментальных исследований, опыта эксплуатации смешивающих подогревателей на ТЭС и АЭС, а также представленные теоретические обоснования позволяют оценить время образования и роста пузырьков в деаэрированной воде. Исследуемый физический процесс характерен для условий работы смешивающих подогревателей системы регенерации низкого давления турбоустановок и представляет интерес с точки зрения обоснования времени быстрого действия системы защи-

ты турбины от попадания влаги в турбину с обратным потоком пара.

Список использованных источников

1. Готовский М. А. Актуальные проблемы систем регенерации паротурбинных установок. Конструкторские и научные проблемы совершенствования систем регенерации питательной воды и результаты их решения: монография / М. А. Готовский, Ю. Г. Сухоруков. LAP Lambert Academic Publishing 2015; 239.
2. Ермолов В. Ф. Бездеаэрационные тепловые схемы / В. Ф. Ермолов, Н. Н. Трифонов, Ю. Г. Сухоруков // Машиностроение. Энциклопедия в 40 т. Т. IV-19 Турбинные установки. – М.: Машиностроение 2015; 165–174.
3. Gotovsky M. A., Ermolov V. F., Mikhailov V. E., Sukhorukov, Yu. G., Trifonov N. N. On the prospects of using deaeratorless thermal schemes with direct contact low-pressure heaters at new Nuclear power plants. Proceedings of ICONE22, July 7–11, 2014, Prague, Czech Republic ICONE22-30487.
4. Пат. 2568027 Российская Федерация, МПК F 22 D 1/32. Смешивающий подогреватель системы регенерации паровых турбин / Ермолов В. Ф., Трофимова О. Б., Сухоруков Ю. Г., Юдина Н. Г., Сухорукова Е. А., Мухин В. В., Большаков Е. А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова». – №2014148329/06; заявлено 01.12.14; Бюл. 2015; (31): 4.
5. Есин С. Б. Разработка и опыт совершенствования схем регенерации и ее оборудования турбин мощностью 100 – 800 МВт / С. Б. Есин, Н. Н. Трифонов, Ю. Г. Сухоруков, П. В. Егоров и др. // Надежность и безопасность энергетики 2017; 10(4): 340 – 347.
6. Ледуховский Г. В. Исследование технологических процессов атмосферной деаэрации воды / Г. В. Ледуховский, В. Н. Виноградов, С. Д. Горшенин, А. А. Коротков / под общ. ред. Г. В. Ледуховского; ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина» 2016; 420 с.
7. Есин С. Б. Исследование бездеаэрационной тепловой схемы и ее оборудования при переменных режимах работы энергоблока / С. Б. Есин, Н. Н. Трифонов, Ю. Г. Сухоруков, П. В. Егоров // 2 Всероссийская спец. науч.-практическая конференция молодых специалистов «Современные технологии в энергетике»: – М. 2018; 107–112.
8. Синцова Т. Г. Расчетное обоснование безопасной работы турбины при обратном потоке пара из смешивающего подогревателя / Т. Г. Синцова, Н. Н. Трифонов, Ю. Г. Сухоруков, Е. К. Николаенкова // Национальный конгресс по энергетике: сб. материалов докладов. – Казань. 2014; 409–414.
9. Куперштох А. Л. Фазовые переходы жидкость – пар в сильных

электрических полях / А. Л. Куперштох, Н. В. Гаврилов, Е. В. Ерма-
нюк // Современная наука: исследования, идеи, результаты, техно-
логии. «НПВК Триакон». – Днепропетровск 2013; – 1(12): 389–395.

References

1. Gotovsky M. A., Sukhorukov Yu. G. Actual problems of steam turbine plant regeneration systems. Design and scientific problems of improving feedwater regeneration systems and the results of their solution. Lap Lambert Academic Publishing 2015; 239.
2. Ermolov V. F. Deaeration-free thermal circuits / V. F. Ermolov, N. N. Trifonov, Yu. G. Sukhorukov // Mechanical Engineering. Encyclopedia in 40 t. T. IV–19 Turbine units. – M.: Mechanical Engineering 2015; 165–174.
3. Gotovsky M. A., Ermolov V. F., Mikhailov V. E., Sukhorukov, Yu. G., Trifonov N. N. On the prospects of using deaeratorless thermal schemes with direct contact low-pressure heaters at new Nuclear power plants. Proceedings of ICONE22, July 7–11, 2014, Prague, Czech Republic ICONE22-30487.
4. Pat. 2568027 Russian Federation, IPC F 22 D 1/32. Mixing heater of a steam turbine regeneration system / Ermolov V. F., Trofimova O. B., Sukhorukov Yu. G., Yudina N. G., Sukhorukova E. A., Mukhin V. V., Bolshakov E. A.; applicant and patent holder Joint Stock Company "I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment" – No. 2014148329/06; stated on 12/01/14; publ. 11/10/15, Bull. 2015; (31): 4.
5. Yesin S. B. Development and experience in improving regeneration schemes and its equipment for turbines with a capacity of 100–800 MW / S. B. Yesin, N. N. Trifonov, Yu. G. Sukhorukov, P. V. Egorov et al. // Reliability and safety of energy 2017; 10(4): 340–347.
6. Ledukhovskiy G. V. Research of technological processes of atmospheric deaeration of water / G. V. Ledukhovskiy, V. N. Vinogradov, S. D. Gorshenin, A. A. Korotkov / under the total. ed. G.V. Ledukhovskiy; FGBOUVO "Ivanovo state. energetic. un-t them. IN AND. Lenin" 2016; 420.
7. Yesin S. B. Investigation of a deaeration-free thermal circuit and its equipment under variable operating conditions of a power unit / S. B. Yesin, N. N. Trifonov, Yu. G. Sukhorukov, P. V. Egorov // 2 All-Russian special. scientific and practical conference of young specialists (with international participation) "Modern technologies in the energy sector": Sat. reports. – M. 2018; 107–112.
8. Sintsova T. G. Calculation substantiation of safe operation of a turbine with a reverse steam flow from a mixing heater / T. G. Sintsova, N. N. Trifonov, Yu. G. Sukhorukov, E. K. Nikolaenkova // National Congress on Energy: Sat. materials of reports. – Kazan 2014; 409–414.
9. Kuperstokh A. L. Liquid – vapor phase transitions in strong electric fields / A. L. Kuperstokh, N. V. Gavrilov, E. V. Yermanyuk // Modern science: research, ideas, results, technologies. "NPVK Triakon." – Dnipropetrovsk 2013; 1(12): 389–395.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>

УДК 697.1:699.86

Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей ГВС

Самарин О. Д.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ)

Ярославское ш. 26, 129337, г. Москва, Россия

Поступила / Received 15.01.2020

Принята к печати / Accepted for publication 27.02.2020

Рассмотрена модифицированная схема теплоснабжения жилых зданий с зависимым присоединением к наружным теплосетям, обеспечивающая надежность теплоподдачи и необходимую комфортность в помещениях за счет подмешивания части воды после подогревателей горячего водоснабжения (ГВС) при наружной температуре, превышающей точку излома температурного графика. Выполнен обзор возможных способов повышения надежности и безопасности теплоснабжения, повышения эффективности теплоисточников, а также регулирования теплоподдачи и предотвращения «перетоков» вблизи начала и конца отопительного периода. Проведены расчеты, позволяющие определить фактическую амплитуду колебаний температуры в жилых зданиях при суточном изменении расхода воды после подогревателей ГВС в условиях применения рассматриваемой схемы присоединения зданий к теплосети. Дан анализ полученных результатов и сделаны выводы относительно целесообразности применения данной схемы. Установлено, что с учетом теплоустойчивости ограждающих конструкций суточные колебания расхода существенно не сказываются на стабильности температурного режима жилых зданий и комфортности их внутреннего микроклимата при высоких температурах наружного воздуха. Показано, что при этом с точки зрения надежности теплоснабжения основной группы жилых зданий и обеспечения безопасности жизнедеятельности людей предлагаемая схема не уступает стандартной двухступенчатой схеме присоединения теплообменников ГВС с ограничением суммарного расхода сетевой воды и со связанным регулированием теплоподдачи на ГВС, отопление и вентиляцию. Отмечено, что в рассматриваемой схеме среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС в течение преобладающей части отопительного периода выше или равен расчетному расходу на нужды отопления и вентиляции, что минимизирует время работы смесительного насоса и обеспечивает регулирование теплоподдачи только за счет контура отработанной воды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоподдача, точка излома, температура, отработанная вода, теплообменник, горячее водоснабжение

Благодарности

Некоторые результаты работы, представленные в статье, получены в ходе выполнения НИР для патента РФ (правообладатель НИУ МГСУ) «Конструкция индивидуального теплового пункта» № 2689873 от 29.05.19 (приоритет изобретения 16.11.18).

Адрес для переписки:

Самарин О. Д.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)
Ярославское ш. 26, 129337, г. Москва, Россия
e-mail: samarin-oleg@mail.ru

Address for correspondence:

Samarin O. D.
National Research Moscow State University of Civil Engineering
Yaroslavskoye highway, 26, 129337, Moscow, Russia
e-mail: samarin-oleg@mail.ru

Для цитирования:

Самарин О. Д. Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей ГВС. Надежность и безопасность энергетики. 2020. Т. 13, №1. – С. 41 – 47.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>

For citation:

Samarin O. D. [The analysis of the secure and safe heat supply of residential buildings using the waste water after the heat exchangers for DHW]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2020, vol. 13, no. 1, pp. 41 – 47 (in Russian).
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>

Analysis of reliable and safe heat supply of residential buildings using waste water after DHW heat exchangers

Samarin O. D.

*National Research Moscow State University of Civil Engineering
Yaroslavskoye Highway, 26, 129337, Moscow, Russia*

A modified scheme of heat supply of residential buildings with dependent connection to external heating networks, providing reliability of heat supply and the necessary comfort in the premises due to mixing of waste water after domestic hot water (DHW) heaters at an outdoor temperature exceeding the temperature graph break point, is considered. A review of possible ways to improve the reliability and safety of heat supply, improve the efficiency of heat sources, as well as regulate heat supply and prevent "overheating" near the beginning and end of the heating period is carried out. Calculations are carried out to determine the actual amplitude of temperature fluctuations in residential buildings with a daily variation in water flow rate after hot water heaters in the conditions of application of the considered scheme of connecting buildings to the heating network. Analysis of obtained results is given, and conclusions are drawn concerning the expediency of application of the above scheme. It is established that, given the thermal stability of enclosing structures, the daily flow rate fluctuations have no significant effect on the stability of the temperature regime of residential buildings and the comfort of their indoor microclimate at high outdoor air temperatures. It is shown that, in terms of reliability of heat supply of the main group of residential buildings and ensuring the life safety, the offered scheme is not inferior to the standard two-stage scheme of connection of DHW heat exchangers, with restriction of the total consumption of network water and with dependent control of heat supply to DHW, heating and ventilation. It is noted that in the scheme under consideration, the daily average consumption of network water to domestic hot water heaters over most of the heating period is higher or equal to the estimated consumption for heating and ventilation systems, which minimizes the time of using the mixing pump and provides for the regulation of heat supply only at the expense of the wastewater circuit.

KEYWORDS: heat feed, break point, temperature, waste water, heat exchanger, domestic hot water supply

Acknowledgments

Some results of the work presented in the article were obtained during the implementation of research for a patent of the Russian Federation (right holder: NRU MSUCE) "Construction of individual heat point" № 2689873 dated 29.05.19 (priority of invention 16.11.18)".

Введение и обзор литературы

В условиях, близких к моменту начала или конца отопительного сезона, когда из-за необходимости обеспечения нагрева воды в системах горячего водоснабжения (ГВС) температуры воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети вынужденно оказываются выше, чем требуется в это время по отопительному графику, может произойти избыточная теплоподача в здания, которую обычно называют «перетопом». При этом ухудшается комфортность людей в помещении и безопасность их жизнедеятельности, а также возникают излишние затраты теплоты, приводящие в конечном счете к перерасходу топлива и неоправданному дополнительному загрязнению окружающей среды.

С целью предотвращения этого явления предложены различные способы, в том числе подмешивание отработанной воды из обратной магистрали и некоторые общесистемные меры [1–7]. Например, речь идет о применении тепловых насосов вместо пиковых котлов, о комбинировании элементов централизованного и децентрализованного подогрева воды в теплосетях, переходе к использованию квартирных тепловых пунктов, совершенствовании инженерных систем и некоторых других мероприятиях. Продолжает рассматри-

ваться и повышение теплозащиты оболочки зданий, но также в комплексе с остальными решениями. Безусловно, такие подходы способны дать значительный энергетический эффект, в том числе не только путем непосредственного устранения избыточной теплоподдачи, но и за счет повышения КПД ТЭЦ в условиях когенерации, но они требуют существенных капитальных вложений и организационных мероприятий.

В то же время для жилых зданий, где велика доля ГВС в общем энергетическом балансе и, соответственно, значителен расход воды из теплосети на подогреватели ГВС, была предложена схема, которая предусматривает понижение температуры сетевой воды на входе в систему отопления до требуемой по графику за счет подмешивания отработанной воды после подогревателей ГВС [8, 9]. С применением материалов [8, 9] подана заявка на патент РФ «Конструкция индивидуального теплового пункта» от НИУ МГСУ № 2018140542 от 16.11.18. Помимо решения задачи непосредственно по предотвращению «перетопов», схема с использованием отработанной сетевой воды после теплообменников ГВС в первую очередь позволяет легко использовать остаточную теплоту этой воды для поддержания необходимой комфортности в зданиях после официального окончания отопительного сезона. Указанная проблема

решается путем подачи данной воды в систему отопления в случае похолоданий, как это рассмотрено в [8]. Данная схема для наглядности изображена на рисунке 1, а для сравнения соответствующий ей существующий вариант — на рисунке 2.

Здесь t_r и t_x — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода, TE и TC — соответственно датчик и регулятор температуры, FE и FC — датчик и регулятор расхода в соответствии с обозначениями, принятыми для функциональных схем автоматического регулирования. Реально датчики и регуляторы, как правило, объединены в соответствующих регуляторах прямого действия. Таким образом, требуется дополнительно только ответвление с насосом (ДН — AP, additional pump) для повышения давления отработанной воды до уровня подающей магистрали, регулятор температуры и обратный клапан на трубопроводе, соединяющем теплообменник ГВС с обратной магистралью, чтобы предотвратить обратное перетекание воды под действием насоса. Насос оборудуется частотно-регулируемым приводом, и в этом случае сигнал от TC поступает непосредственно на привод ДН, который выполняет также одновременно функцию дополнительного регулятора расхода [8, 9].

Однако анализ работоспособности данной схемы был выполнен только для среднесуточного режима и в условиях, близких к точке излома температурного графика t_u . В то же время водопотребление в системе ГВС в течение суток существенно колеблется и, соответственно, меняется расход отработанной сетевой воды [10]. Кроме того, целесообразно исследовать, что будет происходить в данной схеме в течение отопительного периода при понижении температуры наружного воздуха.

Постановка задачи и методы решения

Рассмотрим наиболее худший случай, когда водоразбор на ГВС вообще отсутствует и, таким образом, подмешивание отработанной воды в подающий трубопровод тепловой сети не осуществляется. Тогда температура нагретой воды на входе в систему отопления будет равна $T_{1.и} = 70^\circ\text{C}$ или даже несколько выше. Очевидно, что ее наибольшее превышение над требуемым по температурному графику будет в условиях, соответствующих началу или концу отопительного сезона, т. е. при температуре наружного воздуха $t_n = +8^\circ\text{C}$. Заметим, что по физическому смыслу при данной величине

t_n фактическая теплопотребность здания с учетом имеющихся теплопоступлений должна быть близкой к нулю. Следовательно, действительная теплоподача системы отопления в рассматриваемом режиме будет являться возмущающим тепловым воздействием, вызывающим отклонение t_b от уровня, диктуемого требованиями комфортности внутреннего микроклимата. Соответствующее значение теплового потока можно определить, если учесть, что оно должно равняться теплопотерям здания при t_n , соответствующей точке излома температурного графика. Можно показать, что при расчетных значениях температуры нагретой воды в подающем теплопроводе теплосети $T_1 = +150^\circ$ и $t_{н5} = -25^\circ$ — расчетной температуре наружного воздуха для наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92 для Москвы по данным [11] эта температура будет равна примерно $+5^\circ\text{C}$.

Исследуем также вариант, когда в среднесуточном режиме можно попытаться полностью отказаться от смесительного насоса и снизить температуру T_1 до допустимой в системе отопления $t_{н.от}$ (в расчетном режиме обычно $+95^\circ\text{C}$) даже при $t_n < t_{н.и}$ исключительно за счет подмешивания обратной воды после подогревателей ГВС. Вообще говоря, в рассма-

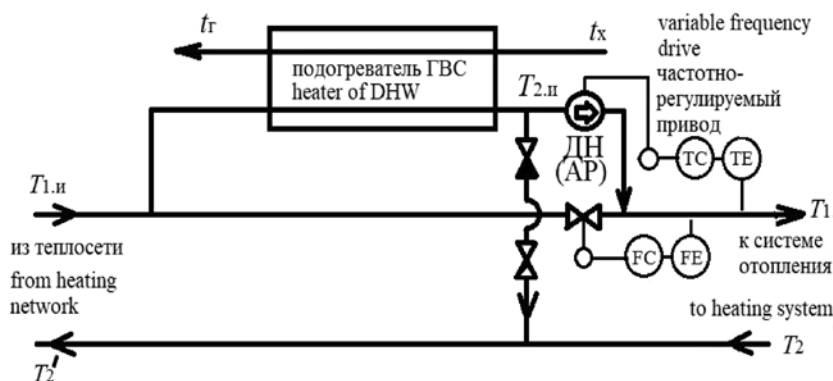


Рисунок 1. Схема использования отработанной воды после подогревателей ГВС для предотвращения «перетоков» в системе отопления

Figure 1. Scheme of the waste water after the domestic hot water heaters to prevent excessive heat feed in the heating system

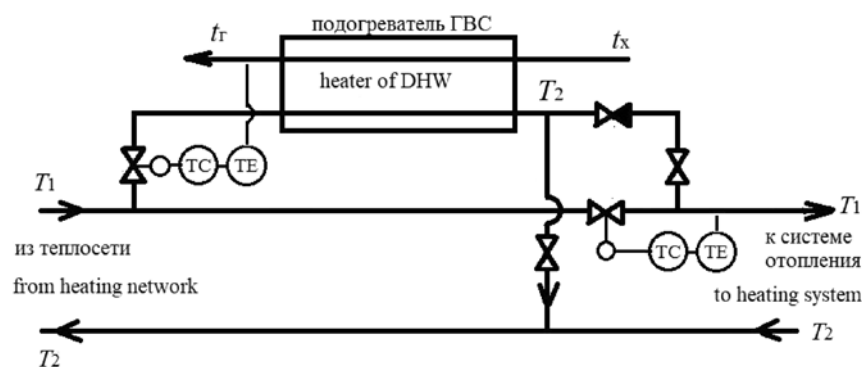


Рисунок 2. Существующая параллельная схема подключения подогревателя ГВС к тепловой сети

Figure 2. Existing parallel scheme for connecting the DHW heater to the heat network

триваемой схеме подобная задача не ставится, поскольку ее реализация предназначена именно для обеспечения возможности отопления в случае резких похолоданий за пределами официального отопительного сезона с целью обеспечения требуемой комфортности внутреннего микроклимата и безопасности жизнедеятельности, а также, в качестве дополнительного полезного эффекта, для ликвидации «перетоков» в начале и конце отопительного сезона. Однако в методических целях исследование соответствующего режима представляет интерес.

Как известно, требуемый среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС, кг/с (kg/s), будет равен [10]:

$$G_{\text{ГВ.ТС}}^{\text{ср}} = \frac{1.1 G_{\text{ГВ.ср}} (t_{\text{Г}} - t_{\text{Х}})}{(T_1 - T_2) \cdot 86400}.$$

Здесь $t_{\text{Г}} = +65^\circ$ и $t_{\text{Х}} = +10^\circ$ — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода в условиях, близких к моменту начала и конца отопительного периода; 86400 — число секунд в сутках, 1.1 — балансовый коэффициент. Среднесуточное водопотребление в системе ГВС $G_{\text{ГВ.ср}}$, л/сут (l/day), определяется по [12] и является постоянной величиной, в то время как температуры T_1 и T_2 , очевидно, варьируются в соответствии с температурным графиком. Следовательно, меняться будет и $G_{\text{ГВ.ТС}}^{\text{ср}}$, уменьшаясь с понижением $t_{\text{Х}}$. В то же время расчетный расход сетевой воды на нужды отопления и вентиляции $G_{\text{ОВ}}$, кг/с (kg/s), хотя и вычисляется для условий наиболее холодной пятидневки, но считается неизменным в течение отопительного периода, поскольку разность T_1 и T_2 меняется пропорционально теплотериям здания Q , Вт (W) [10]:

$$G_{\text{ОВ}} = \frac{Q}{c_w (T_1 - T_2)}.$$

Здесь $c_w = 4190$ Дж/(кг·К) (J/(kg·K)) — удельная теплоемкость воды.

Результаты и анализ

Для жилого здания по серии ПЗ-1/16, использованного в качестве примера в [8], теплотехнические показатели приведены в таблице. Здесь A_i — площади наружных и основных внутренних ограждений, принимаемые по строительным чертежам; Y_i — коэффициенты теплоусвоения ограждающих конструкций теплопередаче, принимаемые по Приложению [13] с использованием рекомендаций [10, 14]. Величина $P_{\text{орг}} = \sum A_i Y_i$ представляет собой суммарный показа-

Таблица. Теплотехнические показатели ограждений здания

Table. Thermal indexes of building enclosures

Ограждение Enclosure	Материал* Material	A_i , м ² (m ²)	Y_i , м ² ·К/Вт (m ² ·K/W)	$A_i Y_i$, Вт/К (W/K)
Наружная стена External wall	Керамзитобетон Claydite-concrete	3157	6.13	19352
Междуэтажные перекрытия** Floors	Железобетон Reinforced concrete	354·17 = 6018	11.4	68606
Окна Windows	—	$\sum A_{\text{ок}} = 699$	1.79	1251
Сумма Sum	—	$\sum A_i = 9874$	—	$P_{\text{орг}} = \sum A_i Y_i = 89209$

*) со стороны, обращенной в помещения

**) с учетом количества этажей (16); площадь принимается в натуральном размере, без удвоения, поскольку перекрытия являются внутренними ограждениями, и температурная волна распространяется с обеих сторон

тель теплоусвоения ограждений помещений здания без учета внутренних перегородок, т. е. это несколько заниженная величина по сравнению с действительной. В этом случае фактическая амплитуда колебаний $t_{\text{в}}$, наоборот, получит оценку по верхнему возможному пределу.

Принимая средний коэффициент конвективного теплообмена на внутренних поверхностях $\alpha_{\text{к.ср}}$ в размере около 3.7 м²·К/Вт (m²·K/W), вычисляем суммарный показатель конвективного теплообмена $\Lambda = \alpha_{\text{к.ср}} \sum A_i = 3.7 \cdot 9874 = 36534$ Вт/К (W/K). Далее находим показатель теплопоглощения вентиляционного воздуха $P_{\text{вент}} = 0.28 L_{\text{расч}} \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 0.28 \cdot 9520 \cdot 1.3 = 3465$ Вт/К (W/K), где $L_{\text{расч}} = 9520$ м³/ч (m³/h) — вентиляционная норма воздуха [8], $c = 1$ кДж/(кг·К) (kJ/(kg·K)) — удельная теплоемкость воздуха; $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ — его плотность при соответствующей температуре, кг/м³; откуда показатель теплопоглощения помещений здания равен [11, 15]:

$$P_{\text{зд}} = \frac{1}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{P_{\text{орг}}}} + P_{\text{вент}} = \frac{1}{\frac{1}{36534} + \frac{1}{89209}} + 3465 = 29376 \text{ Вт/К (W/K)}.$$

С использованием данных [1] теплотери здания при $t_{\text{н}} = +5^\circ$ будут равны:

$$Q_5 = Q_{\text{тп}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н5}}} = 109503 \frac{20 - 5}{20 - (-25)} = 36501 \text{ Вт (W)}.$$

Здесь принято значение $t_{\text{в}} = +20^\circ\text{C}$ в соответствии с [15]. Параметр $Q_{\text{тп}} = 109503$ Вт представляет собой расчетные теплотери при $t_{\text{н}} = t_{\text{н5}}$ [1].

Теперь можно оценить амплитуду колебаний $t_{\text{в}}$ при суточных изменениях водоразбора в системе ГВС [10, 14]:

$$A_{t_{\text{в}}} = \frac{0.9 Q_5}{P_{\text{зд}}} = \frac{0.9 \cdot 36501}{29376} = 1.12^\circ.$$

Таким образом, фактическая величина t_b будет лежать в пределах 18.88 ... 21.12°, что заведомо лежит в пределах допустимого диапазона 18 ... 23° для жилых помещений в соответствии с [15]. Более того, полученная амплитуда колебаний t_b того же порядка, что и для стандартной двухступенчатой схемы присоединения теплообменников ГВС с ограничением суммарного расхода сетевой воды и со связанным регулированием теплоподдачи на ГВС, отопление и вентиляцию. Следовательно, предлагаемая схема с точки зрения надежности и безопасности теплоснабжения не уступает стандартной.

С целью дополнительной проверки данных результатов был также произведен расчет действительного нестационарного теплового режима для одного из помещений рассматриваемого здания при использовании приведенных выше конструктивных характеристик ограждений и принципов расчета теплоподдачи. Для вычислений использовалась разработанная программа для ЭВМ на алгоритмическом языке Fortran, реализующая конечно-разностную аппроксимацию дифференциальных уравнений теплопередачи в ограждающих конструкциях, теплообмена на их поверхностях и теплового баланса помещения в целом [16]. Результаты расчета приведены на рисунке 3. Неравномерность теплопотребления, вызванная изменением водоразбора в системе ГВС, моделировалась более точно с учетом различной амплитуды разных составляющих водопотребления. Нетрудно видеть, что диапазон изменения t_b в данном случае оказался даже меньше, чем по аналитической оценке, поэтому можно утверждать, что она дает некоторый верхний предел для представляющей интерес амплитуды колебаний.

На рисунке 4 сплошной линией показан график отно-

шения $g_{ГВС} = G_{ГВ.ТС}^{cp} / G_{ОВ}$ для здания, использованного в качестве примера в [8]. Для него $G_{ОВ} = 0.55$ кг/с (kg/s), а максимальное значение $G_{ГВ.ТС}^{cp}$ в точке излома температурного графика составляет 0.64 кг/с (kg/s).

Для сравнения пунктиром изображена требуемая доля отработанной воды после подогревателей ГВС в смеси, направляемой в подающий трубопровод теплосети для поддержания в ней необходимой величины T_1 в соответствии с температурным графиком. Можно заметить, что при $t_n < -5^\circ\text{C}$ отработанной воды действительно будет не хватать, что и вызывает необходимость сохранения в схеме смесительного насоса. Однако его функции здесь оказываются более ограниченными, поскольку он будет работать только при понижении наружной температуры ниже указанного уровня, и при постоянном коэффициенте подмешивания. Функции регулирования при этом полностью будут обеспечиваться контуром отработанной воды. Кроме того, нужно отметить, что значение $t_n = -5^\circ\text{C}$ существенно ниже средней температуры наружного воздуха за отопительный период, которая для Москвы по [11] равна -2.2°C , и, таким образом, в течение его преобладающей части подмешивание будет осуществляться только за счет отработанной воды.

Можно также оценить достигаемую у потребителя экономию теплоты ΔQ , Дж (J), за счет устранения «перетоков» с помощью рассматриваемой схемы. Для этого, очевидно, необходимо найти разность потребления теплоты зданием за период, когда $t_n > t_n$, в случае, если подача теплоты осуществляется без корректировки температурного графика, и при ее наличии за счет подмешивания отработанной воды после подогревателей ГВС. В условиях рассматриваемого примера для климатических условий Москвы суммарная продолжи-

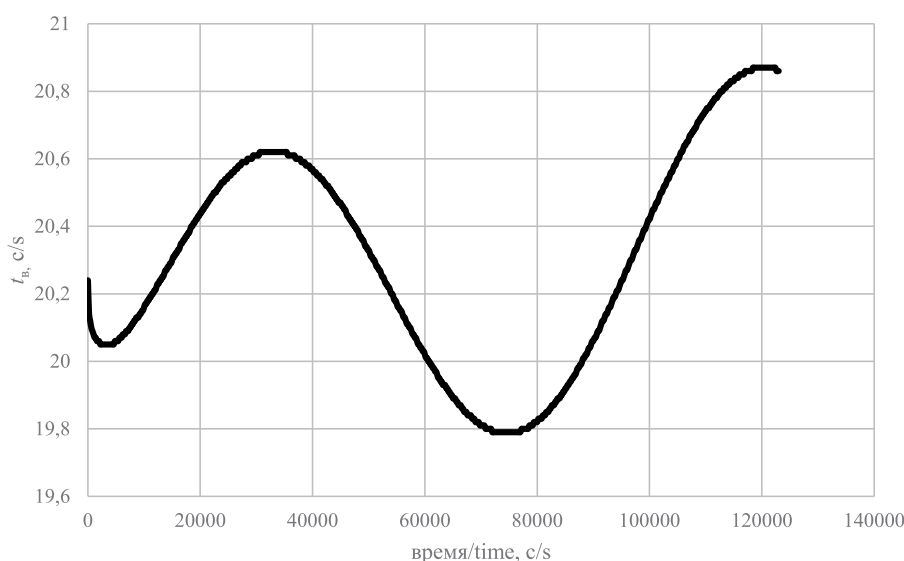


Рисунок 3. Зависимость температуры воздуха в одном из помещений здания от времени из-за колебаний водоразбора в системе ГВС по данным численного расчета

Figure 3. The dependence of the air temperature in one of the premises of the building on time due to fluctuations in water intake in the DHW system according to numerical calculation

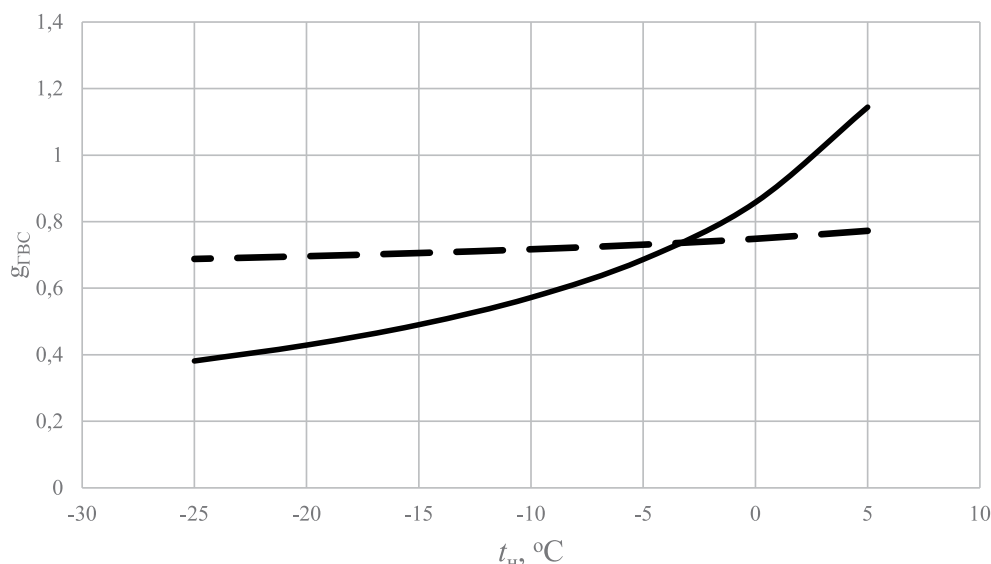


Рисунок 4. Зависимость относительного расхода сетевой воды на подогреватели ГВС от t_n
Figure 4. The dependence of the relative flow of mains water to the DHW heaters from t_n

тельность такого периода в пределах отопительного сезона составляет около $z = 27$ суток (days) [17]. Отсюда получаем:

$$\Delta Q = 24 \cdot 3600z (Q_5 - Q_{cp}),$$

где Q_{cp} — фактическая теплотребность здания при среднем значении наружной температуры в данных условиях, т. е. при $t_{n,cp} = (8 + 5)/2 = +6.5^\circ\text{C}$. Она равна действительным теплотерям за вычетом теплопоступлений, и в работе [8] была оценена величиной 10455 Вт (W), откуда имеем:

$\Delta Q = 24 \cdot 3600 \cdot 27(36501 - 10455) = 60.8 \cdot 10^9 \text{ Дж (J)}$, или около 14.5 Гкал (Gcal). По действующим тарифам ПАО «МОЭК» это соответствует примерно 40000 руб. (RUR). Это нижняя граница экономии, поскольку величина Q_{cp} относится к режиму $t_n = t_{in}$, а при более высоких значениях наружной температуры окажется еще меньше.

Выводы

Доказано, что с учетом теплоустойчивости ограждающих конструкций суточные колебания расхода отработанной воды после подогревателей ГВС, подмешиваемой к сетевой воде в подающий трубопровод теплосети, существенно не сказываются на стабильности температурного режима жилых зданий и комфортности их внутреннего микроклимата при $t_n = t_{in}$.

Отмечено, что рассматриваемая схема с точки зрения надежности теплоснабжения основной группы жилых зданий и обеспечения безопасности жизнедеятельности людей не уступает стандартной двухступенчатой схеме присоединения теплообменников ГВС с ограничением суммарного расхода сетевой воды и со связанным регулированием теплоподдачи на ГВС, отопление и вентиляцию;

Показано, что в рассматриваемой схеме среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС в течение преобладающей части отопительного периода выше или равен расчетному расходу на нужды отопления и вентиляции, что обеспечивает в соответствующих условиях возможность подмешивания отработанной воды в любой нужной пропорции и одновременно гарантирует гидравлическую устойчивость системы отопления даже при ее зависимом присоединении к тепловой сети.

Список использованных источников

1. Ротов П. В., Орлов М. Е., Шарапов В. И., Сивухин А. А. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплонасосных установок. Промышленная энергетика 2014; (7): 27–31.
2. Шарапов В. И. О некоторых аспектах технической политики в теплоснабжении. Энергосбережение и водоподготовка 2013; (5): 9–12.
3. Голобородько И. Е., Козлов С. А., Гудко А. Н. Дискуссия: конденсационные котлы и низкотемпературный график в системах отопления. Журнал «СОК» 2016; (1): 26–30.
4. Гавей О. Ф., Панферов В. И. Разработка алгоритма управления системами теплоснабжения при снижении температуры теплоносителя. Сб. докл. VI международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: НИУ МГСУ 2015; 264–268.
5. Rafalskaya T. A. Reliability and controllability of systems of centralized heat supply // Eastern European Scientific Journal 2016; (2): 228–235.
6. De Rosa M., Bianco V., Scarpa F., Tagliafico L. A. Modelling of energy consumption in buildings: an assessment of static and dynamic models. Russian Journal of Construction Science and Technology 2016; 1(2): 12–24.
7. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society 2015; 1(14): 5–15.
8. Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жи-

лых зданий в переходных климатических условиях. Надежность и безопасность энергетики 2018; 2(11): 149–153.

9. Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения. Надежность и безопасность энергетики 2019; 2(12): 120–125.

10. Хрусталева Б. М., Кувшинов Ю. Я., Копко В. М. Теплоснабжение и вентиляция. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во АСВ 2010; 784.

11. СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* "Строительная климатология"». – М.: Минрегион РФ 2012; 109.

12. СП 30.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация зданий"». – М.: Минрегион РФ 2012; 68.

13. СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий"». – М.: Минрегион РФ 2012; 96.

14. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – 3-е изд. – С-Пб.: Изд-во «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД» 2006; 400.

15. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». – М.: Росстандарт 2011; 11.

16. Самарин О. Д. Расчет остывания помещений здания в аварийных режимах для обеспечения надежности их теплоснабжения. Вестник МГСУ 2019; 4(14): 311–316.

17. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП 23-01-99*. Под ред. Савина В. К. – М.: НИИСК 2006; 258.

References

1. Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I., Sivukhin A. A. The increase of efficiency of operation of centralized heat supply systems by using heat pump units. Industrial power-engineering 2014; (7): 27–31. (In Russ.)

2. Sharapov V. I. On some aspects of the technical policy in the heat supply. Energy saving and water treatment 2013; (5): 9–12. (In Russ.)

3. I. E. Goloborod'ko, S. A. Kozlov, A. N. Gudko. Discussion: sweating boilers and low-temperature schedule in heating systems. Sanitary engineering. Heating. Air conditioning 2016; (1): 26–30. (In Russ.)

4. Gavey O. F., Panferov V. I. The development of control algorithms for heat supply systems with the heat transfer agent temperature changes. Proceedings of the VI International Science and Technical Conference «Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation». – Moscow : NR MSUCE 2015; 264–268. (In Russ.)

5. Rafalskaya T. A. Reliability and controllability of systems of centralized heat supply // Eastern European Scientific Journal 2016; (2): 228–235.

6. De Rosa M., Bianco V., Scarpa F., Tagliafico L. A. Modelling of energy consumption in buildings: an assessment of static and dynamic models. Russian Journal of Construction Science and Technology 2016; 1(2): 12–24.

7. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society 2015; 1(14): 5–15.

8. Samarin O. D. The secure and safe heat supply of residential buildings during the transitive climatic conditions. Safety and Reliability of Power Industry 2018; 2(11): 149–153. (In Russ.)

9. Samarin O. D. The secure and safe heat supply of residential buildings using the waste water after the heat exchangers for hot water supply. Safety and Reliability of Power Industry 2019; 2(12): 120–125. (In Russ.)

10. Khrustalev B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M. Heat supply and ventilation. The 3rd ed., rev. and suppl. Moscow: ASV Publishers 2010; 784. (In Russ.)

11. SP (Set of Rules) 131.13330.2012 «Actualized edition of SNiP (Building Code) 23-01-99* "Building climatology"». – Moscow: Minregion RF 2012; 109. (In Russ.)

12. SP (Set of Rules) 30.13330.2012 «Actualized edition of SNiP (Building Code) 2.04.01-85 "Domestic water supply and drainage systems in buildings"». – Moscow: Minregion RF 2012; 68.

13. SP (Set of Rules) 50.13330.2012 «Actualized edition of SNiP (Building Code) 23-02-2003 "Thermal performance of the buildings"». – Moscow: Minregion RF 2012; 96. (In Russ.)

14. Bogoslovsky V. N. Building thermal physics (the thermal physical foundations of heating, ventilation and air condition) – 3th ed. – St.-Petersbourg.: AVOK-Severo-Zapad Publishers 2006; 400. (In Russ.)

15. GOST (National Standard of Russian Federation) 30494-2011 «Residential and public buildings. Microclimate parameters for indoor enclosures». – Moscow: Rosstandart; 2011; 11. (In Russ.)

16. Samarin O. D. The calculation of building cooling under emergency conditions to ensure their heating reliability. Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering 2019; 4(14): 311–316. (In Russ.)

17. Building climatology. Reference book to SNiP (Buildings rules and regulations) 23-01-99*. Under ed. of Savin V. K. – Moscow: NIISF 2006; 258.



ДИСКУССИИ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-48-55>

Анализ технико-экономических показателей новой термоэлектрической установки

Куличихин В. В.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
ул. Красноказарменная, 14, 111250, г. Москва, Россия

Министерство образования и науки Российской Федерации (МИНОБРРФ) оказывает финансовую поддержку различным техническим университетам в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы». При этом оно рассматривает на «...определение направлений и разработку технических решений, направленных на повышение термодинамической и технико-экономической эффективности объектов распределенной и малой энергетики».

Но всегда ли оправдывается этот расчет?

В качестве своеобразных отчетов о выполнении научно-исследовательских работ по соглашениям между МИНОБРРФ и техническим университетом-исполнителем являются, кроме собственно Отчетов, также публикации статей по выполненным исследованиям в виде их завершающего этапа, в частности, в журнале «Теплоэнергетика». Однако анализ ряда как уже представленных в МИНОБРРФ Отчетов, так и опубликованных статей свидетельствует о слабой теоретической подготовке некоторых авторов в области термодинамики, теории турбомашин и теплоэнергетики, несмотря на наличие у них высоких ученых степеней и званий, об отсутствии доказательств термодинамической и технико-экономической эффективности предложенных решений, о невозможности осуществления некоторых из них вследствие нарушений законов термодинамики. К сожалению, в некоторых случаях авторы вводят научную общественность в заблуждение, утверждая в Отчетах в МИНОБРРФ и в статьях о сооружении и вводе в эксплуатацию предложенных ими якобы весьма экономичных и перспективных установок.

24.07.2016 г. большая группа академиков Российской Академии Наук (РАН), членов-корреспондентов РАН и профессоров РАН обратились с письмом к Президенту Российской Федерации В. В. Путину, в котором они дали нелицеприятную оценку современного состояния российской науки. В нем они констатировали «...падение авторитета науки в обществе, а российской науки — в мире, демотивацию и деморализацию активно работающих ученых, подмену научных критериев оценки бессмысленной формалистикой, последовательную деградацию¹ науки, резкую активизацию проходимцев от науки, уменьшение доли качественных отечественных публикаций». В письме было отмечено, что «время политической корректности закончилось, давно пора назвать вещи своими именами».

Именно руководствуясь этими соображениями в данной статье ее автором выполнен анализ статьи сотрудников Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) и Казанского научного центра Российской академии наук (КазНЦ РАН), опубликованной в журнале «Теплоэнергетика» [1], а также Отчета [2], направленного КГАСУ в МИНОБРРФ в связи с выполнением договора по соглашению №14.574.21.0013 на тему «Повышение энергетической эффективности котельных путем разработки и внедрения автоматизированной системы управления и новой термоэлектрической установки».

Авторами в них были даны описание, некоторые технические характеристики и технико-экономические показатели новой термоэлектрической установки с автоматизированной системой управления, так называемой ОЦР-установки, т. е. установки, работающей по органическому циклу Ренкина. На основе анализа содержания [1] и [2] доказаны ненаучность ряда положений в этих материалах и некорректность авторов при представлении сведений, не соответствующих действительности, о разработке² и внедрении³ указанной установки в одной из котельных г. Казани.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: установка, работающая по органическому циклу Ренкина, схема, котельная, технические параметры, технико-экономические показатели, перспективность использования в котельных.

¹ Деградация — постепенное ухудшение, упадок. Том 1, с. 670. Толковый словарь русского языка под редакцией проф. Д. Н. Ушакова. Государственный институт «Советская энциклопедия». Москва. ОГИЗ, 1935.

² Разработка — д е й с т в и е по глг. «разработать». Том 111, с. 1198. Толковый словарь русского языка под редакцией проф. Д. Н. Ушакова. Государственное издательство иностранных и национальных словарей. Москва, 1939.

³ Внедрение — д е й с т в и е по глг. «внедрить-внедрять». Том 1, с. 817. Толковый словарь русского языка под редакцией проф. Д. Н. Ушакова. Государственный институт «Советская энциклопедия. Москва. ОГИЗ, 1935.

Фактические обстоятельства

Краткое описание ОЦР-установки.

Следует отметить, что к настоящему времени имеется несколько описаний и схем одной и той же ОЦР-установки, сооруженной, по мнению авторов [1] и [2], в котельной по адресу ул. Сыртлановой, 27 (ГОРКИ-3) г. Казани.

В этой котельной установлены водогрейные котлы типа КВГМ (котлы водогрейные газо-мазутные) производства АО «Дорогобужкотломаш» (АО «ДКМ»). Всего по данным в [1] — четыре котлоагрегата суммарной мощностью 58,18 МВт.

В [1] дано описание предложенной авторами «Схемы ОЦР-установки», в которой «теплоноситель — сетевая вода системы теплоснабжения после нагрева в котлах проходит экономайзеры, подогревается до необходимой температуры и из коллектора подается в испаритель ОЦР-установки. В испарителе теплоноситель нагревает хладон, доводя его до состояния перегретого пара. Далее пар совершает работу в турбодетандере и подается в охладитель, где охлаждается оборотной водой из системы теплоснабжения, переходя при этом в фазу влажного пара. Затем влажный пар в конденсаторе переходит в жидкую фазу, отдавая тепло охлаждающему теплоносителю из системы воздушного охлаждения наружным воздухом. Жидкий хладон необходимого давления с помощью насоса подается в испаритель» (рисунок 1).

В то же время в [2] авторы представили совершенно

иную «Схему включения ОЦР-установки в котельной» (рисунок 2). В этой схеме отсутствуют экономайзеры, расположенные за водогрейными котлами, как указано в схеме на рисунке 1, а нагрев хладона и преобразование его в газообразное состояние осуществляется в испарителе, для чего используется сетевая вода после водогрейного котла.

Из этого простого сравнения двух схем котельной, представленных одними и теми же авторами в [1] и [2], можно заключить, что они противоречат друг другу. Наличие этого противоречия никоим образом авторами не объясняется ни в [1], ни в [2].

Фактическая «Технологическая схема трубопроводов котельной» по вышеуказанному адресу, предоставленная в распоряжение автора данной статьи специалистами АО «Казэнерго» (рисунок 3), принципиально отличается от обеих схем, описанных авторами в [1] и [2].

Конструктивно водогрейные котлы типа КВГМ не оборудуются экономайзерами. Этот факт был подтвержден как специалистами АО «Казэнерго», так и сотрудниками АО «ДКМ» — производителя котлов типа КВГМ. В направленном автору данной статьи письме из АО «ДКМ» были представлены конструкции водогрейных котлов и их технические характеристики. Из них следует, что в комплектность их поставки экономайзер не входит.

Вместе с тем следует отметить, что по данным специалистов АО «Казэнерго» в вышеуказанной котельной действительно установлены 4 блочных чугунных экономайзера типа ЭП.

По данным АО «Казэнерго» в 2003 г. при реконструкции

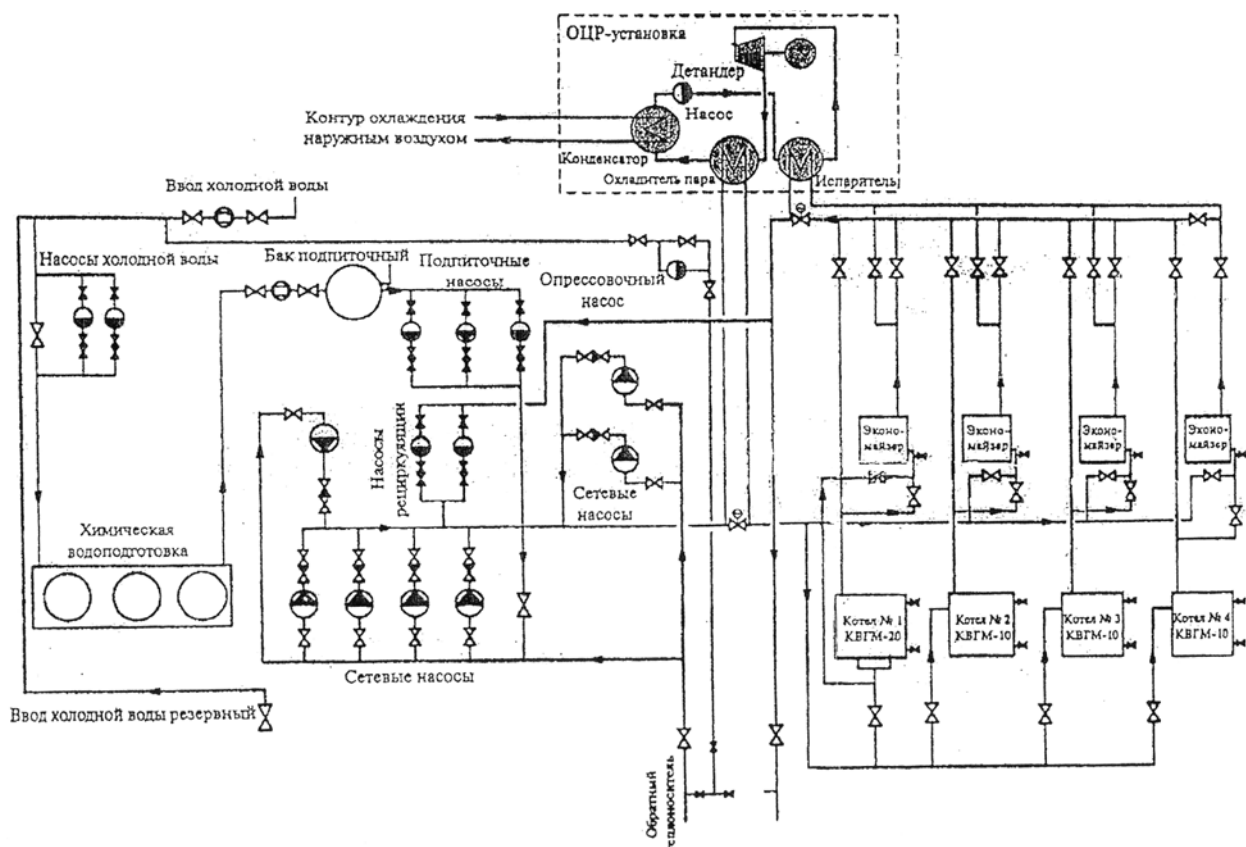


Рисунок 1. Схема котельной с ОЦР-установкой (приведена в [1])

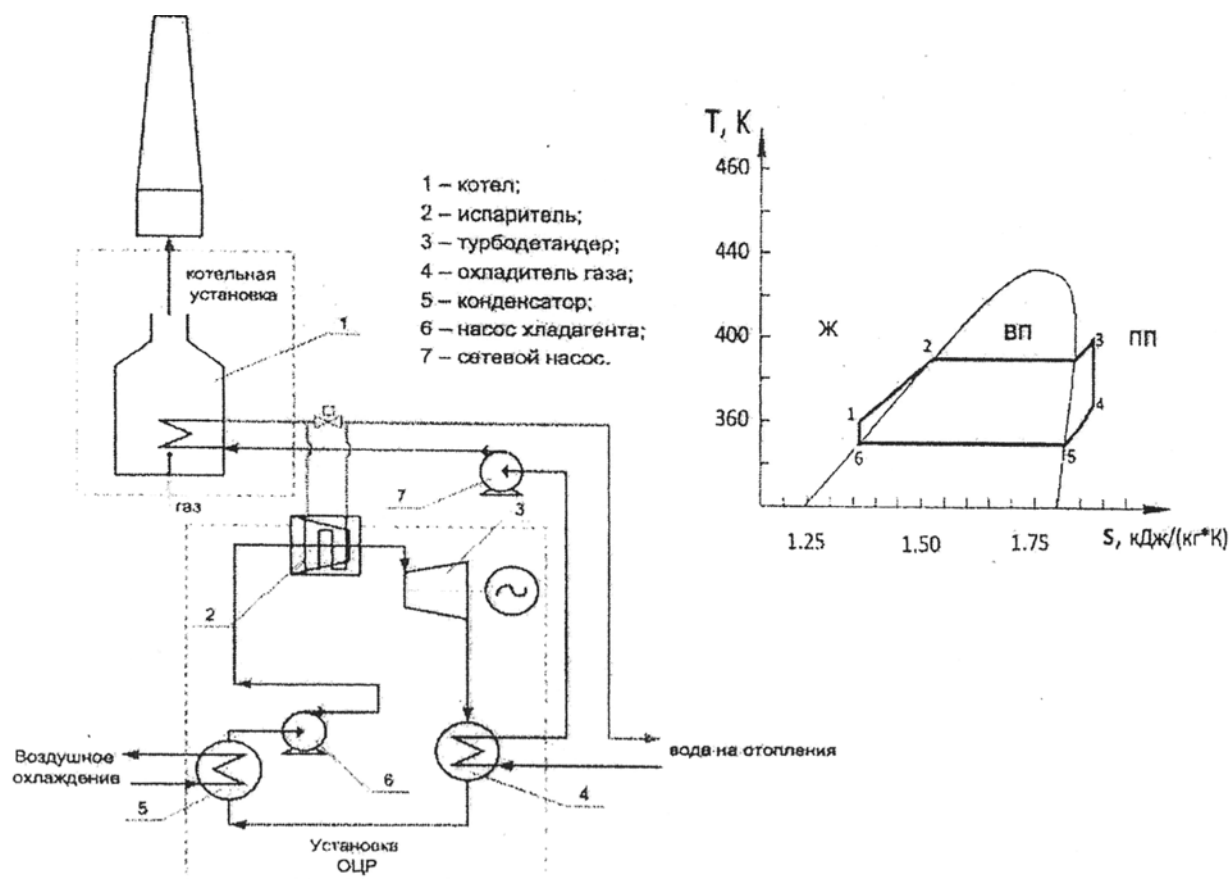


Рисунок 2. Схема включения ОЦР-установки в котельной (приведена в [2])

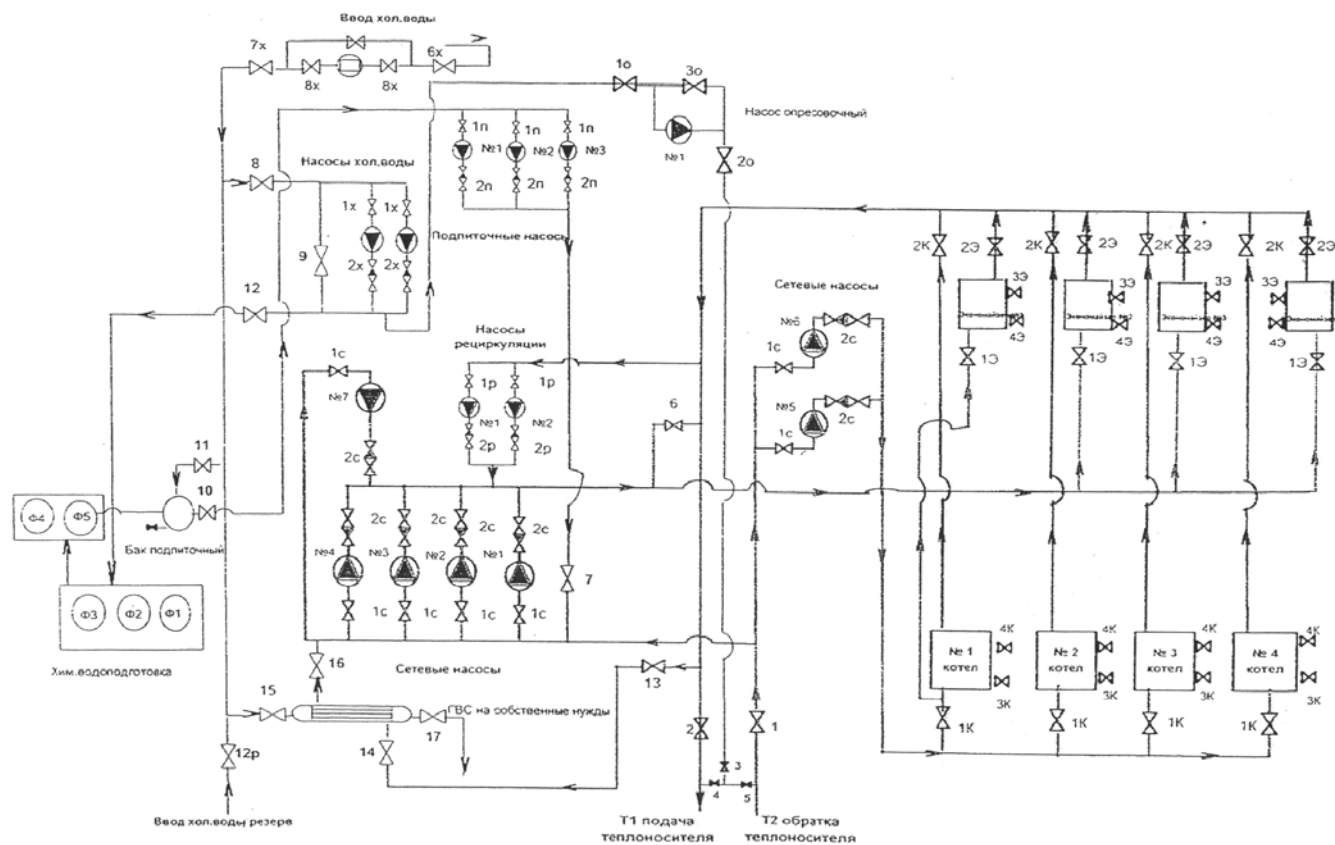


Рисунок 3. Технологическая схема трубопроводов, котельная на ул. Сыртлановой, д. 27 — район ГОРКИ-3 г. Казани (предоставлена автору данной статьи в АО «Казэнерго»)

котельной были демонтированы 4 паровые котла ДЕ-35 и установлены водогрейные котлы КВГМ. В процессе проведения проектных работ по реконструкции котельной на основании технико-экономических расчетов было принято решение о сохранении в котельной экономайзеров и включении их в технологическую схему.

Фактическая «Технологическая схема котельной...» (рисунок 3) предусматривает возможность параллельной подачи теплоносителя на подогрев в водогрейные котлы и в экономайзеры, где нагрев осуществляется за счет теплоты уходящих газов. Экономайзеры используются только в зимний период при максимальных температурах уходящих газов.

«После выхода из водогрейных котлов и из экономайзеров потоки теплоносителя объединяются в подающем коллекторе и используются для теплоснабжения потребителей».

Из описания фактической «Технологической схемы...» (рисунок 3) следует, что сетевая вода не направляется последовательно после водогрейных котлов типа КВГМ в экономайзеры, как утверждают авторы [1] и [2], а, минуя их, поступает непосредственно в общий коллектор.

Достаточно эффективная схема с параллельным, а не последовательным использованием водогрейных котлов типа КВГМ и экономайзеров, сохраненных от демонтированных паровых котлов типа ДЕ-35, является единственной не только в системе АО «Казэнерго», но и во всей теплоэнергетической отрасли страны. В других котельных при модернизации с заменой паровых котлов на водогрейные экономайзеры паровых котлов просто выбрасывались.

Из фактической «Технологической схемы...» (рисунок 3) также следует, что в котельной отсутствует ОЦР-установка в составе испарителя хладагона, детандера, электрического генератора, охладителя хладагона, конденсатора, отделителя жидкости, бака запасного

хладона, дренажного ресивера, подпиточного и циркуляционного насосов, экономайзеров на трубопроводах после водогрейных котлов, многочисленных трубопроводов для подачи воды на нагрев и охлаждения хладагона, т.е. всего оборудования, указанного в «Схеме котельной с ОЦР-установкой» (рисунок 1) и в «Схеме включения ОЦР-установки в котельной» (рисунок 2).

Но это означает, что авторы [1] и [2] представили не соответствующие действительности сведения о разработке и внедрении ими в эксплуатацию этой установки с автоматизированной системой управления. А между тем в [2] авторы указали фактические данные о финансировании проекта: бюджетные средства 9,4 млн. рублей, внебюджетные средства 1,82 млн. рублей.

В письме на адрес автора данной статьи из Прокуратуры Республики Татарстан от 22.08.2019 г. №7-1017-2019, за подписью начальника отдела №4 управления по надзору за исполнением федерального законодательства, советника юстиции Т. Н. Гильманова четко указано, что (цитата):

«Данная установка в котельной не устанавливалась».

Возникает естественный вопрос: если установка не устанавливалась, т.е. не были достигнуты цели, изложенные в названии темы (разработка и внедрение новой термоэлектрической установки), то в каких же целях были использованы бюджетные и внебюджетные средства?

Научные обстоятельства

Представленная авторами в [1] технологическая схема котельной с последовательным расположением экономайзеров по сетевой воде после водогрейных котлов противоречит основным законам термодинамики и, следовательно, является лженаучной.

Как известно, в водогрейных котлах экономайзеры вообще не применяются. На рисунке 4 показана прин-

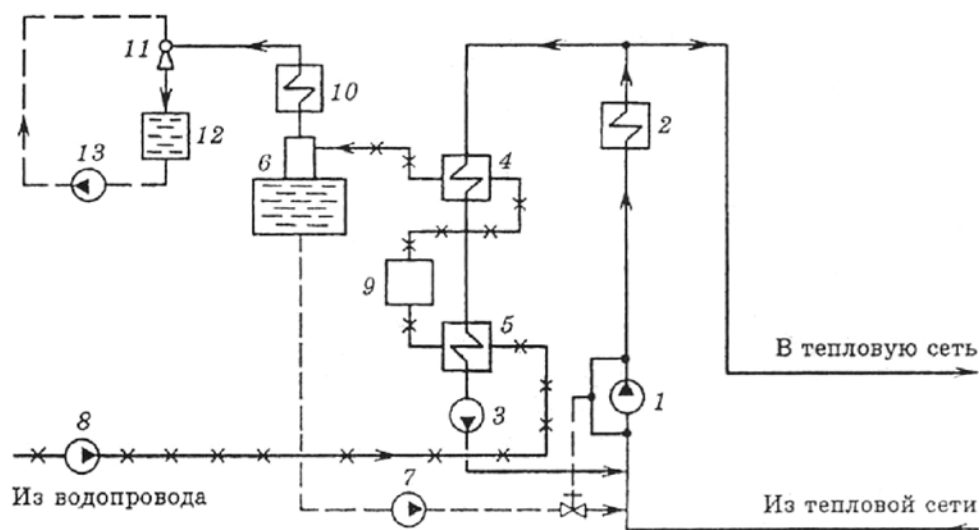


Рисунок 4. Принципиальная схема водогрейной котельной. 1 — сетевой насос, 2 — водогрейный котел, 3 — циркуляционный насос, 4 — подогреватель химически очищенной воды, 5 — подогреватель сырой воды, 6 — вакуумный деаэратор, 7 — подпиточный насос, 8 — насос сырой воды, 9 — химводоподготовка, 10 — охладитель пара, 11 — водоструйный эжектор, 12 — расходный бак эжектора, 13 — эжекторный насос (из учебника Е. Я. Соколова «Теплофикация и тепловые сети». Москва. Издательство МЭИ 1999, с. 83)

ципиальная схема водогрейной котельной, которая заимствована из классического учебника [3].

Этот факт известен даже студентам второго-третьего курсов теплоэнергетических специальностей. Однако он почему-то неизвестен авторам статьи [1] и Отчета [2], главному редактору журнала «Теплоэнергетика», его рецензентам, членам Комиссии МИНОБРРФ, подписавшим Акт о выполнении соглашения №14.574.21.0013 «надлежащим образом», а также всем «специалистам», которые дали высокую оценку указанной схеме в своих отзывах, в том числе на конференции в КГАСУ.

На этом анализ [1] и [2] можно было бы закончить.

Но представляет интерес объективная оценка научного уровня авторов и перечисленных «специалистов», имеющих высокие ученые степени и звания.

Для этого от фактических обстоятельств отсутствия в котельной установки по «Схеме котельной с ОЦР-установкой» (рисунок 1) и/или по «Схеме включения ОЦР-установки в котельной» (рисунок 2) перейдем к оценке научной ценности и практической значимости разработок, выполненных авторами в соответствии с договором с МИНОБРРФ, на основании анализа содержания как статьи [1], так и Отчета [2]:

1. Очевидно, что авторы статьи, предложив размещение экономайзеров после водогрейных котлов, не ознакомились с техническими характеристиками водогрейных котлов типа КВГМ производства АО «ДКМ», которые установлены в котельных г. Казани.

Иначе они бы узнали, что температура воды на выходе из водогрейных котлов составляет 150°C, а температура уходящих газов при работе, например, на газе находится в пределах от 185 до 190°C в зависимости от теплопроизводительности водогрейного котла.

В то же время в статье [1] на с. 60 приводится на рисунке 3 «Ts-диаграмма органического цикла Ренкина с рабочим телом R245fa» и таблица 2 «Параметры рабочего тела в точках цикла» (см. также рисунок 2 в данной статье)

Из них следует, что максимальная температура рабочего тела в точке 3 составляет 127°C ($400 - 273 = 127^\circ\text{C}$).

Поскольку максимальная температура воды на выходе из водогрейного котла типа КВГМ составляет 150°C, а максимально допустимая температура рабочего тела (хладона) равна 127°C, то нет никакой термодинамической целесообразности устанавливать за водогрейными котлами типа КВГМ какие-либо еще дополнительные экономайзеры с целью повышения температуры воды для последующего нагрева хладагента, как указано на с. 56 в [1], до необходимой температуры, т. е. до 127°C.

Следовательно, отсутствует необходимость размещения перед испарителем экономайзеров после водогрейных котлов. И поэтому ОЦР-установка с такой схемой подогрева хладагента на входе в детандер, описанная в [1] на с. 58–59, при указанной максимально допустимой по надежности температуре хладагента, нецелесообразна, бесперспективна и термодинамически несостоятельна.

Тем более нецелесообразна и термодинамически несостоятельна идея авторов [1] и [2] использовать для нагрева хладагента до 127°C уходящие газы

водогрейного котла с температурами 185–190°C.

Очевидно, что для испарения хладагента при его указанной максимальной температуре целесообразно было бы использовать «Схему включения ОЦР-установки в котельной» из [2] по рисунку 2. Но авторы почему-то отказались от ее применения.

2. На с. 59–60 в [1] авторы указали, что «количество тепловой энергии, необходимой для подвода в испаритель ОЦР-установки, согласно балансовым расчетам предложенной схемы котельной составило 5510,82 кДж (заметим в скобках, что в таких расчетах должна обязательно использоваться единица измерения кДж/кг), а количество тепловой энергии, затрачиваемой на преобразование в электрическую, — 400,08 кДж»

Из этих данных можно определить, что у ОЦР-установки КПД по производству электроэнергии составляет всего лишь 7,26% ($400,08 : 5510,82 = 7,26\%$).

Вряд ли такую ОЦР-установку следует рекомендовать к использованию в котельных, в том числе и в котельной на ул. Сыртлановой, д. 27.

3. Представляется целесообразным напомнить читателям журнала и авторам [1] и [2] о том, что для оценки эффективности агрегатов, установок и устройств в термодинамике и теплоэнергетике применяются следующие КПД:

– относительный электрический КПД $\eta_{\text{оэ}}$, который рассчитывается по формуле

$$\eta_{\text{оэ}} = \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эг}},$$

где η_{oi} — относительный внутренний КПД детандера (отношение использованного в нем теплоперепада к располагаемому, в [1] и [2] о нем даже не упоминается и, следовательно, он там не был определен),

- $\eta_{\text{мех}}$ — КПД, учитывающий потери в подшипниках,
- $\eta_{\text{эг}}$ — КПД электрического генератора.

При наличии между рабочим колесом детандера и электрическим генератором редуктора (см. пункт 9 данного анализа) расчет относительного электрического КПД должен производиться по следующей формуле

$$\eta_{\text{оэ}} = \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эг}},$$

где $\eta_{\text{ред}}$ — КПД редуктора. Остальные обозначения приведены выше (см., например, в [4], с. 16–20).

В [1] и [2] отсутствуют расчеты перечисленных показателей ОЦР-установки. А без их проведения рассуждения авторов [1] и [2] о ее высокой эффективности несостоятельны.

4. В [1] не указан расход рабочего тела — хладагента (обычно в кг/с). При отсутствии такого, одного из основных параметров ОЦР-установки, невозможно выполнить:

- расчет электрической мощности детандера (которую авторы приняли равной 350 кВт, не проведя никаких расчетов в обоснование данного значения мощности),
- расчет геометрических характеристик рабочего колеса детандера.

5. В [2] к Акту №1 испытаний экспериментального об-

разца, подписанному ректором КГАСУ, д. т. н., профессором Р. К. Низамовым, приложен Протокол испытаний №1, в котором характеристики рабочего колеса детандера не соответствуют характеристикам рабочего колеса, описанным на с. 59 в [1].

6. В [2] в Протоколе испытаний №1 указано, что максимальная степень понижения давления при максимальной частоте вращения ротора составляет 1,72. В то же время расчет с использованием данных в таблице 3 на с. 60 в [1] показывает, что степень понижения давления составляет 2,514 ($1,81 : 0,72 = 2,514$).

7. В [2] в Протоколе испытаний №1 указано, что наружный диаметр рабочего колеса ОЦР-установки составляет 210 мм. В то же время в [1] на с. 59 сообщается, что наружный диаметр рабочего колеса равен 300 мм.

8. Сопоставление показателей характеристик рабочего колеса детандера, указанных в [1] и в [2] (см. пп. 6 и 7 данной статьи), позволяет сделать однозначный вывод о том, что испытывалось одно рабочее колесо с меньшим наружным диаметром, а в [1] описывалось совсем другое — с большим наружным диаметром.

Следует отметить, что при увеличении наружного диаметра рабочего колеса детандера по сравнению с испытанным образцом изменяются окружные и относительные скорости рабочего тела (хладона) в рабочем колесе, что вызывает необходимость пересчета характеристик рабочего колеса.

Совершенно очевидно, что испытания рабочего колеса производились на воздухе. Однако в [1] и [2] не представлена методика пересчета характеристик рабочего колеса при переходе с воздуха на рабочее тело (хладон).

Но зададимся принципиально важным вопросом: с какой целью испытывалось рабочее колесо детандера, если ОЦР-установка с этим детандером и рабочим колесом с увеличенным диаметром так и не была смонтирована в вышеуказанной котельной?

На основании изложенного следует очевидный вывод: рабочее колесо испытывалось не для данной ОЦР-установки, а для какого-то другого объекта. Но зато, как красиво было представить в [2] фотографии разгонной камеры для испытаний рабочего колеса, испытательного стенда и многочисленные фотографии рабочего колеса (10 штук), которое так и не нашло применения в ОЦР-установке, описанной в [1].

9. В [1] не указано номинальное число оборотов ротора детандера.

Однако в [2] в Протоколе испытаний №1 сообщается, что максимальное число оборотов ротора составляет 7898 об/мин. Но, как известно, при частоте сети 50 Герц, принятой в энергосистеме Российской Федерации, номинальное число оборотов генерирующего энергооборудования составляет 3000 об/мин. Это означает, что между детандером и электрическим генератором обязательно должен располагаться редуктор с понижающим коэффициентом 2,63 ($7898 : 3000 = 2,63$).

Однако о редукторе не сообщается ни в [1], ни в [2], и он не указан на схемах (рисунки 1 и 2). На этих схемах

детандер напрямую соединен с электрическим генератором.

Зададимся вопросом: где же авторы смогли достать электрический генератор с числом оборотов 7898 об/мин?

При наличии редуктора, КПД которого обычно составляет около 0,96, относительный электрический КПД ОЦР-установки обязательно уменьшится (см. п. 3 данного анализа).

10. В [1] на с. 60 указано, что «тепловой баланс конденсатора при этом выражается равенством

$$G_{R245fa} (h^4_{R245fa} - h^5_{R245fa}) = G_{TH} (h^5_{TH} - h^4_{TH}),$$

где G_{R245fa} — расход хладона, кг/с, h^4_{R245fa} — энтальпия хладона на входе в конденсатор (точка 4 на диаграмме рисунка 3 в [1] или на диаграмме рисунка 2 в данной статье), кДж/кг, h^5_{R245fa} — энтальпия хладона на выходе из конденсатора (точка 5 на диаграмме), кДж/кг, h^4_{TH} и h^5_{TH} — энтальпия обратного теплоносителя (воды) в соответствующих точках, кДж/кг».

В этом равенстве размерность будет следующая: кг/с × кДж/кг = кДж/с = кВт.

Однако далее в [1] на с. 60 несколькими строчками ниже указывается: «Для обеспечения необходимого теплообмена и вывода хладона в жидкую фазу в конденсаторе обе части приведенного уравнения должны быть равны 5128, 87 кДж».

Следовательно, по мнению авторов [1], кВт = кДж? Как это возможно? Какое-то новое слово в термодинамике!

11. Из рисунка 2 в [1] следует, что после детандера расположен охладитель газа и только потом — конденсатор. Поэтому точка 4 находится не на входе в конденсатор, а на входе в охладитель, точка 5 находится не на выходе из конденсатора, а на входе в конденсатор. На входе в конденсатор находится точка 5, а на выходе — точка 6.

В связи с этим представленное выше равенство является ошибочным и получаемые с его использованием результаты расчета также являются ошибочными.

12. В [1] и [2] не выполнены расчеты характеристик испарителя хладона, охладителя хладона, конденсатора, экономайзеров, якобы установленных за водогрейными котлами, как теплообменных аппаратов, что не позволяет определить их тепловые балансы.

13. В [2] на «Схеме гидравлической совмещенной» указано, что в испаритель подается холодная вода (трубопровод 1хп), а отводится теплая вода (трубопровод 1тп). Однако при такой схеме подачи теплоносителя в испаритель не выполняется задача испарителя по превращению жидкого хладона в газ.

14. В [1] в таблице 4 «Технико-экономические показатели внедрения ОЦР-установки в течение года» приводятся сведения о выработанной электроэнергии. Она вычисляется авторами примитивным способом — умножением номинальной мощности детандера 350 кВт на число часов в месяце.

Так, например, для января: $350 \text{ кВт} \cdot 744 \text{ ч} = 260400 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Однако любому теплоэнергетику известно, что для

оценки эффективности энергетического оборудования применяется коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) — K_y (см., например, [4], с. 314).

Он представляет собой отношение количества электроэнергии $\mathcal{E}$, выработанной установкой в течение определенного промежутка времени t , к тому количеству, которое могло быть выработано за тот же период с установленной мощностью N_y .

Тогда, например, для января по данным в [1]

$$K_y = \mathcal{E} / (N_y \cdot t) = 260400 / (350 \cdot 744) \cdot 100\% = 100\%.$$

Однако такое значение КИУМ никогда не бывает в практике эксплуатации любых энергоустановок в связи с резко переменными графиками суточных, недельных, месячных и сезонных нагрузок потребителей и необходимостью вывода их из эксплуатации для проведения ремонтов и свидетельствует о том, что технико-экономические показатели внедрения ОЦР-установки были рассчитаны людьми, весьма далекими от энергетики.

В [1] в таблице 4 в последней строке авторами почему-то стыдливо не указана суммарная величина часов работы детандера в году, но ее можно легко подсчитать, сложив часы работы за 12 месяцев (5256 ч) или разделив общее количество выработанной электроэнергии, указанной в таблице, на мощность детандера:

$$1839600 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 350 \text{ кВт} = 5256 \text{ ч}.$$

Как известно, число часов в году составляет 8760 ч, тогда можно легко определить, что ОЦР-установка может работать в году всего лишь $5256/8760 \cdot 100\% = 60\%$ (40% времени простаивает). Т. е. установка работает 219 дней в году, а 146 дней в году — простаивает.

Зададимся вопросом: нужна ли кому-нибудь ОЦР-установка при такой длительности простоя в году?

Однако все изложенные в данном пункте факторы не были учтены авторами [1] и [2] при расчете экономических показателей детандера.

15. В [1] из таблицы 4 «Технико-экономические показатели внедрения ОЦР-установки в течение года» следует, что количество выработанной в течение года электрической энергии составляет 1 млн. 839 тыс. 600 кВт·ч, а экономия от выработанной электроэнергии в течение года — 5 млн. 886 тыс. 720 рублей. Следовательно, за три года количество выработанной электроэнергии могло бы составить 5 млн. 518 тыс. 800 кВт·ч, а экономия — 17 млн. 660 тыс. 160 рублей.

Зададимся вопросом: каким же образом могут быть достигнуты указанные результаты, если, как показано на рисунке 3, и в вышеупомянутом письме Прокуратуры Республики Татарстан, ОЦР-установка отсутствует в котельной на ул. Сыртлановой, д. 27 г. Казани.

16. Целесообразность применения какого-либо новшества следует оценивать не только по энергетической эффективности (экономии топлива), но и по технико-экономической эффективности с учетом капитальных затрат. С 1995 г. в Российской Федерации действует Методика с определением ЧДД (чисто-

го дисконтированного дохода) и срока окупаемости.

Однако такие данные отсутствуют и в [1], и в [2].

17. В случае внесения каких-либо изменений в существующие схемы энергоустановок или котельных их эффективность должна проверяться на основании широко применяемого в России и за рубежом эксергетического метода термодинамического анализа (ЭМТА) с расчетом эксергетического КПД [5–7].

В [1] и [2] никаких подобных расчетов не было произведено. Вероятно, авторы вообще не имеют представления о существовании этого метода.

Обстоятельства «внедрения» ОЦР-установки в котельной г. Казани

Как уже указывалось выше, на фактической «Технологической схеме...» (рисунок 3), представленной в распоряжение автора данной статьи главным инженером АО «Казэнерго» Ю. Н. Никоновым, в котельной по вышеуказанному адресу отсутствует ОЦР-установка.

По имеющимся у автора данной статьи сведениям АО «Казэнерго» никогда не подписывало АКТ о внедрении ОЦР-установки в котельной г. Казани.

В приведенном выше письме Прокуратуры Республики Татарстан также указано на отсутствие этой установки.

Однако ректор КГАСУ, д. т. н., профессор Р. К. Низамов в письме №01-442 от 17.05.2017 г. автору данной статьи сообщил, что (цитата):

– «схема и описание работы котельной установки, представленные в статье (в статье [1], т. е. ОЦР-установки с экономайзерами после водогрейных котлов типа КВГМ, с. 59, рисунок 2) — это реально работающая схема водогрейной котельной, документально подтверждаемая ОАО «Казэнерго». Она утверждена соответствующими должностными лицами эксплуатирующей компании и ежегодно проходит проверку, в том числе инспекторами Ростехнадзора».

В этом же письме он предложил автору данной статьи приехать в г. Казань и ознакомиться с работой ОЦР-установки.

Заместитель председателя КазНЦ РАН, профессор В. Н. Шлянников в письме №17300-2115.2/148 от 22.05.2017 г. автору данной статьи также подтвердил существование схемы, описанной в [1], т. е. ОЦР-установки с экономайзерами после водогрейных котлов типа КВГМ ([1], с. 59, рисунок 2).

Автор данной статьи воспользовался приглашением ректора КГАСУ, д. т. н., профессора Р. К. Низамова и посетил котельную 22 декабря 2017 г. — в День энергетика!

Так совпало: 21 и 22 декабря 2017 г. автор данной статьи находился в командировке в г. Казани и присутствовал на защите докторской диссертации в Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ), а 22 декабря 2017 г. перед отъездом удалось выкроить время для посещения котельной на ул. Сыртлановой, д. 27.

При этом посещении автор данной статьи не обнаружил в котельной ОЦР-установку с автоматизированной системой управления в составе турбодетандера, электрогенератора, испарителя, охладителя, конден-

сатора, отделителя жидкости, бака запасного хладагента, дренажного ресивера, подпиточного и циркуляционного насосов, экономайзеров на трубопроводах после водогрейных котлов, многочисленных трубопроводов для подачи воды на нагрев хладагента, т. е. всего оборудования, указанного в «Схеме котельной с ОЦР-установкой» (рисунок 1), а также в «Схеме включения ОЦР-установки» (рисунок 2), представленных в Отчете [2] и в статье [1].

Однако ректор КГАСУ, д. т. н., профессор Р. К. Низамов в письме №01-330-01 от 07.03.2018 г., автору данной статьи, т.е. спустя два месяца после его посещения котельной, вопреки указанным фактам, продолжал настойчиво утверждать, как и ранее в письме от 17.05.2017 г., как и Заместитель председателя КазНЦ РАН, профессор В. Н. Шлянников в письме от 22.05.2017 г., что в котельной используется технологическая схема, которая была описана в [1], а именно, ОЦР-установка с расположением экономайзеров после водогрейных котлов типа КВГМ.

Комментарии, как говорится, излишни...

Выводы

- Научная ценность и практическая значимость в [1] и [2] отсутствуют.
- Представленная в [1] и [2] технологическая схема котельной с экономайзерами после водогрейных котлов противоречит законам термодинамики и теплотехники и, следовательно, является лженаучной.
- Уровень знаний в термодинамике и теплотехнике авторов [1] и [2], рецензентов, главного редактора журнала «Теплоэнергетика», членов Комиссии МИНОБРРФ, «специалистов», давших высокую оценку разработкам авторов [1] и [2], — весьма низкий.
- Представление руководством КГАСУ и КазНЦ РАН, исполнителями темы сведений, не соответствующих действительности, о разработке и внедрении в эксплуатацию новой термоэлектрической установки (типа ОЦР-установки с автоматизированной системой управления) в котельной на ул. Сыртлановой, д. 27 производит удручающее впечатление.
- Министерству науки и высшего образования, кото-

рое пришло на смену МИНОБРРФ, целесообразно рассмотреть сложившуюся в КГАСУ обстановку по представлению недостоверных сведений по выполнению соглашения №14.574.21.0013.

– РАН также целесообразно рассмотреть сложившуюся в КазНЦ РАН обстановку по представлению недостоверных сведений по ОЦР-установке.

– Представляется ошибочным решение МИНОБРРФ о выплате значительных средств из госбюджета (9,4 млн. руб.) за Отчет [2] при низком качестве выполнения соглашения с МИНОБРРФ №14.574.21.0013, отсутствии значимых научных и практических результатов, представлении недостоверных сведений о разработке и внедрении ОЦР-установки, при отсутствии акта АО «Казэнерго» о внедрении ОЦР-установки в одной из котельных г. Казани.

– Представляется целесообразным отменить Решение расширенной редколлегии журнала «Теплоэнергетика» от 15 марта 2017 г. о якобы несостоятельности замечаний автора данной статьи по содержанию статьи [1].

Список использованных источников

1. Садыков Р. А., Даминов А. З., Соломин И. Н., Футин В. А. «Применение турбодетандера в паросиловых установках для утилизации тепловой энергии в системах теплоснабжения» / Теплоэнергетика 2016, 5: 56–62.
2. Отчет Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) «Повышение энергетической эффективности котельных путем разработки и внедрения автоматизированной системы управления и новой термоэлектрической установки». Руководитель д. т. н., проф., заведующий кафедрой «Теплоэнергетика» Садыков Р. А.
3. Соколов Е. Я. «Теплофикация и тепловые сети» / Москва. Издательство МЭИ 1999.
4. «Тепловые электрические станции» / Буров В. Д. и др. Учебник для вузов. Издательский дом МЭИ 2007.; 466.
5. Бродянский В. М. «Эксергетический метод термодинамического анализа». / Москва. Энергия 1973.
6. Бродянский В. М., Флештер В., Михалек К. «Эксергетический метод и его приложения». / Москва, Энергоиздат 1988.
7. Мартынов А. В. «Установки для трансформации тепла и охлаждения». / Москва, Энергоатомиздат 1989.



<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-56-58>

К определению КПД турбодетандера

Закирова И. Р.

студентка НИУ «МЭИ»

Поступила / Received 20.03.2020

Принята к печати / Accepted for publication 23.03.2020

В европейских странах на ряде энергетических объектов применяются так называемые детандер-генераторные агрегаты (ДГА) или просто турбодетандеры.

В них используется перепад давления природного газа (ПГ), поступающего на электростанцию, который ранее терялся в дроссельных устройствах газораспределительного пункта (ГРП) этого объекта.

Интерес к турбодетандерам возник в России в связи с сооружением и вводом в эксплуатацию на ТЭЦ-21, а затем и на ТЭЦ-23 Мосэнерго двух энергокомплексов с двумя турбодетандерами в каждом с единичной мощностью по 5 МВт /1/.

За последующее время было опубликовано большое число статей и защищено диссертаций на тему использования турбодетандеров на КЭС и ТЭЦ, в которых рассматривались как практические, так и теоретические вопросы по данной теме.

Одной из первых была опубликована статья, в которой были представлены разработки по термодинамическим основам использования турбодетандеров на КЭС и ТЭЦ [2].

В [2] была приведена формула для расчета предложенной автором так называемой критической степени расширения природного газа /ПГ/ в турбодетандерах

$$\delta_{кр} = (1 - \eta_{э}/\eta_{т})^{-1/m}$$

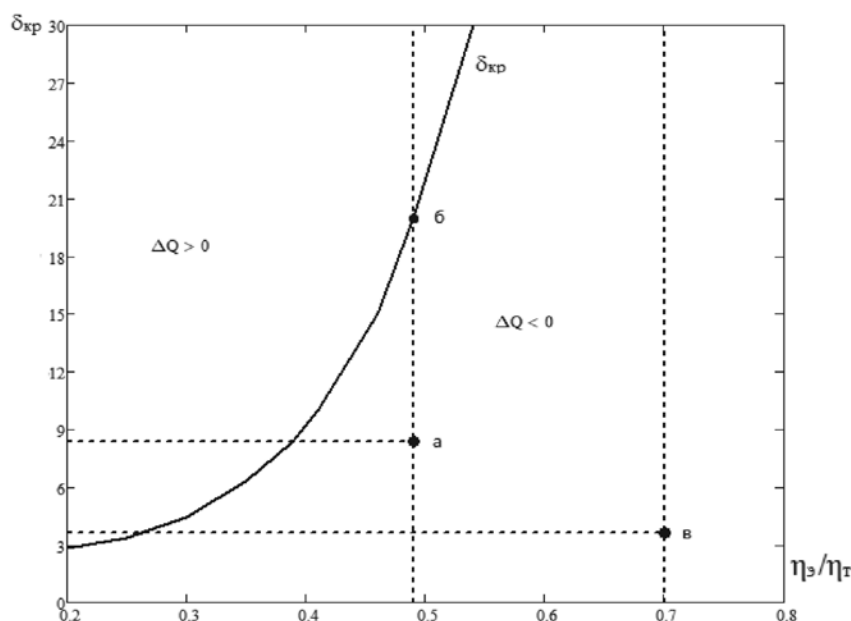


Рисунок 1. Зависимость критической степени расширения в турбодетандере от отношения $\eta_{э}/\eta_{т}$

где $\eta_{э}/\eta_{т}$ — отношение абсолютного электрического КПД $\eta_{э}$ ТЭЦ или КЭС к относительному электрическому КПД турбодетандера $\eta_{т}$, а $m = (k - 1)/k$, где k — показатель изоэнтропы.

В [2] была показана графическая зависимость $\delta_{кр}$ от отношения $\eta_{э}/\eta_{т}$, которая подразделяет область возможных вариантов использования турбодетандеров на две зоны: зону с «положительной» экономией теплоты с $\Delta Q > 0$ и зону с «отрицательной» экономией теплоты с $\Delta Q < 0$ (см. рисунок 1, который заимствован из [2], в рисунок из статьи на оси абсцисс дополнительно были добавлены $\eta_{э}/\eta_{т} = 0,7$ и $0,8$).

Автор [2] указал, что при степени расширения ПГ для турбодетандеров с различными отношениями $\eta_{э}/\eta_{т}$ ниже представленной кривой «при нагреве ПГ экономия топлива будет уменьшаться и нагрев может быть оправдан только требованиями потребителя к температуре ПГ за турбодетандером».

В [2] отмечалось, что «для работающих КЭС абсолютный электрический КПД $\eta_{э} = 0,33 - 0,40$, а для ТЭЦ (при физическом методе разделения экономии топлива на производство электроэнергии и производство теплоты) $\eta_{э} = 0,45 - 0,55$ ».

В [2] был приведен пример расчета, из которого следовало, что при значениях для КЭС $\eta_{э} = 0,37$ и для турбодетандера $\eta_{т} = 0,75$ «нагрев ПГ целесообразен при степени расширения ПГ в детандере $\delta > \delta_{кр} = 8,37$ (при $m = 0,23$)».

Однако, как показано в [3], этот вывод неверен. Из рисунка видно, что точка «а» с этими координатами находится в зоне с $\Delta Q < 0$, т. е. нагрев ПГ перед турбодетандером нецелесообразен.

Из кривой и расчета по вышеприведенной формуле критическая степень расширения ПГ в турбодетандере при $\eta_{э}/\eta_{т} = 0,37/0,75 = 0,493$ равна $\delta_{кр} = 19,19$ (точка «б» на рисунке).

Выполним аналогичный расчет для ТЭЦ. Как указывалось в [2], абсолютный электрический КПД ТЭЦ $\eta_{э}$ составляет от 0,45 до 0,55. Примем для расчета среднее значение этого КПД: 0,50, а отношение $\eta_{э}/\eta_{т} = 0,50/0,75 = 0,66$. Тогда значение $\delta_{кр}$, рассчитанное по вышеприведенной формуле, будет составлять $\delta_{кр} = 109$. Однако указанные значения критической степени расширения ПГ в настоящее

время недостижимы ни на одной тепловой электростанции.

Для реального турбодетандера, установленного на ТЭЦ-21 Мосэнерго по результатам испытаний в [4], степень расширения ПГ $\delta=3,596$ и относительный электрический КПД турбодетандера $\eta_T=0,714$, т. е. $\eta_3/\eta_T=0,50/0,714=0,70$. На рисунке 1 показана точка «в» с такими координатами. Она находится в зоне с $\Delta Q < 0$, т. е. нагрев ПГ перед турбодетандером на ТЭЦ-21 Мосэнерго нецелесообразен. Этот вывод опровергает результаты [5] о высокой эффективности подогрева ПГ перед турбодетандером.

Для $\eta_3/\eta_T=0,70$ критическая степень расширения ПГ $\delta_{кр}$ составляет $\delta_{кр}=186,67$, что также недостижимо.

Выше уже отмечалось, что согласно [2] для КЭС абсолютный электрический КПД η_3 составляет 0,33 – 0,40, а для ТЭЦ: 0,45 – 0,55.

Определим значение КПД турбодетандера для КЭС и ТЭЦ в диапазоне указанных значений абсолютного электрического КПД для различных отношений η_3/η_T .

Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2 соответственно для КЭС и ТЭЦ.

Выполненные расчеты показали, что согласно приведенным в [2] термодинамическим основам КПД турбодетандера не изменяется в указанных диапазонах изменения абсолютного электрического КПД и постоянно остается равным 1,0 при различных отношениях η_3/η_T , что противоречит законам термодинамики (см. рис. 2 и 3)

На рисунках 2 и 3 приведены кривые значений КПД турбодетандера для КЭС и ТЭЦ в зависимости от отношения η_3/η_T при минимальном и максимальном значениях абсолютного электрического КПД для КЭС и ТЭЦ соответственно. Из них видно, что при малых отношениях η_3/η_T КПД турбодетандера может достигать 2,0 для

Таблица 1. Значения η_T для КЭС при различных значениях абсолютного электрического КПД КЭС и различных отношениях η_3/η_T

η_3	η_3/η_T	η_T
0,33	0,33	1,0
0,34	0,34	1,0
0,35	0,35	1,0
0,36	0,36	1,0
0,37	0,37	1,0
0,38	0,38	1,0
0,39	0,39	1,0
0,40	0,40	1,0

Таблица 2. Значения η_T для ТЭЦ при различных значениях абсолютного электрического КПД ТЭЦ и различных отношениях η_3/η_T

η_3	η_3/η_T	η_T
0,45	0,45	1,0
0,46	0,46	1,0
0,47	0,47	1,0
0,48	0,48	1,0
0,49	0,49	1,0
0,50	0,50	1,0
0,51	0,51	1,0
0,52	0,52	1,0
0,53	0,53	1,0
0,54	0,54	1,0
0,55	0,55	1,0

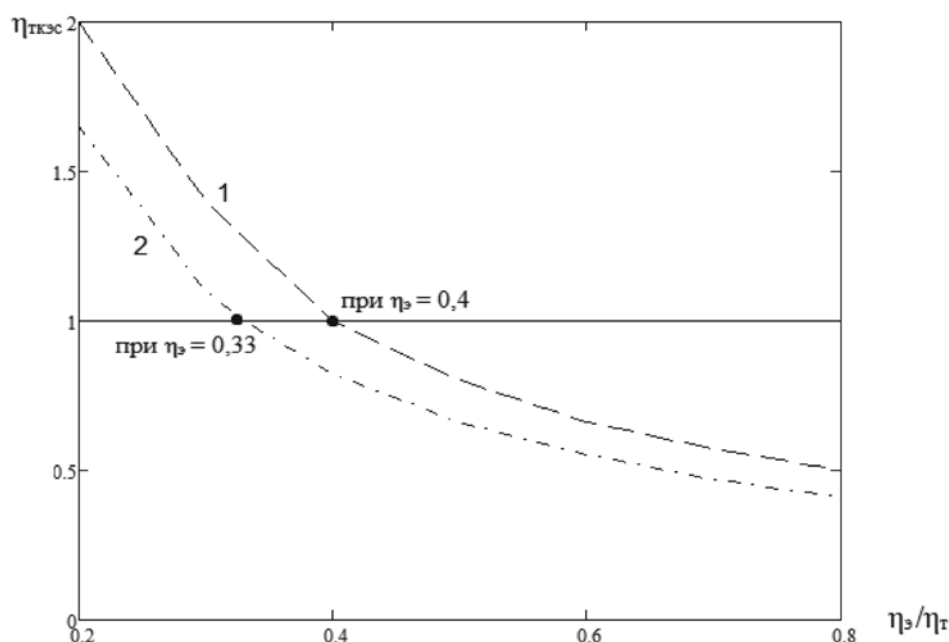


Рисунок 2. Зависимость относительного электрического КПД турбодетандеров $\eta_{ТКЭС}$ для КЭС от отношения η_3/η_T при максимальном и минимальном значениях абсолютного электрического КПД КЭС η_3

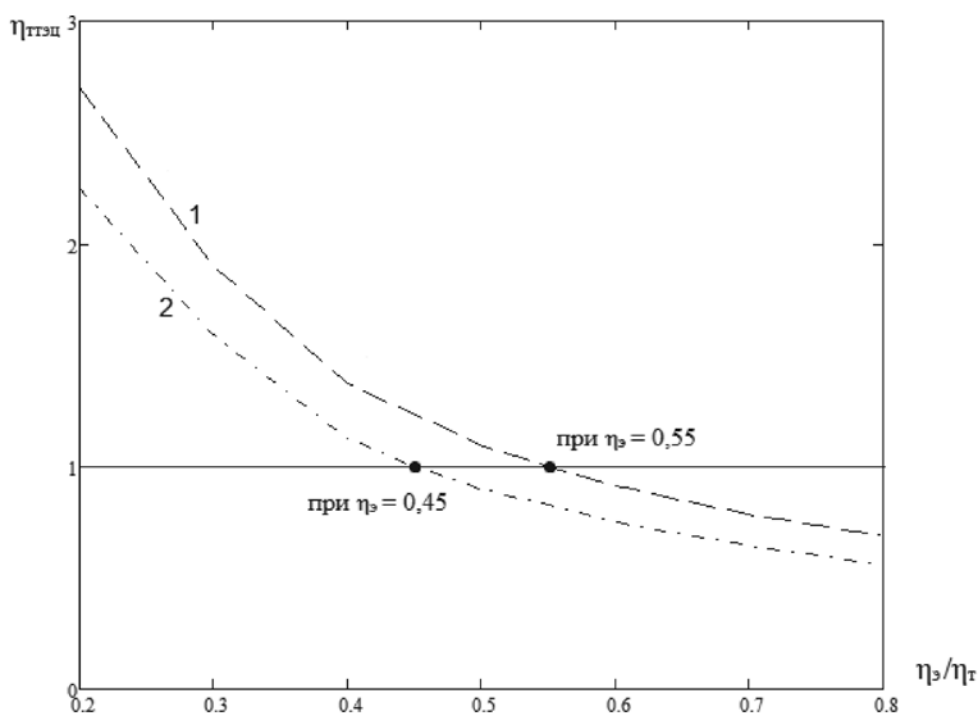


Рисунок 3. Зависимость относительного электрического КПД турбодетандеров $\eta_{ТЭЦ}$ для ТЭЦ от отношения $\eta_э/\eta_Т$ при максимальном и минимальном значениях абсолютного электрического КПД ТЭЦ $\eta_э$

КЭС и 2,75 для ТЭЦ, что также противоречит законам термодинамики.

ВЫВОД

Изложенные в [2] «термодинамические основы» использования турбодетандеров на тепловых электростанциях противоречат законам термодинамики и, следовательно, требуют объяснений.

Список литературы

1. Степанец А. А., Горюнов И. Т., Гуськов Ю. Л. Энергосберегающие комплексы, основанные на использовании перепада давле-

ния на газопроводах. Теплоэнергетика, 1995, №6, с. 34–35.

2. Трухний А. Д. Термодинамические основы использования утилизационных турбодетандерных установок. Вестник МЭИ, 1999, №5, с. 11–15.

3. Закирова И. Р., Куличихин В. В. Определение оптимальных режимов эксплуатации детандер-генераторных агрегатов на тепловых электростанциях. Энергосбережение и водоподготовка, 2018, №3 (113), с. 52–58.

4. Куличихин В. В., Кудрявый В. В., Чижов В. В., Лазарев Л. Я. Методика и результаты исследования характеристик детандер-генераторного агрегата. Вестник МЭИ, 2001, №4, с.19–24.

5. Агабабов В. С. Влияние детандер-генераторных агрегатов на тепловую экономичность тепловых электростанций. Дисс. на соискание уч. степени д. т. н. Москва, МЭИ (ТУ), 2003.



ИНФОРМАЦИЯ



X Международная школа-семинар молодых ученых и специалистов «Энергосбережение — теория и практика»

Приглашаем принять участие в традиционной X международной школе-семинаре молодых ученых и специалистов «Энергосбережение — теория и практика», посвященной 90-летию Московского энергетического института и 100-летию плана ГОЭЛРО, которая состоится в "Национальном исследовательском университете "МЭИ" с 19 по 23 октября 2020 г.

Секции школы-семинара

- Энергосбережение при потреблении энергии.
- Энергосбережение при транспортировке энергии.
- Энергосбережение при генерации энергии.
- Технологии водородной энергетики.
- Диагностика, мониторинг, информационно-аналитические системы в энергосбережении.
- Малая энергетика, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, вторичные энергетические ресурсы.
- Экономические аспекты энергосбережения.
- Энергосбережение в комплексе городского хозяйства.

Тексты докладов будут опубликованы в электронном виде. По материалам Школы-семинара также будет издан сборник научных трудов с присвоением международного индекса ISBN, УДК, ББК. Все доклады, включенные в сборник, будут проиндексированы в системе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

По желанию авторы могут предоставить доклады для публикации в журнале Journal of Physics: Conference Series (индексируется в Scopus) в 2020 году.

Организаторы школы-семинара

- Министерство науки и высшего образования РФ,
- Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН,
- Российский научный фонд,
- Департамент жилищно-коммунального хозяйства Москвы,
- Комитет Российского Союза НИО по сушке и термовлажностной обработке материалов,
- Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
- Институт энергоэффективности и водородных технологий НИУ «МЭИ».

Для участия в конференции необходимо пройти регистрацию на сайте <https://etp.mpei.ru/>, подготовить доклад и экспертное заключение.

С вопросами по участию в X международной школе-семинаре молодых ученых и специалистов «Энергосбережение — теория и практика» обращаться к секретарю научно-организационного комитета Пурдину Михаилу Сергеевичу по почте: Shkola-Seminar-ETP@mail.ru.

Телефон для справок: 8 (495) 362-70-40.

ХРОНИКА, ПУБЛИКАЦИИ

• **Нефть заразилась вирусом.** МЭА ждет самого сильного падения спроса на нефть за десятилетия. Среднесуточный мировой спрос на нефть снизится на 435 000 баррелей в годовом выражении в I квартале 2020 г., прогнозирует Международное энергетическое агентство (МЭА). Последний раз столь сильное квартальное падение происходило более 10 лет назад во время мирового финансового кризиса, говорится в его ежемесячном докладе. Также МЭА ухудшило прогноз увеличения спроса по итогам всего 2020 г. с 1,19 млн до 825 000 барр./сутки, самого низкого уровня с 2011 г.

Причиной стала эпидемия коронавируса, парализовавшая китайскую экономику, крупнейшего потребителя многих сырьевых товаров, включая нефть. Банк HSBC снизил прогноз роста китайского ВВП в этом году с 5,8 до 5,3%, при том что в прошлом году темпы роста и так уже оказались самыми низкими с 1990 г. (6,1%). Эпидемия уже отразилась на туризме, торговле и цепочках поставок, поэтому в I квартале ВВП вырастет и вовсе лишь на 4,1% в годовом выражении, считают аналитики HSBC.

Накануне свои прогнозы также ухудшила Организация стран — экспортеров нефти (ОПЕК). Она снизила оценку глобального роста спроса в этом году на 230 000 до 990 000 барр./сутки в 2020 г., также назвав главной причиной коронавирус.

При этом пока аналитики не впадают в панику и ждут V-образного восстановления после провала в I квартале. «Стоит отметить, что эти прогнозы предполагают наиболее сильное ухудшение ситуации со спросом на нефть в I квартале и его последующее восстановление», — сказал Reuters Гарри Чилингирян, глобальный стратег по мировому нефтяному рынку BNP Paribas. Еврокомиссия сохранила свой прежний прогноз роста ВВП ЕС (на 1,2% в этом году), однако отметила: он основан на предположении, что пик эпидемии придется на I квартал и будет иметь «относительно ограниченное влияние» на мировую экономику.

Вспышка коронавируса повлияет на экономику и спрос на нефть сильнее, чем эпидемия атипичной пневмонии (SARS) в 2003 г., считает МЭА. Тогда Китай потреблял только 5,7 млн барр./сутки, а в прошлом году — 13,7 млн барр./сутки (почти 14% от глобального спроса). Как отмечает МЭА, страна обеспечила более 75% роста мирового спроса на нефть в 2019 г.

Ограничения на въезд в Китай и выезд из него, а также карантин внутри страны уже привели к сокращению потребления нефти. 13 февраля госкомпания China National Chemical Corp объявила о закрытии нефтеперерабатывающего завода мощностью 100 000 барр./сутки и сокращении производства на двух других НПЗ. В свою очередь МЭА ухудшило прогноз по среднесуточному производству китайских НПЗ в I квартале на 1,1 млн барр. и теперь ожидает, что оно сократится на 500 000 барр.

Глобальное предложение нефти в январе сократи-

лось на 800 000 барр./сутки в годовом выражении до 100,5 млн барр., по данным МЭА. Если бы не коронавирус, ОПЕК, возможно, удалось бы сбалансировать нефтяной рынок в этом году, отмечает агентство.

В начале февраля технический комитет соглашения ОПЕК+ (участвуют Россия, члены ОПЕК и еще ряд добывающих стран) порекомендовал сократить среднесуточную нефтедобычу еще на 600 000 барр. до июня в связи со снижением спроса из-за коронавируса. Но крупнейшие российские нефтяные компании склоняются к продлению соглашения во II квартале на прежних условиях. Они предполагают снижение совокупной добычи на 1,7 млн баррелей по сравнению с уровнем октября 2018 г., а квоты действуют до конца марта.

• **Коронавирусная антиреклама.** Резкий кратковременный всплеск числа заразившихся коронавирусом в Китае выглядит пугающе, но парадоксальным образом скорее должен успокаивать: обнародование таких данных означает, что власти страны сделали выводы из эпидемии атипичной пневмонии 2002–2003 гг. и не намерены скрывать масштабы нынешней эпидемии от мира.

13 февраля китайский информационный портал «Ванъи», ссылаясь на данные региональных властей, сообщил, что число инфицированных новым коронавирусом к утру 13 февраля за сутки увеличилось на 15 000 человек и достигло 59 800. Число умерших выросло на 242 до 1368 человек. Объяснения властей, что резкий рост числа заболевших связан с новой, более точной диагностикой, породили подозрения в манипулировании статистикой.

Попытки скрыть информацию о масштабе распространения вируса предпринимались на местном уровне в декабре — первой половине января. Тогда полиция Уханя пригрозила врачу Ли Вэньяну, сообщившему коллегам в китайском мессенджере WeChat о новом вирусе, об ответственности «за распространение ложных слухов» (7 февраля он сам скончался от последствий коронавируса). Уже после уведомления ВОЗ о вспышке нового вируса в Китае в какой-то момент перестали фиксироваться новые зараженные, но после 20 января, когда было объявлено о противоэпидемических мерах, число заболевших резко выросло — и это тоже объяснялось новой диагностикой.

Подозрения в сокрытии информации возникают не в первый раз. Стремление властей на местах преуменьшить масштаб прошлых эпидемий, в частности эпидемии атипичной пневмонии (SARS) в 2002–2003 гг., было затем признано и осуждено властями и официальными СМИ. Руководство КНР сделало выводы из этой истории, когда сокрытие информации привело к широкому распространению вируса, отмечает китаист Александр Габуев, и теперь не пытается скрыть число заболевших и умерших. Осознав серьезность угрозы, которую несет коронавирус, Пекин быстро пошел на радикальные

меры, резко ограничив движение в Ухане и провинции Хубэй. Стремительное возведение специальных больниц позволило изолировать и лечить тысячи людей. Ради прекращения распространения эпидемии были также закрыты многие предприятия.

Новый метод диагностики действительно позволяет буквально за несколько минут определить, заражен ли человек вирусом, и не держать его в положении подозреваемого, поясняет профессор Школы востоковедения ВШЭ Алексей Маслов, это и объясняет одномоментный резкий рост числа заболевших в статистике. Китайские власти также наказывают чиновников, не проявивших должной активности и заботы об обывателях в борьбе с вирусом. 13 февраля первого секретаря комитета КПК провинции Хубэй Цзян Чаоляна освободили от должности, по сообщению Синьхуа, смещены десятки функционеров уездного уровня, говорит Маслов. Впрочем, декларируемая прозрачность не препятствует попыткам дозировать информацию: власти не пускают в Ухань и Хубэй новых иностранных корреспондентов, мотивируя это опасностью эпидемии, отмечает Габуев

• **Законный «добытчик» криптовалюты.** Госкорпорация «Росатом» открыла майнинговую ферму вблизи Калининской АЭС в Удомле, которая находится почти в 300 километрах к северо-западу от Москвы. Новый объект будет предлагать законные условия для майнинга криптовалют.

Более 4,8 млн долларов потрачено на строительство 30 мегаваттной установки. По словам руководителя центра обработки данных и цифровых продуктов в «Росэнергоатоме», дочки «Росатома», Сергея Немченкова, компания не планирует добывать криптовалюты самостоятельно, а будет использовать возможности для продажи дополнительной электроэнергии крупным пользователям, а также предлагать им в аренду помещения, подобно центру обработки данных.

— Как центры обработки данных, так и майнеры являются крупными потребителями энергии со стабильным спросом», — отметил С. Немченков. — Для нас это способ диверсификации.

По мнению МВФ и Всемирного банка, «Росатом» — первый крупный государственный участник майнинга в России, одиннадцатый — в мире. В планы компании входит открытие нескольких майнинговых точек, мощность которых будет превосходить 240 мегаватт.

Для сравнения: китайский майнинговый гигант Bitmain, развернувший свою деятельность в Рокдейле, штат Техас, начинает с мощности от 25 до 50 мегаватт.

По информации «Росатома», ожидается, что в Удомле на участке площадью около 65 тыс. квадратных метров будут расположены до 30 контейнеров, в каждом из которых может разместиться почти 400 отдельных компьютеров для майнинга. Электричество для майнеров будет стоить от 4 до 5 центов за киловатт-час. Несмотря на относительно недорогую стоимость электричества, этот проект примечателен тем, что он представляет законный и надежный способ добычи криптовалюты.

— Это будет абсолютно белой сделкой, — сказал Немченков.

Известно, что «Росэнергоатом» уже заключил партнерское соглашение с ECOS-M, майнинговой фирмой, которая выступает в качестве посредника между площадкой и майнерами. Основанная в 2017 году в Армении, компания ECOS-M начала строительство своего предприятия рядом с Разданской ТЭС. Установив там два контейнера, компания надеется значительно расширить предприятие, поскольку потенциальная мощность площадки составляет до 200 мегаватт.

Согласно меморандуму, подписанному «Росэнергоатомом» и ECOS-M, в дополнение к Удомле, будут открыты еще четыре объекта «Росатома», которые могут быть предоставлены для эксплуатации майнерам в ближайшие годы: два из них в Сибири, один в Мурманске и один в Калининграде.

Сергей Немченков сказал, что одно из этих мест, расположенное в сибирском Северске, является особенно амбициозным проектом: с потенциальной мощностью до 200 мегаватт, ожидается, что в начале площадки будет размещено 84 контейнера на один мегаватт после завершения строительства, которое ориентировочно намечено на конец 2021 года.

Еще около 130 мегаватт доступной электроэнергии ждут майнеров возле Кольской и Балтийской АЭС и Ангарского электролизного химического завода.

Для «Росэнергоатома» аренда площадок для майнинговой деятельности является одним из способов стать крупным поставщиком центров обработки данных.

По словам Немченкова, в центре обработки данных в Удомле есть резервный дизель-генератор, который обеспечивал бесперебойное обслуживание клиентов во время кратковременного отключения электричества на Калининской электростанции в прошлом году, вызванного коротким замыканием в трансформаторе за пределами станции.

«Росэнергоатом» серьезно относится к майнинговой отрасли: рассматривается возможность для расширения персонала ядерного гиганта для ухода за контейнерами и использование своего опыта в области инженерной и промышленной безопасности.

Однако инфраструктура, которую строит компания, может подразумевать различные варианты использования. Как отметил руководитель центра обработки данных и цифровых продуктов «Росэнергоатома», если Россия запретит криптографию, площадку можно будет модернизировать и превратить в обычный дата-центр.

• **Правительство Индии планирует довести мощность возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в стране к 2022 году до 175 тыс. МВт.**

Для реализации масштабных планов в 2010 году правительство запустило инициативу «Национальная солнечная миссия» (National Solar Mission, NSM). На момент начала реализации данной инициативы мощность солнечных электростанций в стране была всего 11 МВт, к 2014 году она уже превышала 2,5 тыс. МВт, а к 2018 году достигла 21,6 тыс. МВт (для сравнения, мощность

ветроэлектростанций в Индии в конце 2018 года превысила 35 тыс. МВт).

В 2010–2011 гг., согласно данным национально-го электроэнергетического регулятора CERC (Central Electricity Regulatory Commission), стоимость фото-электрических модулей составляла \$2,2/1 Вт, а в 2016–2017 гг. показатель снизился до \$0,48/1 Вт.

В целях масштабного расширения солнечной энергетики было принято решение о строительстве так называемых солнечных парков (Solar Park). Первым стал парк Charanka в штате Гуджарат, за которым последовал солнечный парк Bhadla Phase I в штате Раджастан. Как правило, мощность солнечного парка превышает 500 МВт. Например, парк Rewa в штате Андхра-Прадеш имеет мощность 750 МВт. Согласно изначальному плану, подобных парков должно быть построено не менее 25, а их общая мощность должна превысить 20 тыс. МВт. При этом парки малой мощности также строятся в разных регионах страны.

В 2017 году вследствие растущего потребления электроэнергии план был пересмотрен в сторону увеличения: к 2021–2022 гг. мощность солнечных парков должна составить уже 40 тыс. МВт. По состоянию на январь 2019 года, в 21 штате Индии одобрено строительство 47 солнечных парков суммарной мощностью 26,7 тыс. МВт. Общая мощность ВИЭ в стране к указанному времени достигла 75 тыс. МВт.

Два солнечных парка уже введены в эксплуатацию в полном объеме (Kurnool мощностью 1 тыс. МВт в штате Андхра-Прадеш и Bhadla Phase II мощностью 680 МВт в штате Раджастан). Солнечный парк Bhadla Phase III в Раджастане на данный момент построен наполовину (500 МВт из запланированных 1 тыс. МВт), а еще 8 парков введены в работу частично (суммарно более 2,5 тыс. МВт). Солнечный парк Pavagada в штате Карнатака, мощность которого составит 2 тыс. МВт, станет одним из крупнейших подобных энергетических объектов в мире.

Основными сложностями для компаний, осуществляющих создание и эксплуатацию солнечных парков (Solar Power Park Developers, SPPDs), являются:

- получение достаточных площадей земли (1,6–2 гектара);
- обеспечение финансирования;
- присоединение к общей электрической сети;
- мониторинг и прогнозирование выработки электроэнергии солнечной электростанцией и потребления на собственные нужды сопутствующей инфраструктурой.

Правительство страны обеспечивает финансовую поддержку до 30% от общих затрат на создание солнечного парка, а правительства разных штатов внедряли благоприятную земельную политику, которая способствовала решению проблемы получения требуемых площадей.

Так как солнечные парки вырабатывают в определенные периоды такой значительный объем электроэнергии, который не может потребляться локально, требуется проработка аспектов передачи и распределения

данной электроэнергии с учетом загрузки соответствующей сетевой инфраструктуры. Опыт показывает, что данный процесс может занимать до трех лет.

• **Найдена взаимосвязь между здоровьем населения и состоянием атмосферного воздуха** в странах с разными темпами роста возобновляемой и низкоуглеродной энергетики.

В ноябре 2019 года ученые Гарвардской школы общественного здравоохранения (Harvard TH Chan) опубликовали результаты исследований, которые легли в основу нового метода оценки воздействия возобновляемой энергетики. Исследователи проанализировали два вида преимуществ от замены традиционных электростанций на возобновляемые источники: это климатическая польза, связанная с сокращением выбросов углекислого газа, и увеличение продолжительности жизни населения за счет снижения смертности от вредных загрязнений. В итоге была разработана удобная для пользователя модель, которая позволяет сравнить, как меняются эти преимущества в зависимости от географии возобновляемых источников энергии.

Согласно результатам исследований, климатические преимущества достигают максимума в странах, где в энергобалансе преобладают угольные электростанции: Монголии, Ботсване, Эстонии, Ираке и Австралии. Польза для здоровья жителей наиболее значительна в странах с высокой плотностью населения, где люди вынуждены жить в зоне источников выбросов, включая Мьянму, Бангладеш, Эфиопию, Индию и большую часть Восточной Европы.

Расчеты показывают, что ветряная турбина или солнечная панель, размещенные в Индии, могут продлить в 30 раз больше жизней, чем при размещении той же самой турбины или панели в США. Климатические выгоды в этом случае будут примерно в два раза выше.

— Новая глобальная модель позволяет оценивать выгоды от использования ВИЭ на уровне каждой страны и от сокращения выбросов парниковых газов, и от улучшения здоровья населения из-за снижения загрязнений воздуха. Такого инструмента еще не было в области инвестиций в устойчивую экономику, — отметил научный сотрудник Гарвардской школы и ведущий автор исследования Джонатан Буонокор.

Чтобы оценить практические возможности созданной модели, ученые сравнили показатели пяти компаний, работающих с ВИЭ, которые предоставили свои операционные данные для разных стран и данные органов здравоохранения. Сравнение выявило значительный разброс в достигнутых результатах оздоровления от присутствия ВИЭ — как климата, так и качества жизни населения. Например, условная ветроэнергетическая компания, работающая в Индии, может сохранить около 250 жизней на каждую 1000 дополнительных МВт установленной энергии ветра в год. В то же время ветряные компании, которые работают в Северной Америке или в Европе, спасают 25

жизней при таком же объеме установленной ветровой мощности.

• **Угольным станциям не оставили шансов.** В Калифорнийском университете в Сан-Диего подсчитали экономические и социальные последствия вывода из строя локальной угольной генерации — основного источника выбросов углекислого газа CO_2 . Как следует из статьи, опубликованной в журнале *Nature Sustainability*, в период с 2005 по 2016 год в континентальной части США переход от угольных электростанций к источникам энергии с меньшими выбросами спас приблизительно 26,6 тысячи жизней и 570 млн бушелей зерновых культур.

Переход от угля к природному газу в целом сократил выбросы CO_2 , а также изменил местные уровни загрязнения в сотнях районов, поясняется в публикации. Например, при сжигании угля образуются твердые частицы в нижних слоях атмосферы, что может повлиять на человека, растения и региональный климат. Все загрязнители, включая аэрозоли, озон и другие соединения, образующиеся при сжигании угля, могут нанести ущерб здоровью человека при вдыхании, а также оказывают вредное воздействие на жизнь растений. Кроме того, они изменяют местный климат, частично блокируя солнечный свет.

Чтобы точно сравнить уровни загрязнения окружающей среды, смертности среди населения и урожайности до и после остановки угольных энергоблоков, доцент кафедры экологических наук в Школе глобальной политики и стратегии Калифорнийского университета Дженнифер Берни проанализировала многолетние данные ряда государственных организаций. Среди них — Агентство по охране окружающей среды (EPA), спутниковые и поверхностные измерения EPA и NASA, Центр по контролю заболеваний, Министерство сельского хозяйства США.

Берни установила, что в период 2005–2016 гг. закрытие угольных энергоблоков спасло около 26,6 тыс. жизней и 570 млн бушелей кукурузы, сои и пшеницы в ближайших к электростанциям окрестностях. Если бы за этот период угольные электростанции были выведены из эксплуатации полностью, то это предотвратило бы более 329 тыс. преждевременных смертей и сохранило бы примерно 10,2 бушелей сельскохозяйственных зерновых культур, что эквивалентно половине их годового производства в США.

— Мы много слышим о парниковом газе в общем и об экономических последствиях для США при переходе с угля на природный газ, но решения меньшего масштаба, составляющие эту большую тенденцию, имеют действительно важные локальные последствия. Анализ позволяет общинам дать более тщательную и точную оценку затрат и выгод от местных инвестиций в энергетическую инфраструктуру, — отмечает Дженнифер Берни. Она также делает вывод, что новые энергоблоки на природном газе не являются полностью благоприятными для экологии. Хотя выбросы новых электростанций отличаются от смеси загрязняющих

веществ от угольных установок, требуется больше исследований, чтобы полностью оценить их воздействие.

По мнению ученого, проведенное исследование позволяет учитывать не только выбросы парниковых газов, но также аэрозоли и другие соединения, связанные с производством энергии, которые наносят не менее существенный ущерб. Понимание этого механизма может привести к определению реальной стоимости источников энергии для инвесторов и к более эффективному смягчению последствий выбросов.

• **Социальная стоимость углерода растет с каждым годом.** Следуя логике глобальной экологической политики, каждое промышленно развитое государство несет ответственность за состояние климата, по мере сил инвестирует в «зеленую» экономику и сокращает парниковые выбросы. Мерой экономического ущерба, вызванного последствиями изменения климата, является социальная стоимость углерода (SCC), которая рассчитывается для каждой страны на тонну выбросов углекислого газа. Эта величина используется правительствами также в качестве основы для расчета безуглеродных кредитов или цены на углерод.

Фактические данные SCC (от \$177 до \$805 для разных стран), опубликованные в октябре 2018 года в газете *The Guardian* по итогам исследований Калифорнийского университета, шокировали общество, так как показали, насколько они выше официально установленных: в США на тот момент реальный страновой показатель составлял около \$50. Администрация Трампа оценивает общую социальную стоимость углерода и того ниже, в \$1–7 за тонну, что «в корне неверно и основано на ошибочных предположениях». Об этом незадолго до нового года сообщил, выступая в Конгрессе, профессор экономики Чикагского университета Майкл Гринстоун, который является содиректором Лаборатории климатического воздействия (CIL). В ней ученые-климатологи, экономисты, эксперты, исследователи и аналитики из нескольких университетов работают над выработкой точной оценки воздействия климатического кризиса на основе данных десятков стран мира. По словам экономиста, эта работа направлена на прогнозирование изменений в смертности, использовании энергии, урожайности в сельском хозяйстве, производительности труда и уязвимости прибрежных районов из-за дополнительных тонн выбросов CO_2 , а также на монетизацию этих расходов для общества.

В своем выступлении Гринстоун озадачил конгрессменов прогнозами на текущий век: по данным исследователей CIL, глобальный уровень смертности, вызванный изменением климата, к 2100 году превысит уровень смертности от инфекционных заболеваний в уходящем году. Гринстоун предположил, что когда лаборатория завершит свою работу, полученная социальная стоимость углерода будет намного выше даже оценки администрации Обамы (\$51).

— Этот результат говорит о том, что федеральное правительство систематически недооценивает социальные издержки выбросов CO_2 , — сообщил ученый. — Уровень смертности, который мы рассчитываем, в

10 раз превышает стоимость смертности, лежащую в основе SCC эпохи Обамы, и до двадцати раз — чем SCC администрации Трампа.

По словам Гринстоуна, смертность от изменения температуры составляет лишь небольшую часть общих социальных затрат на углерод, однако только эта доля уже обходится обществу в \$23,6 на каждую тонну выброшенного углерода.

О том, станут ли выводы ученых весомым аргументом в пользу развития «зеленой» энергетики или внедрения иных способов сокращения парниковых выбросов, не сообщается, однако в Гарвардской школе общественного здравоохранения уверены, что предложенные модели помогут инвесторам и политикам принимать более обоснованные стратегические решения по достижению целей ООН в области устойчивого развития.

• **Началось строительство ЛЭП для передачи «зеленого» электричества.** В Китае началось строительство высоковольтной линии электропередачи, специально предназначенной для поставок «чистой энергии». По плану, линию электропередачи мощностью 8 млн кВт сдадут в эксплуатацию в 2020 г. По ней будет поставляться энергия, выработанная солнечными, ветряными и гидроэлектростанциями.

Общая сумма инвестиций в проект составляет 22,6 млрд юаней (3,26 млрд долл.).

Линия протяженностью 1587 км начинается в Хайнань-Тибетском автономном округе провинции Цинхай, расположенном на северо-западе КНР, и заканчивается в городе Чжумадянь провинции Хэнань в центральной части страны, связывая провинции Цинхай, Ганьсу, Шэньси и Хэнань.

Объем электроэнергии, которую планируется поставлять по строящейся линии, позволит заменить использование 18 млн тонн угля, сократить выбросы пыли на 14 тыс. тонн, двуокиси серы — на 90 тыс. тонн и углекислого газа — на 29,6 млн. тонн.

• **Газопровод между Болгарией и Грецией построят на средства ЕС** Европейская комиссия одобрила финансирование строительства газопровода между Болгарией и Грецией, который должен объединить газораспределительные сети двух стран, сообщило Болгарское национально радио. Общие расходы на строительство оцениваются в 240 млн евро. Газопровод протяженностью 182 км соединит город Комотины на северо-востоке Греции с болгарским городом Старо-Загора.

Проектом предусмотрен первоначальный транзит природного газа в объеме 3 млрд кубометров в год до 2021 г. с последующим возможным увеличением объемов поставок до 5 млрд кубометров.

В Еврокомиссии отмечают, что реализация проекта в сочетании с аналогичными межсистемными связями с Румынией и Сербией повысит возможности Болгарии по транзиту в страны Юго-Восточной Европы, а также поспособствует большему разнообразию газовых поставок в регион.

Газопровод между Болгарией и Грецией должен стать

частью так называемого Вертикального газового коридора, который соединит Грецию, Болгарию и Румынию. Решение о его строительстве было принято после закрытия в 2014 г. проекта российского газопровода «Южный поток», который запретила реализовывать Еврокомиссия.

В перспективе «Вертикальный газовый коридор» предполагается связать с «Южным газовым коридором» — проектом расширения Южнокавказского газопровода (Баку — Тбилиси — Эрзурум) и строительства Трансанатолийского — Трансадриатического газопроводов.

В конце октября на встрече министра энергетики Болгарии Теменужки Петковой с послом США в Софии Эриком Рубиным обсуждалась возможность поставок в Болгарию газа из Соединенных Штатов через Грецию.

• **Потребителей ждет резкое подорожание электричества и газа.** Литовские поставщики электроэнергетики и газа утверждают, что в 2019 г. они поднимут цены на электричество и газ для бытовых потребителей на 15–20%, а для бизнеса увеличение цены составит в пределах 30–60%. Об этом 19 ноября сообщило литовское агентство BNS.

Представители компании Lietuvos energijos tiekimas утверждают, что рост цены на электроэнергию обусловлен ее подорожанием на рынке. Она повысилась за год на 40% и в среднем сейчас составляет 49 евро за МВт·ч. Электроэнергию для бизнеса и вовсе ожидает рост вплоть до 60%. Об этом заявили представители поставщика Elektrum Lietuva.

Цены на электроэнергию для литовских бытовых потребителей с 1 января 2019 г. станут выше сразу на 20%. Такое решение 15 октября приняла литовская государственная комиссия по контролю цен и энергетике. Прибалтика до 2025 г (включительно) намерена выйти из единой постсоветской электроэнергетической системы БРЭЛЛ и синхронизировать работу с континентальными сетями Европы.

В настоящий момент в Литве генерируется 15–25% необходимой ей электроэнергии, однако ради «энергетической независимости от России» Литва намерена покупать дорогие электричество и газ из стран Евросоюза и Норвегии, а не более дешевые из Белоруссии и России.

• **Эксперт объяснил, почему Америка снова будет покупать российский СПГ.** Американские поставщики сжиженного природного газа (СПГ), несмотря на аномально холодную и рано наступившую зиму, а также рекордно низкий запас газа в подземных газовых хранилищах, в первую очередь будут стремиться выполнить контракты с ЕС, а не обеспечить газом жителей своей страны. Все это приведет к тому, что Соединенные штаты будут покупать газ за рубежом, что ударит по кошельку обычного американца, предположил бывший советник министра энергетики США Чарльз Макконнелл. Так, вполне возможно, США снова начнут закупать сжиженный природный газ у России.

«Рынок, конечно, позаботится об этом, поставки

придут откуда бы то ни было. Люди заплатят больше в этот период. И через две недели вещи вернутся к своему нормальному положению. И мы вновь забудем об этом», — ответил он на вопрос, что будет происходить с американским внутренним рынком природного газа, который серьезно лихорадит.

Господин Макконнелл считает, что вряд ли государство вмешается в ситуацию. «В первую очередь мы пытаемся сейчас уяснить в США, что непрерывные поставки газа — это не сама собой разумеющаяся вещь. Сама мысль о том, что это может прекратиться, чужеродна для большинства наших людей. И кроме того, стратегическое планирование для таких ситуаций, с которыми мы сейчас столкнулись, у нас отсутствует», — говорит он.

Чарльз Макконнелл пояснил, что все из-за того, что этот бизнес находится в руках частных компаний. «Стратегия развития энергосектора США строится на выборе частных инвесторов. И эта стратегия не предполагает создания долгосрочного плана, как предотвратить ситуацию, в которой мы сейчас находимся. Компании теряют средства, заплатят много денег за поставки два, три, четыре раза откуда бы то ни было, а потом все вернется на круги своя», — добавил он.

Старт новому обсуждению о вероятности поставок СПГ в Америку из-за рубежа дала представитель российского МИДа Мария Захарова. В минувший четверг она сообщила, что уже три танкера с российским СПГ были направлены в США. Впрочем, ситуация не уникальна: в прошлом году из-за того, что инфраструктура США не справлялась со спросом потребителей на газ из-за слишком холодной зимы, страна вынуждена была покупать голубое топливо за рубежом. В частности, две партии СПГ прибыли в порт Бостона с месторождения «Ямал СПГ». Поэтому участники рынка называют именно газ «Ямал СПГ» наиболее вероятным вариантом для американского рынка.

При этом Чарльз Макконнелл считает, что европейским потребителям как раз бояться нечего. «Основным и главным обязательством компаний США будет именно эффективное обеспечение контрактов с европейцами. В противном случае, если они не будут надежным поставщиком, другие страны не захотят подписывать с ними договоры», — заключил он.

• Дан старт первой очереди Рогунской ГЭС.

В Таджикистане 16 ноября была введена в эксплуатацию первая очередь Рогунской ГЭС. Кнопку запуска станции нажал президент страны Эмомали Рахмон, республиканское телевидение транслировало церемонию в прямом эфире на трех языках — таджикском, русском и английском.

Церемония проходила в машинном зале гидроэлектростанции, для участия в ней прибыли представители зарубежных государств, в том числе государств — участников проекта CASA-1000, международных организаций, дипломаты и журналисты мировых СМИ. Было отмечено, что старт второго агрегата ГЭС планируют произвести в ближайшем апреле. Когда в эксплуатацию будут запущены все 6 агрегатов Рогунской

ГЭС, ее мощность достигнет 3600 МВт, что превысит 17 млрд кВт·ч, и она станет крупнейшей ГЭС в Центральноазиатском регионе.

Строительство ГЭС начали в конце 1970-х гг., однако после распада СССР работы на длительное время остановили — до 2008 г. Два года назад тендер на достройку Рогунской ГЭС был выигран итальянской компанией Salini Impregilo, и уже 29 октября 2016 г. строители перекрыли русло реки Вахш, положив старт возобновлению строительства плотины. За 10 лет на осуществление масштабного проекта Таджикистан потратил порядка 15 млрд сомони (около 1,6 млрд долл.). Над объектом, помимо итальянской компании, трудятся более 50 компаний-субподрядчиков из разных стран — России, Ирана, Китая, Германии и Украины.

CASA-1000 — совместный энергетический проект ряда стран Средней и Южной Азии по созданию системы для экспорта гидроэлектроэнергии из Таджикистана и Киргизии в Афганистан и Пакистан.

• **«Новатэк», «Газпром» и «Роснефть» должны достроить свои СПГ-проекты к 2025 г.**, чтобы Россия заняла 15% мирового рынка. Эта цель достижима лишь в теории, считают эксперты Yugon Consulting.

В ближайшие семь лет предложение сжиженного газа вырастет в 1,5 раза — с 291 млн до 438 млн т в год, пишут аналитики Yugon Consulting в своем прогнозе развития мирового рынка СПГ до 2025 г. «На озвучиваемые Минэнерго 15% [рынка] в 2025 г. Россия может рассчитывать только при условии, что мировой спрос на СПГ будет соответствовать нашему консенсус-прогнозу, а все отечественные СПГ-заводы будут работать при полной загрузке», — пишут они. В расчетах аналитики учитывают «Арктик СПГ – 2» (проект «Новатэка»), «Балтийский СПГ», третью очередь «Сахалин-2» (оба — «Газпром») и Дальневосточный СПГ («Роснефть»). Если они не будут запущены вовремя, доля страны в общемировом производстве СПГ составит всего 6%, посчитали в Yugon Consulting.

• **По прогнозам экспертов, потребление природного газа транспортной сферой может увеличиться на 160%.**

К 2030 году объемы направляемого на топливо газа должны вырасти до 11 миллиардов кубометров. Об этом министр энергетики РФ Александр Новак заявил на юбилейном X Гайдаровском экономическом форуме.

— В 2013 году объем потребления газа как топлива в России составлял 400 миллионов кубометров, а по итогам 2018-го наша страна вышла на показатель в 624 миллиона кубометров. И хотя за пять лет объем потребления газа как топлива увеличился в полтора раза, это немного относительно тех объемов, что добывает наша страна, — считает глава ведомства.

— Мы видим огромный потенциал в развитии данного направления. К 2030 году количество автомобилей, использующих газомоторное топливо, должно вырасти с текущих 150 тысяч до 700 тысяч, а число газовых автозаправочных станций — с сегодняшних 380-ти до 2400. При этом к 2024-у количество

таких станций должно увеличиться до 1300–1400.

Только в текущем году на развитие рынка газомоторного топлива могут быть выделены субсидии в размере 4 млрд руб. В настоящее время данный вопрос обсуждается с Министерством финансов России.

Александр Новак также сообщил, что к 2030 г. каждому региону страны, население которого превышает 100 тыс. человек, придется принять свою программу развития рынка и размещения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). Особое внимание будет уделено созданию отдельных крио-АЗС для заправки техники сжиженным природным газом.

— Минэнерго только недавно было определено как головное министерство, которое комплексно отвечает за данный вопрос. Речь идет о комплексной программе, находящейся на стыке интересов различных сторон: федеральных органов власти — Минэнерго, Минпромторга, Минтранса; субъектов РФ — они отвечают за выделение земельных участков под новые заправки, развитие и подведение инфраструктуры; производителей оборудования и техники, а также автотранспортных предприятий. Следовательно, огромное количество контрагентов должны объединить усилия для развития данного направления. Государство же, в свою очередь, должно не только создать условия для нормативно-правового регулирования, но и стимулировать развитие газозаправочной инфраструктуры и использование соответствующей техники, — считает господин Новак.

Специальный представитель президента РФ по взаимодействию с Форумом стран — экспортеров газа, председатель совета директоров ПАО «Газпром» Виктор Зубков заметил: к 2040 г. потребление природного газа транспортной сферой может вырасти на 160% и достигнуть величины 360 млрд кубометров, что неудивительно — природный газ становится все более популярным источником энергии. За последние десять лет его потребление в мире возросло на 20%.

— Не секрет, что запасы легко извлекаемой нефти быстро сокращаются, вскоре большинству стран придется искать альтернативные способы добычи. Издержки по извлечению нефти, соответственно, увеличатся, в отношении газа тенденция обратная, запасы прирастают, и мы считаем, что относительно низкая стоимость газомоторного топлива может быть гарантирована на многие десятилетия вперед. Кроме того, вредные выбросы в атмосферу от газомоторного топлива, что особенно важно для развития мегаполисов, минимальны, — сказал господин Зубков. — Эксперты полагают, что к 2040 году газ будет единственным ископаемым топливом, доля которого среди первичных энергоносителей значительно вырастет и в абсолютном значении достигнет 5,4 триллиона кубометров. Основной прирост потребления ожидается в Азиатско-Тихоокеанском регионе, Северной Америке и на Ближнем Востоке. Наибольшее влияние на объемы потребления газа окажут энергетика и транспорт, ежегодный прирост в этих отраслях ожидается 2,2% и 4,2% соответственно.

Спикер уточнил, что пять лет назад «Газпром» начал переводить собственный транспорт на газомоторное

топливо, охватывая примерно по 1,5 тыс. автомобилей в год. Таким образом, к настоящему моменту на природный газ переведено 40% транспорта компании, а суммарный экономический эффект от этой работы достиг 3,7 млрд руб. Кроме того, в результате на более чем 100 тыс. тонн сократились выбросы вредных веществ в атмосферу. По мнению Виктора Зубкова, этот опыт стоило бы взять на вооружение регионам.

— Мировой парк автомобилей, работающих на компримированном и сжиженном природном газе, постоянно растет. Сегодня такое топливо используется в 80 странах, им заправляются порядка 26 миллионов автомобилей. В мире действуют более 30 тысяч заправочных станций, в России же их чуть больше 300. Хотя каждый год «Газпром» строит новые станции для заправки природным газом, считаем, их крайне мало для такой большой страны, как наша. В ближайшие год — два планируем увеличить число таких станций до 500, а вообще по стране должна быть сеть, состоящая хотя бы из 1,5 тысячи современных станций. В настоящее время лидерами в этом направлении являются Китай, Индия, Пакистан, Иран, многие европейские страны, — отмечает господин Зубков. — При этом Россия славится своими запасами газа, а Китай вынужден покупать его. У нашей страны есть все предпосылки для того, чтобы стать лидером на мировом газовом рынке как по запасам, добыче, так и по экспорту, применению этого газа на транспорте. Общая протяженность магистральных газопроводов в России — 172 тысячи километров, еще более 700 тысяч километров распределительных сетей — такие предпосылки позволяют обеспечить развитие локальных рынков газомоторного топлива в большинстве регионов.

Есть и обратная сторона медали: хотя «Газпром» ежегодно строит в России около 40 заправок, предназначенных для автомобилей на природном газе, их загрузка, по словам Виктора Зубкова, не превышает 27%.

— На данный момент мы работаем в убыток, — признал он. — Дело в том, что мало заводской техники производится промышленными предприятиями; мало техники переводится на природный газ. Тем не менее планируем продолжать строительство заправочных комплексов и работать с регионами, чтобы они активнее включались в процесс и не затягивали с выделением земельных участков под строительство новых заправочных станций.

• **Максим Загорнов Президент Российской ассоциации малой энергетики, директор группы компаний «МКС».** Энергетическая отрасль в России стоит на пороге глобальных перемен. Под влиянием роста населения и урбанизации спрос на электроэнергию будет расти быстрыми темпами. Удовлетворить потребности промышленного сектора и общества в целом в доступных энергоресурсах, на мой взгляд, сможет только переход от централизованного энергоснабжения к распределенной генерации — то, что мы сейчас повсеместно наблюдаем в Европе и во всем мире. Уверен, что именно в этом русле могут успешно реализоваться многие энергетические стартап-проекты и в нашей стране.

Будут востребованы технологии в области альтернативной энергетики, микрогенерации и все, что связано с «умными городами» — так называемая интеллектуальная энергетика. В эту сферу поступят большие инвестиции, и эффективные стартапы имеют все шансы воплотиться в жизнь.

Хотя должен признать, что российским стартапам сегодня нелегко. И это касается не только энергетики, но и иных отраслей экономики. Фактическая скорость внедрения инноваций в России сегодня катастрофически низка. Государство не оказывает должной поддержки малому и среднему бизнесу страны, что уж говорить о стартапах. Именно поэтому для ускоренного внедрения новых технологий необходимо создавать эффективные площадки для популяризации перспективных стартап-проектов, оценивания их экономического эффекта авторитетными экспертами, презентации перед потенциальными инвесторами.

• **«Айсберг» работает над плавучей ТЭС на сжиженном газе.** Генеральный директор ЦКБ «Айсберг» Александр Рыжков сообщил, что в течение ближайших пяти месяцев будут представлены эскизы проектов для первых российских плавучих энергоблоков (ПЭБ) на сжиженном природном газе.

В настоящий момент мы формируем концепцию проектов этих плавучих электростанций. Будет ряд мощностей, разные варианты — 50 МВт, 100, 150, 200. Будут прорабатываться газотурбинные, газопоршневые двигатели. Каждый вариант будет рассматриваться с экономической точки зрения, и мы рассчитываем, что эскизы сможем показать через три — пять месяцев», — сказал Александр Рыжков.

Контракт на разработку плавучих энергоблоков был заключен КБ с Минпромторгом России в конце прошлого года. Планируется, что станции смогут снабжать электроэнергией удаленные и труднодоступные районы, в том числе в Арктике. Кроме того, эти ПЭБы могут быть поставлены за рубеж. «По нашему мнению, этот проект имеет серьезный, в том числе и экспортный потенциал. Этот проект может заинтересовать, в том числе островные государства Юго-Восточной Азии», — пояснил господин Рыжков.

Ранее ЦКБ «Айсберг» разработало проект первого плавучего атомного энергоблока «Академик Ломоносов» для чукотского города Певека. В настоящее время он находится в Мурманске, где проходит комплексные швартовые испытания.

• **Центральное конструкторское бюро «Айсберг»**, расположенное в Санкт-Петербурге, — единственное в России бюро, специализирующееся на разработке ледоколов с ядерными энергетическими установками. Кроме того, ЦКБ проектирует вспомогательные и специальные суда для ВМФ.

• **В Новосибирске испытывают самый мощный в России накопитель электроэнергии.** Испытания накопителя электроэнергии мощностью более одно-

го мегаватта проходят в новосибирском промышленно-логистическом парке. В стране аналогов такому устройству нет.

Инженеры и ученые Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) представили первые российские накопители энергии большой мощности, которые могут применяться в качестве устройств бесперебойного питания электроэнергией для населенных пунктов.

В настоящее время накопители проходят испытания, отметили в НГТУ. Разработчики уверены, что в случае успешных испытаний устройства можно будет говорить о создании новосибирского кластера накопителей энергии большой мощности. Туда войдут «Лиотех», компания «Системы накопления энергии» (проект «Роснано») и НГТУ.

Цель данной разработки — создание комплекса оборудования, которое позволяет накапливать электроэнергию в период ее избытка, а после возвращать в сеть в периоды недостатка. Накопители такой мощности не производятся в данный момент в РФ, их изготавливают всего несколько производителей в мире. Предполагается, что российская разработка окажется недорогой в сравнении с зарубежными.

По словам научного руководителя проекта Сергея Брованова, разработанные в Новосибирске накопители повысят эффективность и надежность в электроснабжении потребителей. Такие устройства улучшат качество электрической энергии, что позволит уменьшить износ сетей и оборудования. Также с помощью накопителя можно будет обеспечить дополнительной электроэнергией потребителей во время пиковой нагрузки.

Данные накопители электроэнергии разработаны на кафедре электроники и электротехники Новосибирского государственного технического университета под руководством доктора технических наук Сергея Брованова. Разработка выполнена в рамках гранта Министерства образования и науки РФ. Производство накопителей было профинансировано областным правительством.

• **Чернобыльская водка как доказательство возрождения.** Ученые из Великобритании и Украины создали водку, зерно и воду для которой собрали в зоне отчуждения Чернобыля. По словам инициаторов проекта, это первый потребительский продукт из окрестностей поврежденной АЭС, и радиации в нем нет. Планируется продавать уникальный алкоголь туристам, а вырученные средства передавать на поддержку пострадавшего региона.

Команда исследователей, которая решила произвести алкогольный продукт Atomik, работает в зоне отчуждения в течение многих лет, отслеживая, как восстанавливается окружающая среда после аварии 1986 года. Один из них, ученый-эколог из Портсмутского университета Джеймс Смит изучает Чернобыль с 1990 года, он работал в Беларуси, на Украине и в России.

«Atomik был получен в результате эксперимента, ко-

торый мы проводили, чтобы увидеть, сколько радиоактивности перешло в разные культуры в зоне отчуждения через 30 лет после аварии», — сообщил он. По словам ученого, идея состояла в том, чтобы заставить людей глубже задуматься о восстановлении районов, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и заработать деньги для поддержки пострадавших общин.

• **Несостоявшийся налог на электричество** (Из истории российской энергетики). К началу XX века электроэнергия стремительно вошла в быт городов. Провода и лампочки еще не дотянулись до сел и деревень, т.е. были незнакомы большинству населения Российской империи, но для горожан это новшество технического прогресса перестало быть любопытным экспериментом, превратившись в часть повседневной жизни. Первую электростанцию для городского освещения в России построили в 1888 г., накануне Русско-японской войны их было уже 35, а к 1914 г. — 130. Лампочки накаливания стремительно вытеснили прежнее газовое освещение на улицах городов.

Столь же стремительно электричество завоевывало позиции в промышленности, тесня прежнюю силу пара. К 1914 г. Российская империя в этой сфере занимала восьмое место на планете, отставая лишь от Северной Америки и ведущих стран Западной Европы. Свыше 70% всех электротехнических предприятий в России принадлежали иностранному капиталу, а производство электричества на душу населения было в 25 раз меньше, чем в Германии, и в 46 раз меньше, чем в США. Однако темп электрификации царской России, особенно в промышленности, был одним из самых высоких в мире.

Неудивительно, что еще в XIX веке на электричество посмотрели, как на объект налогообложения. Впервые такая мысль возникла в России накануне 1887 г., когда разрабатывался акциз на «осветительные масла», — именно тогда Министерство финансов попыталось собрать первые данные и об электричестве как источнике освещения и потенциальном источнике коммерческой прибыли. Однако царские чиновники пришли к выводу, что по электричеству данных недостаточно, так как отрасль еще не вышла из стадии экспериментов.

Электричество долгое время даже не считали товаром и имуществом. Но в 1902 г., казалось бы, банальное

дело о мелкой краже, совершенной жившим на окраине Петербурга крестьянином Николаем Ивановым, дошло аж до самого Сената, высшего органа царской России. Крестьянин крал электричество, самовольно подсоединив лампочку в своем доме к городской сети. Суды всех инстанций на основе существующих законов признали Иванова невиновным, сочтя, что электричество «не подходит под понятие вещи, предмета или вообще имущества». Лишь Сенат смог не без труда принять особое юридическое решение: «Электричество существует несомненно и вполне реально и, как сущее, оно успело уже стать для людей известным экономическим благом, т.е. обладает всеми признаками имущества в смысле закона».

На основе такого решения Минфин в 1906 г. провел первую в стране «энергетическую перепись», подсчитав, что за предыдущий год во всей империи потребили около 382 млн киловатт-часов. Для сравнения: это почти в три тысячи раз меньше, чем сегодня в РФ! Чиновники Минфина тогда составили пробный проект налога на электроэнергию, однако правительство не решилось показать его царю и Государственной думе — буквально вчера родившееся электричество еще с трудом воспринималось как ценность и товар...

Вновь к вопросу электроналога вернулись с началом Первой мировой войны, когда казне срочно потребовались дополнительные средства. Однако против такого налога дружно выступили крупные промышленники. Главным противником выступал Эммануил Нобель, один из богатейших коммерсантов страны. Он доказывал, что налогом целесообразно обложить лишь электричество для освещения, но не энергию для промышленности.

Несмотря на войну, споры о потенциальном налоге длились более двух лет. Только в конце декабря 1916 г. Минфин утвердил законопроект — предполагалось при себестоимости электричества около 5 коп. за киловатт-час брать с производителей электроэнергии по 1 копейке с каждого киловатт-часа «при освещении общественных мест», до 4 коп. при освещении квартир и льготно 0,5 коп. с каждого киловатт-часа, используемого в промышленности «для технических надобностей». Проект спешно, вне очереди внесли в Госдуму — предполагалось, что в наступающем, 1917 г. новшество даст казне не менее 18 млн руб. По понятным причинам ввести этот налог царская Россия так и не успела.



ДО ГОРИЗОНТА СОБЫТИЙ: ФАКТЫ, МНЕНИЯ, МЕТАФОРИЗМЫ

О глобализации, коронавирусе и пандемии

Весь мир сегодня охвачен злом, с которым не способен бороться, и никто не может спрогнозировать, как долго продлится кризис. Экономические последствия пандемии коронавируса не стоит воспринимать как привычную проблему, которую разрешат или, по крайней мере, смягчат макроэкономисты. Скорее, мы можем стать свидетелями фундаментальных сдвигов в глобальной экономике.

Прежде всего, это кризис предложения и спроса. Предложение падает, потому что компании закрываются или сокращают работу, чтобы защитить сотрудников от COVID-19. Снижение ставок не компенсирует спад производства из-за того, что работники сидят дома — точно так же снижение ставки не сможет восстановить предложение через день, неделю или месяц, если заводы разбомблены.

Шок от падения предложения усугубляет резкое снижение спроса из-за того, что люди заперты дома, многие товары и услуги, к которым они привыкли, им недоступны. Если страны закрыты и прекращено авиасообщение, никакие скидки не заставят людей летать. Если люди боятся ходить в рестораны и на социальные мероприятия либо им запрещено это делать из-за риска заразиться, эффект от управления спросом будет минимальным и не всегда желательным — особенно с точки зрения общественного здоровья.

Мир ожидает кардинальный сдвиг — возвращение к естественной, то есть способной к самообеспечению экономике. Этот сдвиг абсолютно противоположен глобализации.

Глобализация предполагает разделение труда между разными экономиками, возврат к естественной экономике означает, что страны будут двигаться к самообеспечению. Это движение не следует считать неизбежным. Если национальные правительства смогут контролировать или преодолеть нынешний кризис в ближайшие полгода или год, мир, скорее всего, вернется на путь глобализации, хотя некоторые основополагающие принципы (например, уязвимые цепочки производства с доставкой точно по графику) придется пересмотреть.

Но если кризис продлится дольше, глобализация начнет рушиться. Чем дольше будет тянуться кризис и связанные с ним препятствия для свободного перемещения людей, товаров и капитала, тем больше подобное положение будет казаться нормой. Появятся группы, заинтересованные в его поддержании, а страх

новой эпидемии будет способствовать призывам к национальному самообеспечению. Здесь могут совпасть экономические интересы и легитимные опасения по поводу здоровья. Даже незначительное требование — например, что все въезжающие в страну кроме паспорта и визы должны иметь сертификат здоровья — станет преградой для возвращения к прежней глобализации, учитывая, сколько миллионов людей обычно совершают поездки (Бранко Миланович — ведущий научный сотрудник Центра Стоуна по социально-экономическому неравенству Городского университета Нью-Йорка, профессор Лондонской школы экономики).

Новый коронавирус станет беспрецедентным стресс-тестом для глобализации. Ключевые цепочки поставок разрываются, страны стремятся создать запасы медикаментов и ограничить перемещение людей. Кризис вынуждает нас переосмыслить взаимосвязанную глобальную экономику. Глобализация не только способствовала распространению опасного заболевания, но и подчеркнула взаимозависимость компаний и стран, сделав их объектами неожиданных шоков. Компании и государства вдруг обнаружили, насколько они уязвимы.

Этот процесс можно сравнить с разрушением глобальной ойкумены на фоне дезинтеграции Западной Римской империи и появления на её месте множества самостоятельных земель в IV–VI веках. В результате возникла экономика, где торговля использовалась исключительно для обмена избытком товаров, а не для развития специализированного производства для неизвестных покупателей. Как писал Фрэнк Уолбэнк в книге «Упадок Римской империи на Западе», «на всей территории [распадающейся] империи происходил постепенный возврат к мелкому, практически штучному производству для местного рынка и выполнению конкретных заказов с соседних земель».

В нынешнем кризисе преимущество получают те, кто не приобрёл узкую специализацию. Если вы можете сами обеспечивать себя едой и не зависите от централизованной системы подачи электричества и воды, вы не только защищены от сбоев в снабжении, но и меньше рискуете заразиться, потому что вам не нужна еда, приготовленная кем-то другим, или ремонтники, чтобы устранить неисправность, а эти люди могут быть заражены коронавирусом.

Чем меньше вы нуждаетесь в других, тем в большей безопасности находитесь. Всё, что ранее считалось преимуществом специализированной экономики, сегодня превращается в недостаток. И наоборот.

Движение к естественной экономике будет происходить под воздействием не только экономических факторов, но и глубинных опасений — риска новых эпидемий и страха смерти. Поэтому стандартные экономические меры будут паллиативными: они могут (и должны) защитить людей, потерявших работу, не имеющих сбережений и даже медицинской страховки. Когда эти люди не смогут оплачивать свои счета, в экономике начнутся волны кризисов — от ипотечного до банковского.

Число жертв коронавируса станет самым значимым фактором и может привести к социальной дезинтеграции. Те, кто остался без надежд, без работы и средств, немедленно ополчатся против тех, кто оказался в лучшем положении. Уже сейчас около 30% американцев имеют нулевое или отрицательное состояние. Если в результате нынешнего кризиса ещё больше людей останутся без денег, без работы и доступа к медицинским услугам, если они будут испытывать отчаяние и гнев, то такие сцены, как побеги заключённых в Италии или мародёрство после урагана «Катрина» в Новом Орлеане в 2005 г., станут обычным явлением. Если правительства прибегнут к силе для подавления беспорядков и атак на собственность, может начаться процесс дезинтеграции общества.

Поэтому главная (возможно, единственная) цель экономической политики сегодня — предотвратить распад общества. Развитое общество не должно позволить, чтобы экономика, в частности судьба финансовых рынков, заставила его забыть о том, что важнейшая роль экономической политики заключается в укреплении социальных связей в условиях экстремального давления.

Мнение Андрея Милёхина, доктора социологических наук, Вице-президента Всемирной социологической службы «Гэллап-Интернэшнл»:

Что мы имеем в России сегодня? Сегодня мы имеем самую большую в мире границу. Огромная часть этой границы приходится на Китай и огромная — на Европу. Сегодня это два самых больших очага заболевания, которые ВОЗ назвала пандемией. И при нашем, как зачастую мы любим рассуждать, неэффективном государстве мы практически не имеем потерь от коронавируса. Посмотрим, что произошло во всём мире: на 22 марта 11 тысяч умерших за четыре месяца. В это же время, по медицинской статистике, три с половиной тысячи погибает в мире ежедневно на дорогах. Во всём мире за год на дорогах гибнет 1 миллион 250 тысяч человек, и никто не перекрывает дороги. Вернёмся к медицинской статистике. От сердечно-сосудистых заболеваний погибает примерно 55% всех людей на Земле, десятки миллионов в год, это куда более серьёзная угроза, в тысячу раз более серьёзная, чем то, что мы сейчас имеем. Если считать честно, у нас от этого неадекватного гвалта и жёстких запугиваний на порядки

больше за это время умерло от спровоцированных инфарктов и инсультов.

У нас уже есть первые опросы общественного мнения, и я с удовольствием поделюсь тем, что мы видим по реакции россиян и землян. Мы это сделали внутри нашей ассоциации «Гэллап-Интернэшнл» в рамках инициативного исследования, посвящённого коронавирусу. Общий вывод — большинство землян встревожены, но при этом считают угрозу преувеличенной. Но главное последствие — большинство граждан передовых и не очень стран согласны на личные ограничения. Фактически примат личных свобод в головах передовой части населения не выдержал проверку страхом. Похоже, это конец либеральной философии.

Так почему такая паника, массовый социальный психоз? Если захотите разобраться поглубже, нужно почитать Зигмунда Фрейда. Он замечательно описывал панику — как состояние массы людей под гипнозом. Очень много про это писал наш великий российский учёный Владимир Михайлович Бехтерев. Он описывал массовидные явления и примеры того, как большая плохо структурированная толпа или большая социальная группа вдруг теряет критичность, начинает вести себя, как стадо животных. То, как мы себя ведём сегодня, показывает, что мы плохо структурированы. Нам не хватает информации. У нас очень мало доверия. Мы готовы убрать критичность и чему-то верить или категорически чему-то не верить. Плохо читаем статистику, игнорируем медицинские предписания, при этом слепо верим ярким «инсайдам» не очень ответственных политических и информационных деятелей. При этом мы сами себя загоняем в тюрьму!

О цифровой трансформации

С каждым годом запрос на технократов во власти увеличивается. Даже кандидатов на выборы в Госдуму теперь планируется определять при помощи нового кадрового конкурса «Лидеры России. Политика». Особенно явно мода на технократизацию проявилась в цифровой политике нового правительства. В ближайшее время во всех министерствах и ведомствах страны должны появиться специальные заместители, ответственные за создание единой цифровой инфраструктуры для федеральных органов исполнительной власти.

В начале февраля премьер-министр Михаил Мишустин поручил создать в министерствах и ведомствах должность заместителей руководителей, ответственных за цифровую трансформацию. Это должны быть люди, которые будут параллельно друг другу в разных органах власти выстраивать единую цифровую инфраструктуру и заниматься налаживанием цифровых процессов под каждое конкретное ведомство.

Озаботиться проблемой кадров в правительстве решили еще в 2018 году, добавив в национальную про-

грамму «Цифровая экономика» федеральный проект «Кадры для цифровой экономики». Примерно в это же время Центр стратегических разработок Алексея Кудрина подготовил доклад «Государство как платформа». Речь в нем шла о том, что цифровизация может значительно улучшить качество взаимодействий государства с гражданами.

Кроме того, в докладе были предложения ввести должность вице-премьера по цифровой трансформации госуправления и создать «единую архитектуру государственной цифровой платформы, преодолевающей разрозненность ведомственных систем и базирующейся на едином массиве данных».

Одним из следствий нового витка реформы может стать политическое усиление главы Минцифры Максута Шадаева. Фактически после поручения Мишустина в распоряжении министра появится 50 цифровых комиссаров в различных ведомствах.

Заместитель, ответственный за цифровую трансформацию, будет подчиняться сразу двум руководителям — Шадаеву и главе госоргана, в котором он будет отвечать за переход. Такое «двоевластие» может вызвать определенные трения в бюрократической среде. — Такой матричной схемы управления у нас в правительстве еще не было, в основном она применяется в больших корпорациях. И я не знаю, как к этой схеме, например, отнесутся руководители силовых ведомств, — говорит директор некоммерческой организации «Общество защиты интернета» Михаил Климарев.

Требования к новым чиновникам разработало Минцифры, разделив отбор на три этапа: тестирование управленческого потенциала, оценка навыков внедрения цифровых технологий и управления IT-проектами, а также презентация программы кандидата. Испытания будут состоять из онлайн-теста, который поможет выявить у кандидата «способности к анализу информации» и «готовность к изменению и развитию», а также двухчасового интервью. Третий этап — презентация своей программы на ближайшие три года главе Минцифры.

Качества, которые будут оценивать на конкурсе «Лидеры России. Политика», не так уж и сильно отличаются от требований, предъявленных «цифровым замам»: служение обществу, социальный интеллект, ответственность за результат, организаторские способности, системное мышление, публичные коммуникации. Стоит отметить, что такой путь в политику все же менее экзотичный, чем через прыжки со скал, которые практиковал для кандидатов в губернаторы замглавы АП Сергей Кириенко еще пару лет назад.

Зато образ чиновника, который рисуют новые руководящие практики, очень непохож на привычных России госслужащих, которые чаще говорят

глупости не впад, чем запоминаются рабочими инициативами. «Вертикаль власти очень застывшая, и идут туда либо по кумовству, что влияет на качество новых кадров, либо люди, которые не смогли попасть в ту или иную сферу, которая приносит большую оплату труда, чем в административной системе. Даже если придет человек другого уклада, чтобы продвигать IT, система и потребители будут сопротивляться изменениям, так как не готовы к ним», — объясняет полит-технолог Владимир Перевозчиков.

Как рассказывает директор «Информационной культуры» Иван Бегтин, с 2018 года госслужащих обучают IT по трем направлениям:

Подготовкой директоров по цифровым технологиям (CDO — Chief Digital Officer) занимается Университет 2035. В программе делается сильный акцент на регионы, по ней готовят специалистов по управлению данными в субъектах федерации.

Подготовкой директоров по цифровым технологиям для госкорпораций и корпораций занимается Сколковский университет управления.

Подготовкой руководителей цифровой трансформации (CDTO — Chief Digital Transformation Office) занимается Центр подготовки руководителей цифровой трансформации в РАНХиГС.

В прошлом году слушателями CDTO были представители высшего руководства федеральных ведомств, среди которых министерства здравоохранения, экономического развития, цифрового развития, финансов, Россельхознадзор и другие. За время программы госслужащим предлагали изучить основы машинного обучения, big data и искусственного интеллекта. В центре также отмечают, что в их задачи входит дать слушателям помимо теории максимальное количество практических инструментов.

Это хороший способ повышения квалификации, но для системного понимания цифровой сферы такого обучения недостаточно — курсы слишком короткие, считает председатель совета директоров компании WikiVote! Василий Буров.

— Могут быть и исключения, когда человек с этими знаниями сможет успешно развивать цифровую сферу. Например, если у него до этого уже был IT-бэкграунд, — уточняет эксперт.

Мир, который базируется на информационных технологиях, уже давно наступил и существует вне зависимости от того, хотим мы этого или нет.

— Сейчас любая деятельность, связанная с информацией, без IT практически немыслима, — говорит Василий Буров. — Возникает смешная ситуация: этой деятельностью занимаются люди, которые ничего в ней не понимают, но при этом у них есть продвинутые информационные системы.

Нынешняя ситуация, по идее, должна многое изменить и прибавить в федеральные органы новых лиц. Документ ставит для кандидатов высокую планку. Загвоздка

в том, где найти сотрудников с необходимыми компетенциями.

— Люди, которые всерьез разбираются в информационных технологиях, часто работают в бизнесе, и я не думаю, что многие из них захотят начать работать на государство.

Маловероятно, что государство в этой деятельности предложит более высокие зарплаты, к тому же достаточно свободолюбивые люди из IT вряд ли будут готовы жить по меркам госаппарата, — замечает Буров.

— Депутатов, которые хоть что-то понимают в IT, — полторы копейки, если не меньше. Министров до недавних пор тоже были единицы.

До Мишустина премьер-министры вообще были оторваны от цифровых технологий, — сокрушается Бегтин. Однако сама бюрократическая система часто враждебно настроена по отношению к IT и может отторгнуть новых цифровых чиновников. Показательный пример бюрократического сопротивления — цифровизация правительства Москвы. Экспериментировать в этом поле мэрия начала еще в 2010 году, чтобы предоставить москвичам более удобные государственные сервисы и повысить эффективность управления.

Еще одна проблема состоит в разрозненности различных государственных информационных систем.

— Все они разрабатывались независимо друг от друга в разных органах власти, в разных регионах. Платформизация, в свою очередь, подразумевает высокую степень внутренней интеграции систем. Это непростой путь, который еще только предстоит пройти, — говорит Ксения Ткачева.

Цифровые заместители должны обладать значительными ресурсами, которые позволяли бы блокировать работу министерств по созданию собственных IT-систем, удобных только для них, говорит источник, близкий к правительству.

— Чтобы осуществить технологический переход, необходимы люди, которые находятся в одной коммуникационной и понятийной повестке. А федеральные органы власти должны иметь возможность обмениваться между собой данными, — заключает он.

О климате

Изменение климата — это сюжет номер один в глобальной повестке последнего года. 2010-е стали самым теплым десятилетием в истории наблюдений, а 8 из 10 прошедших лет вошли в десятку рекордсменов по этому показателю. В мае Великобритания стала первым членом ООН, объявившим чрезвычайное положение в области климата. К настоящему моменту это сделали уже 25 государств и более 1300 субнациональных администраций, охватывающих население в размере 850 миллионов человек. Само выражение *climate emergency* названо словом года по версии Оксфордского словаря.

Генеральный секретарь ООН на саммите в Давосе одобряет изменение климата всаднику апокалипсиса. Европейский союз анонсирует «Новый зеленый курс» как краеугольный камень своей идеологии и политики на десятилетия вперед. Ларри Финк, глава крупнейшей в мире инвестиционной компании BlackRock, в своем ежегодном обращении к корпоративному миру предрекает кардинальное озеленение мировых финансов как реакцию на климатический вызов. Даже американский президент Дональд Трамп, ранее главный климатический скептик планеты, вынужден признать остроту и важность климатической проблемы.

Рост внимания к изменению климата в последний год вызван тремя обстоятельствами. Во первых, растет осведомленность людей по всему миру. Усложнение и детализация климатических моделей вкупе с увеличением количества доступных данных обеспечивают новые доказательства антропогенных причин изменения климата. Повышение среднемировой температуры продолжается — она уже почти на градус выше доиндустриальных значений. Масштабы потерь от стихийных бедствий, усиления нехватки воды, подъема уровня Мирового океана и изменения условий ведения сельского хозяйства нарастают с каждым годом.

Прогнозы ученых также все более пессимистичны. В октябре 2018-го опубликован специальный доклад Межправительственной группы экспертов ООН, показывающий, что повышение температуры на 2 градуса по сравнению с доиндустриальным периодом приведет к катастрофическим последствиям в ряде регионов. Удержание роста температуры на уровне 1,5 градуса позволило бы многие из этих последствий предотвратить, но 1,5 градуса будут достигнуты, вероятно, уже к 2030 году.

«Чтобы спасти планету, нам осталось 11 лет», — звучат призывы нового популярного движения Extinction Rebellion, возникшего полтора года назад в Великобритании и получившего поддержку не только многих селебрити, но и сотен ученых. Для широкой публики недавние беспрецедентные пожары в России, Бразилии и Австралии, во всех красках освещавшиеся в мировых СМИ, стали иллюстрацией возможного будущего.

Во вторых, очевидным становится, что предпринимаемых сегодня усилий по борьбе с климатическими изменениями недостаточно. Парижское соглашение по климату 2015 года слишком слабое. Ориентиры, которые поставили перед собой подписавшие его страны, в сумме способны ограничить рост глобальной температуры уровнем 3 градуса по сравнению с доиндустриальными значениями. Два крупнейших эмитента парниковых газов — Соединенные Штаты и Китай, — казалось бы, уже перешли в последние годы к декарбонизации, но в 2018 м выбросы вновь выросли в обоих государствах, а в КНР продолжили расти и в 2019-м, даже несмотря на замедление экономического роста.

Возобновляемая энергетика быстро развивается, но ее доля (если считать без крупных ГЭС и традиционного биотоплива) не превышает 5% от глобальных объемов первичного потребления энергии.

Несмотря на распространенное мнение о многочисленных субсидиях производителям ветровой и солнечной энергии, в реальности объемы поддержки зеленой энергетики в мире по-прежнему ниже объемов субсидирования ископаемого топлива, причем последние продолжают расти. Увы, человечество пока не знает, чем ответить на климатический кризис. А в только что вышедшем ежегодном докладе о рисках глобального развития Давосского форума в качестве главной угрозы мировой экономике впервые рассматриваются не изменения климата, а провал глобальных усилий по противодействию им.

В третьих, этот провал накладывается на ворох других проблем — усиление неравенства, растущая концентрация капитала, геополитическая напряженность, деградация окружающей среды и масштабные технологические сдвиги, по-разному влияющие на разные группы населения. В этих условиях борьба с изменением климата становится неотъемлемой частью новой левой повестки, призывающей к реформатированию капитализма и глобализации.

В рамках этой повестки на смену эффективности в качестве главного императива приходит справедливость; на смену целям увеличения темпов экономического роста — цели повышения его качества, на смену обеспечению свободы торговли и предпринимательства — решение социальных и экологических проблем. Не подлежит сомнению, что эта повестка останется доминирующей минимум в течение всех 2020-х.

Как следствие, климатический фактор будет играть все более значимую роль и в международных делах, а зеленая трансформация мировой экономики продолжится и ускорится. Вероятно, уже в ближайшие годы западные страны введут углеродные таможенные пошлины, ограничивая таким образом углеродоемкий импорт. Компании по всему миру будут вынуждены измерять и публиковать свой углеродный след, а также предпринимать меры по его снижению.

Банки, страховые компании и инвестиционные фонды в качестве общепринятой практики внедрят климатическое стресс-тестирование — проверку своих инвестиционных портфелей на предмет устойчивости перед лицом рисков как физических потерь от изменения климата, так и экономических потерь от перехода к низкоуглеродному развитию. Результатом всех этих мер станет беспрецедентное перераспределение финансовых потоков от относительно более грязных к относительно более чистым отраслям, странам и компаниям.

Россия находится в зоне риска: она является четвертым в мире эмитентом парниковых газов, имеет крайне углеродоемкую экономику и по-прежнему

рассматривает традиционную энергетику в качестве основы собственной экономической модели. Но климатическая повестка постепенно проникает и к нам: осведомленность населения растет, природные катаклизмы последних лет сеют тревогу, а в антропогенный характер изменения климата верит уже две трети населения — и это в еще недавно самой «климатически скептической» стране мира. Постепенно меняется настрой и среди политической элиты. От отрицания климатической проблемы и глобальной зеленой трансформации уже произошел переход к серьезной обеспокоенности ими.

Пока это, впрочем, не нашло отражения в активизации государственной политики, а главное — в ее идейном оформлении. Изменения климата ставят перед Россией важнейшие вопросы: как адаптировать население и экономику к меняющимся климатическим условиям (таянию вечной мерзлоты, учащающимся стихийным бедствиям, температурным аномалиям и др.)? Как сокращать выбросы парниковых газов без ущерба для экономического роста? И, что еще важнее, как вообще будет выглядеть специализация России в низкоуглеродном мире? Каковы наши новые конкурентные преимущества, которые должны прийти на смену богатству ископаемым топливом, востребованному в уходящую эпоху? На то, чтобы дать ответ на все эти вопросы, у России гораздо меньше, чем 11 лет. (Игорь Макаров, руководитель департамента мировой экономики, заведующий лабораторией экономики изменения климата НИУ ВШЭ)

Второй белорусский фронт

На состоявшихся 8 февраля в Сочи переговорах между президентом РФ Владимиром Путиным и главой Белоруссии Александром Лукашенко были достигнуты договоренности по поставкам в республику российских энергоносителей. Подтверждено, что цены и объемы экспорта нефти впредь будут регулироваться рынком. Эта история повторяется последние 13 лет, напоминал Александр Лукашенко перед поездкой в Сочи. Он убежден, Россия «кинула» Белоруссию с ценами на газ, а за нефть вынуждает платить больше, чем она обходится полякам и немцам. Поэтому перед правительством в январе поставил задачу — найти альтернативных поставщиков.



На переговорах по газу с российским президентом Александр Лукашенко все же согласился на российские цены за голубое топливо

На переговорах с российским президентом белорусский лидер от столь категоричных оценок воздержался. В итоге согласился покупать нефть в РФ по мировым ценам. Цену же на газ и объемы поставок для республики в текущем году стороны договорились сохранить на уровне 2019 года. Впрочем, это не значит, что конфликт исчерпан. Впереди новые переговоры, на которых Минск может быть поставлен перед фактом, что бюджет республики в среднесрочной перспективе может остаться без доходов от транзита российского газа в Европу.

Очевидно, что после перехода на мировые цены в расчетах за нефть уже в этом году доходы республиканского бюджета существенно снизятся. Ведь на спекуляциях черным золотом зарабатывать не получится. Положение и вовсе может стать отчаянным, если с 2021 года более чем в три раза сократятся объемы экспорта газа по трубопроводу «Ямал — Европа», а с 2023 года транзит прекратится совсем. Какие компенсации попытается выторговать Минск, пока непонятно, но практически не остается сомнений в том, что тема транзита газа скоро до предела накалит отношения Москвы и Минска.

Об энергетической политэкономии

Политическая экономия переживает экзистенциальный кризис. Это стало ясно давно. Настолько давно, что некоторые отчаявшиеся представители классических экономических школ начали выдавливать из себя соответствующие признания: «Ждем нового Фридмана или Кейнса» (французский экономист Ален Минк), «старый инструментарий не работает» (президент Сбербанка Герман Греф), «неолиберализм умер» (американский экономист Джозеф Стиглиц) и т. д.

Те, кто руководит мировой экономикой, еще никогда не переживали опыт «количественного смягчения». И если сначала еще раздавались голоса, что вскоре эти программы будут свернуты и произведенная из воздуха ликвидность будет извлечена с рынков, то теперь понятно, что свернуты они не будут. Никогда не читали эти руководители в своих учебниках экономики и главу «Отрицательные ставки». А жить и работать многим приходится именно при них.

Одним словом, *мировая экономика находится в руках людей, которые не понимают, что происходит*. Это не внушает особого оптимизма. Но и выхода нет. Новую теорию или новую версию старых теорий никто не подготовил. Еще недавно «новая денежная теория» вызвала бы только смех. Но сегодня полное безрыбье и ее активно обсуждают; не исключено, что вскоре от отчаяния даже начнут применять на практике.

Однако научный подход должен состоять не в том, чтобы мы бросились в объятия новой теории. Мы должны для начала определить, что же не так с *нашими старыми добрыми кейнсианством, либерализмом и марксизмом*.

Французский эксперт в области энергетики Жан-Марк Жанковиси предлагает вернуться в 1827 год. Тогда французский экономист, инженер и математик барон Шарль Дюпен выпустил книгу «Производительные и торговые силы Франции». Большой знаток Великобритании, он сравнил французскую и британскую экономику. Но не только по стоимости товаров, которые они производят, а и по объему работы, которую могут производить их экономические агенты. То есть Дюпен толковал выражение «производительные силы» в прямом, физическом значении.

В итоге у него получилось, что число «живых участников» — мужчин, женщин (которых Дюпен учитывал как половину мужчины) и лошадей (одна лошадь равна семи мужчинам) в промышленности и торговле Франции и Англии примерно одинаково — 6,3 млн и 7,2 млн соответственно. Но если учесть работу, которую выполняют «неодушевленные» ветряные и водяные мельницы, корабли и паровые машины, то преимущество Англии несомненно — 28,1 млн «мужских» сил против 11,5 млн у французов.

Такого превосходства англичане добились в основном за счет преимущества в мощности британского флота и паровых машин. Проведя аналогичные расчеты и для сельского хозяйства обеих стран, барон Дюпен пришел к важнейшему выводу: «Эти расчеты доказывают, что производство сельскохозяйственной продукции пропорционально производительным силам, примененным в сельском хозяйстве, а совокупность промышленных сил аналогично пропорционально совокупности произведенной продукции и стоимости, созданной в торговле».

Пойди политическая экономия путем барона Дюпена, от взгляда экономистов не ускользнуло бы, что производительные силы общества резко возрастают в основном из-за использования все более и более мощных машин, то есть фактически конверторов все большего количества энергии, которая заключена в природе. Но судьба распорядилась иначе. И Жан-Марк Жанковиси видит в этом пагубное влияние другого своего соотечественника — Жана-Батиста Сэя. В своем «Полном курсе политической экономии» (1828) Сэй писал: «Природные ресурсы неисчерпаемы, так как не будь этого, мы не получали бы их бесплатно. Поскольку их нельзя ни умножить, ни исчерпать, они не составляют объект экономических наук».

Между тем, если немного утрировать, то в эргономистах нам интересны исключительно электроны,

вернее их способность перейти с одной энергетической орбиты на другую с выделением энергии, а в остальных произведенных товарах — атомы целиком и то, как они организованы в молекулах и кристаллических решетках.

Но в 20-х годах XIX века Жан-Батист Сэй и другие отцы-основатели политической экономии не были знакомы с моделью атома Нильса Бора и не видели никакой разницы между поленом, предназначенным для сгорания в печи, и поленом как заготовкой для деревянной куклы. В результате Шарль Дюпен основательно забыт, а Жан-Батист Сэй стал классиком политической экономии, одним из основателей либерализма, выделив всего три фактора производства — земля, труд и капитал. Собственно, и позже никто из представителей классических экономических школ не уделял особого внимания ни природным ресурсам в их натуральном выражении, ни, тем более, энергии.

Однако Жан-Марк Жанковиси обнаружил то же самое, что и барон Дюпен: количество первичной энергии, затраченное мировой экономикой, строго пропорционально «совокупности произведенной продукции и стоимости, созданной в торговле» (см. график 1). Сейчас это называется валовой внутренний продукт (ВВП).



Тут можно сделать небольшое отступление и вспомнить, что же такое энергия. Энергия — это, в самом общем виде, мера изменения состояния Вселенной. Что бы вы ни делали, вам придется израсходовать энергию. И изменится мир вокруг вас пропорционально затраченной энергии.

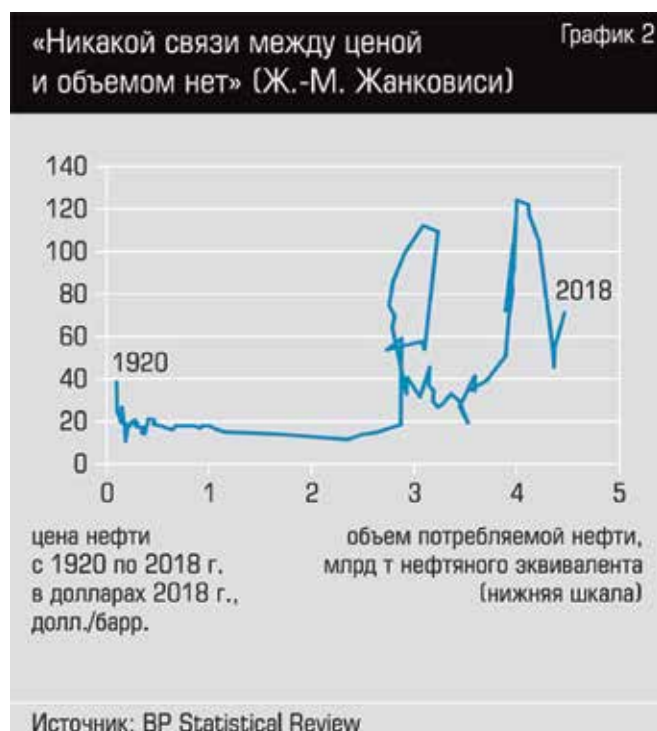
Поэтому для Жанковиси подлинная история экономики человечества — это история роста мощности конверторов энергии. Сначала в распоряжении человека был только он сам. А возможности его как конвертора химической энергии пищи в самую нужную — механическую — смехотворны.

Мощность, которую человек способен развивать с помощью ног, — примерно сто ватт (как у электрической лампочки). Совершив двести раз в год горную прогулку и подняв с собой на высоту два километра свой вес и груз в десять килограммов, человек совершит работу в сто киловатт-часов. Еще меньше мощность наших рук — десять ватт. За рабочий день землекоп поднимает шесть кубометров земли на один метр, выполняя тем самым работу в жалкие 0,05 киловатт-часа. За двести рабочих дней количество выполненной работы составит десять киловатт-часов. Точно такую же механическую работу может совершить двигатель внутреннего сгорания, конвертируя энергию всего трех литров бензина. Таким образом, трактор мощностью шестьдесят киловатт заменяет шестьсот пар ног, экскаватор мощностью сто киловатт — десять тысяч пар рук, грузовик с мотором мощностью четыреста киловатт — это замена четырех тысяч пар ног, а чтобы заменить прокатный стан мощностью сто мегаватт, нужно собрать десять миллионов людей с молотками.

Вообще, страна тем мощнее экономически, чем она мощнее физически. Чем больше машин вы сумели задействовать для выполнения своих задач, тем выше ваша способность изменять мир в желательном для вас направлении. И это сообщество машин является не чем иным, как экзоскелетом человечества.

Настоящая экономическая история человечества, по Жанковиси, выглядит следующим образом. На протяжении тысячелетий график «мирового ВВП» представлял собой прямую линию, почти параллельную оси абсцисс. ВВП, конечно, рос, но в рамках медленного увеличения населения Земли и, соответственно, роста мощности, которую были способны развить люди вместе со своими домашними животными. И позже, даже вместе с мощностью домашних животных и парусных кораблей, человечество не смогло развиваться сколько-нибудь динамично.

Но человек совершил эпохальное открытие, которое изменило ход человеческой истории. И это было не открытие трудовой теории стоимости. Инженеры создали механизмы, которые способны работать с другими энергоносителями. Сначала с углем, потом с нефтью, потом с газом. Человек освоил электрическую энергию и для ее получения научился строить огромные гидростанции и АЭС. Человеческие машины используют энергию приливов, ветра, солнца. Все эти виды энергии не вытесняли друг друга, а добавлялись в общую энергетическую копилку (см. график 2).



Экспоненциальный рост количества конвертируемой энергии (и только он) позволил создать то материальное изобилие, которое мы видим. И не только материальное. Потому что социальная история мира тоже зависит от его энергетической истории.

До середины XIX века две трети населения европейских стран занималось сельским хозяйством. И пропорция эта была не случайной. Количество энергии (химической), которое сельские жители были в состоянии добыть (вырастить), могло обеспечить их самих и горожан, если число последних не превышало половины крестьянского населения. Любое другое соотношение немедленно привело бы к голоду. Но появление и распространение машин повысило производительность труда на селе. И вызвало отток освободившихся рабочих рук в города, где происходила промышленная революция. Возможность конвертировать в механическую энергию химическую энергию угля позволила создать огромное количество машин, и мощность, находящаяся в распоряжении человечества, начала увеличиваться по экспоненте. Энергии было так много, что даже при том, что мощность машин постоянно росла, она отставала от роста объема доступной энергии. Что вызывало постоянную потребность в новой рабочей силе в промышленности, то есть потребность во все новых и новых операторах машин. Этот процесс ускорился после создания машин, которые могли задействовать энергию нефти и электричества. И превышение роста объема доступной энергии над суммарной энергоемкостью машин продолжалось до конца 1970-х. Потом рост потребления энергии продол-

жился, но его темпы уже стали уступать темпам роста мощности машин. В результате и на заводах образовался избыток рабочей силы. Часть этой рабочей силы нашла себе применение в секторе услуг.

Рост могущества человека проявился не только в производстве материальных благ и в урбанизации. И резко выросшая продолжительность жизни, и самые разные демократические права и свободы — это прямые следствия способности человека ставить себе на службу все большие объемы энергии. Свобода, равенство и братство реально могут существовать, лишь пока машины выполняют за нас тяжелую работу.

Поэтому корреляция потребленной человечеством энергии и объема созданных им материальных и нематериальных благ не удивительна. Энергия и есть мера такого объема.

Другое дело, что классическая экономика отводит энергоносителям второстепенную роль, строго соответствующую их незначительной доле в структуре ВВП. Доля затрат на энергоносители не превышает в ней восьми процентов. А значит, и их влияние на создание общественного богатства соответствующее.

У сторонников экономической классики всегда наготове сильный аргумент: «Первичен спрос на энергоносители. Сколько нужно энергии экономике, столько она ее и потребляет». Отсюда, мол, и такая высокая корреляция. У Жанковиси есть принципиальное возражение против такого подхода. Затраты на продовольствие составляют в ВВП развитых стран не более двух процентов. Но исчезновение этих двух процентов приведет к тому, что остальные 98% исчезнут полностью и практически мгновенно. Значит, и в рассуждениях об энергоносителях в структуре ВВП есть логический сбой. Однако экономисты глухи к таким аргументам.

Французский экономист Гаэль Жиро, разделяющий подходы Жанковиси, в 2014 году попытался перевести его аргументы на понятный экономистам язык. Проанализировав данные по пятидесяти странам за последние сорок лет, Жиро пришел к выводу: «Первичная энергия — главный фактор роста ВВП. Эта зависимость колеблется в районе 0,6–0,7. Это значит, что при прочих равных условиях увеличение (уменьшение) потребления первичной энергии на душу населения на десять процентов ведет к росту (падению) ВВП на душу населения на шесть — семь процентов. Если ограничить исследование только странами ОЭСР, то этот коэффициент несколько ниже, но все равно не меньше 0,6. В противоположность энергии мы нашли, что долгосрочная зависимость ВВП от накопления капитала ниже 0,2. Что приводит к выводу: капитал, по крайней мере в последние десятилетия, играл меньшую роль (в росте ВВП), чем энергия».

**Актуальные метафоризмы (по Карелу Чапеку
1932÷1937 гг.). Люди, общество, окружающая
среда**

Люди: Это просто мученье! Приходится поминутно отгонять мальчишек, чтобы они не дразнили мою собаку. А мне приходится прогонять собак, чтобы они не кидались на мою кошку.

А мне приходится стрелять по кошкам в саду, чтобы они не охотились на птичек.

А мне приходится стрелять птиц, чтобы они не клевали моих черешен.

Адресная книга: Вздор! Такая тоненькая тетрадошка... И тоже: "Книга"!

Петух: Еще не светает. Я еще не давал сигнала.

Дерево: Видеть далеко кругом — для этого надо высоко вырасти.

Воробей: Велика птица — соловей! Нас, воробьев, гораздо больше!

Пень: Почему не говорят: "Досточтимый пень?"

Лиса: Все живое делится на три разряда: на врагов, конкurentов и добычу.

Ястреб: Что такое жестокость? Борьба за жизнь, господа, всегда законна.

Разделение труда: Я буду смотреть, как вы работаете, а вы будете смотреть, как я ем.

Властитель: Я вами управляю, чтобы вы мне платили, а вы мне платите, чтобы я вам приказывал.

Однодневка: Столетняя черепаха! Как можно быть такой чудовищно отсталой?

Воробей: Чтобы жаворонок был прав? Исключено. Правда — одна, и она — воробыная.

Карп: Ни одно живое существо не может жить, погруженное в воздух.

Булыжник: Я внутренне работал над собой именно для того, чтобы стать булыжником.

Осел: Фу! Такой серьезный момент, а черешня цветет себе без всякого стеснения!

Осенний лист: Требование времени? Знаем: шелестеть на ветру.

Тленье: И я тоже иду в ногу с временем

Сосед: Этот Архимед — трус и предатель! К нам в город

ломится враг, а он чертит себе свои чертежи!

Катон Старший¹: Что? Голод? Нищета? Неурожай? Пустяки. Прежде всего необходимо разрушить Карфаген!

Нерон²: Преследования христиан — выдумка. Мы только опровергаем их взгляды.

Атилла³: Мы тоже пришли спасти мир.

Диктатор: Я добился единомыслия. Все должны повиноваться.

Тиран: Эй вы, отребье! Я сделал из вас славную нацию!

После Варфоломеевской ночи: Уф!.. Мы восстановили в народе духовное единство.

Кониаш⁴: Образование? Ах, господа, сколько я всего этого перечел.

Конкистадор⁵: Ты знаешь, милосердный боже, что бесчеловечность мне чужда. Но ведь ацтек⁶ — не человек.

Над павшим врагом: Это он начал. Не вздумай он защищаться, все было бы спокойно.

Сообщение: Жители истреблены и город сожжен с соблюдением полного порядка и дисциплины.

Критик: Зачем мне знать, каков мир? Довольно того, что я знаю, каким он должен быть.

Критическая жаба: По-моему, змее не следовало бы быть такой длинной.

Муха на оконном стекле: Теперь я знаю, где граница бытия.

Зеркало: Человек — только мое представление.

¹ Катон Старший Марк Порций (234–149 гг. до н. э.) — крупный политический деятель и писатель древнего Рима. Упорно добивался разрушения Карфагена — торгового соперника Рима.

² Нерон — римский император, правление которого (54–68) ознаменовалось жестокими преследованиями христиан.

³ Атилла (ум. в 453 г.) — вождь племени гуннов, ведшего в V в. н. э. опустошительные войны и захватившего много земель на территории Европы.

⁴ Кониаш Антонин (1691–1760) — иезуит, активный деятель контрреформации в Чехии; в 1729 году Кониаш составил список "еретической" литературы, по которому более 30 тысяч чешских книг было предано сожжению.

⁵ Конкистадоры — испанские завоеватели, захватившие в конце XV и в XVI вв. огромные территории в Южной и Центральной Америке, истребив при этом значительную часть туземного населения, в том числе один из крупных индийских народов Мексики — ацтеков.

⁶ Ацтеки, или астеки — индейский народ в центральной Мексике

Однодневка: История? Это мне ничего не говорит.

Паук в паутине: Ждать — тоже не легкая работа.

Головастик и половодье: Ура! Мы, головастики, зато пили весь мир.

Дерево в городе: Я — впереди. Я первое из всех пожел- тело и потеряло листву.

Овца: Пускай зарежут, но зачем ведут!

Принципиальное расхождение: Шофер: Этот пеше- ход мечется, как овца.

Пешеход: Этот дурень-шофер гонит, как сумасшед- ший.

Кроликовод: Не понимаю, как можно быть голубеводом.

Пессимист: По-вашему, придет весна? Милый, вы оп- тимист.

Политическая экономия: Дегтярник: Я знаю, отчего появилась нищета. Оттого, что не расходится коло- мазь. Известник: Да нет. Оттого что известь упала в цене.

Капитализм: Я делаю это не ради себя, а ради денег.

Завет: Чего не можешь сделать сам, прикажи дру- гому.

Любовь к народу: Только наша партия чтит наш вели- кий, героический народ. Все остальные — предатели, трусы, продажные души, негодяи.

Государственный деятель: Польза государства? Это — либо то, что полезно нам, либо то, что вредно остальным.

Демагог: Глупая чернь думает, что я ее веду, а на самом деле она ведет меня.

Милитарист: Война — чисто внутреннее дело. Цель войны в том, чтобы народ осознал свою силу.

Тиран и философы: Я буду действовать, а вы будете по- дыскивать основания для моих действий.

Стадный дух: Мы держимся дружно? О нет. Мы дер- жимся просто своим стадом.

Сорная трава: И это, по-вашему, большое дерево? Да вы посмотрите: у него ветка сухая.

Трещина в стене: Чем я хотела бы быть? Небывало огромной трещиной.

В горах рассыпался камень: Ну вот. Ну вот. Уж эти мне горы! Доигрались...

Сообщение персов из Фермопил:⁷ Вчера на нашу сторону перешел бесстрашный греческий герой Эфи- альт⁸.

Война за колонию: Вот погодите, поганные дикари: скоро станете нашими счастливыми верноподдан- ными.

Дипломатия: Мы, конечно, осуждаем насилие, но го- товы поставлять оружие.

Нейтрал: Нейтралитет? Это значит зарабатывать на войне, которую ведут другие.

Империалист: Равновесие сил — это когда на нашей стороне превосходство.

Колонизация: А теперь отечески позаботимся о тех, кто уцелел.

Марс: Запрет агрессивной войны? Только при условии, что останутся оборонительные войны и карательные экспедиции!

Газеты: Правда — только то, что в интересах нашей партии.

Аноним: У каждого есть чувство собственного достоин- ства. Под своим именем я бы этого никогда не написал.

В редакции: Тут вот — сообщение, что найдено сред- ство против бубонной чумы. Вы не знаете, наша партия за чуму или против?

Дипломатия: Слава богу, договор заключен. Теперь давайте думать, как мы будем его нарушать.

Международное право: Чего нельзя совершить на законном основании, можно совершить ради прести- жа.

Вождь: Благодаря усиленной пропаганде бог решил, чтобы я вел свой народ.

Дипломат: Международное право? Это всегда то, что нарушают другие.

Правитель: Я дал ослепительно яркий пример любви

⁷ Фермопилы. — горный проход из Фермопил (Сев. Греция) в Ло- криду (Средняя Греция), где в 480 году до н. э. греки, оборонялись против армии персидского царя Ксеркса, пока не были преданы военачальником Эфиальтом.

⁸ Эфиальт (предатель) — грек-предатель, изменнически указавший персам обход в Фермопильском ущелье.

к родине: заставил триста тысяч человек принести себя ей в жертву.

Международное соглашение: Мы, кролики, заключили договор с курами о том, что не будем пожирать друг друга. Посмотрим, что скажет на это ястреб.

Циклон: Пятьдесят городов сметено с лица земли. Какой потрясающий успех!

Коза: Зажить бы с волками по-хорошему и было бы в мире спокойствие.

Куница в курятнике: Раз это яйцо так дерзко меня провоцировало!

Валун: У этого барана был скверный умысел. Он хотел от меня спрятаться.

Стадо овец: Этот волк скорее нажрется, если мы не будем ему сопротивляться.

Мышь: Эге, кошка поймала воробья! Теперь нам, мышам, нечего бояться.

О нефтепроводе «Дружба»

Апелляционный суд Москвы оставил в силе победу «Транснефти» в деле против «Независимой газеты» и автора статьи о загрязнении нефтепровода «Дружба» хлорорганикой Олега Бондаренко. При этом эксперты и участники судебного процесса заявляют, что госмонополисту победа в суде нужна была вовсе не для того, чтобы защитить свою репутацию. Предполагается, что компания таким образом создала прецедент, при котором в судебном решении зафиксировано, что не «Транснефть» виновата в порче сырья. Между тем появляются всё новые подробности с инцидентом на «Дружбе». С учётом этих подробностей решение Фемиды кажется ещё более неоднозначным.

Тем не менее, даже президент России В. В. Путин отметил, что апрельская катастрофа на трубопроводе «Дружба» привела к значительному ущербу репутации России. Какой из неё надёжный поставщик энергоресурсов, если вместо нефти в любой момент труба госмонополиста выплюнет нечто несуразное и опасное?

До инцидента с этим нефтепроводом российская система поставок чёрного золота считалась одной из самых надёжных. Поэтому то, что произошло с «Дружкой», вызвало такой резонанс. Нефтепровод «Дружба» работал исправно 55 лет — ему нипочём были Пражская весна и развал СССР. Как мир ни тряс, а нефть должна быть у клиента точно в срок и с гарантированным качеством. Так кто же виноват? И нет ли здесь обыденного в российских реалиях диагноза — «зажрались»?

По мнению ответчиков, возможность сброса отходов в

трубу «Дружба» без участия сотрудников «Транснефти» сомнительна. Как отмечают юристы в ходе судебных прений, по условиям договора, опубликованного на сайте истца, «Транснефть» обязуется проверять качество сдаваемой нефти и не вправе принимать некачественную нефть.

То есть если это не на пункте приёма кто-то позволил изъять чистую нефть, а вместо украденной залить хлорорганику, значит, некие дельцы «врезались» в трубу и регулярно откачивали качественное сырьё, а взамен, чтобы никто не заметил, разбавляли её чем попало. Однако в прессе также неоднократно писали о том, что это невозможно сделать без участия сотрудников «Транснефти». Как подтверждение этих предположений — в связи с апрельским инцидентом на нефтепроводе «Дружба» подозреваемыми являются четверо сотрудников «Транснефти».

Постепенно вскрываются новые подробности произошедшего с «Дружкой». Недавно агентство Reuters опубликовало материал, из которого следует, что в качестве загрязнителя выступил по большей степени четырёххлористый углерод (ЧХУ). Его оборот должен строго контролироваться госорганами в рамках международных протоколов, так как это крайне ядовитое вещество. Данные «Рейтер» основаны на результатах трёх независимых анализов, включая один, проведённый по просьбе «Транснефти» и представленный на одном из совещаний в Минэнерго. Так что источник надёжный.

ЧХУ можно производить только по квотам, а его использование разрешено только для производства других продуктов, например, он нужен для изготовления циркония и титана, а после использования его необходимо утилизировать. В России производством ЧХУ занимаются заводы «Химпром» в Чувашии и «Галополимер» в Кировской области. Как заявили в «Химпроме», для них ЧХУ — это один из товаров, они специально его производят для металлургов. Поэтому утилизацией и передачей сырья третьим лицам для утилизации сами не занимаются.

«Полнота и способ утилизации на собственном или стороннем предприятии целиком на совести производителя (вещества), но исполнение предприятием этой обязанности слабо контролируется (надзорными органами). По формальным договорам на утилизацию его бесплатно отдают или ещё приплачивают — лишь бы вывезли», — рассказал один из технологов хлорорганического синтеза.

Многие хватают ЧХУ из жадности, а потом начинают придумывать разные способы, куда его пристроить, чтобы заработать.

При этом для загрязнения 3–6 млн баррелей нефти в «Дружке» понадобилось бы всего 200–300 тонн ЧХУ. Для понимания: квоты на производство «Химпрому» и «Галополимеру» были выданы в размере 3200 и 10 000 тонн соответственно.

Дело в том, что незначительное добавление ЧХУ к тяжёлым нефтепродуктам заметно снижает их вязкость, делает продукт однородным по структуре и позволяет заработать на увеличении массы конечной смеси. Но если переборщить с ЧХУ, то могут возникнуть проблемы. Например, если в мазуте до 5% ЧХУ, то он ещё горит, если же 20%, то уже не горит — и такая махинация будет замечена.

СМИ уже озвучили версию, что смесь хлорорганических отходов с ЧХУ была добавлена в мазут в избыточном количестве. Когда «алхимики» поняли, что испортили мазут, то решили продать его по сниженной цене для компаундирования нефти, которая потом и попала в систему нефтепроводов.

«Каждый узел приёма нефти — это серьёзный бизнес. При наличии договорённостей туда можно сдать всё, что чёрное и хоть немного пахнет нефтепродуктами», — рассказал трейдер, более 20 лет работающий на нефтяном рынке Самарской области.

Поставщики нефти не раз обращали внимание, что качество сырья, которое сдаётся на пунктах приёма чёрного золота, может отличаться в худшую сторону от того, что должны получать их клиенты на другом конце трубы. «Это в порядке вещей, но иногда качество нефти падает сильнее, чем оговорено в договоре. Естествен-

но, потребитель выставляет нам претензии, которые переложить на оператора не всегда возможно», — отметили в отрасли.

Весь этот бардак и избирательный контроль, сосредоточенный в одних руках, привели к тому, что большая часть нефти с хлорорганикой по-прежнему томится в хранилищах. Утилизировать её придумали вновь за счёт знакомого «Транснефти» компаундирования, то есть смешивания кондиционной и некондиционной нефти. С учётом объёмов грязное сырьё ещё долго будет попадать в чистую нефть. Это влечёт новые проблемы. Потребители теперь будут с осторожностью брать российскую токсичную нефть. Ведь примеси могут повредить дорогостоящее оборудование и ударить по энергетике стран.

Причина инцидента, похоже, в жадности обнаглевших от безнаказанности дельцов.

И снова изумительнейший и хладнокровный Карел Чапек:

Свинья и жемчуг: Брр! Чего это мне насыпали в помой? Что за свинство!

Мародер: Только без малодушной сентиментальности, господа! На войне, как на войне!





ТРЕНАЖЕР ГЛАВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАНЦИИ

Фирма АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ») разработала компьютерный тренажерный комплекс главной электрической схемы станции с ОРУ-220 кВ, ОРУ-110 кВ, КРУ-6 кВ.

Тренажер главной электрической схемы станции прошел приемо-сдаточные испытания.

Тренажер главной электрической схемы станции прошел государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Тренажер главной электрической схемы станции может применяться для обучения оперативного персонала электростанции выработке и распределению электрической энергии на электростанциях, в учебных центрах, высших и средних учебных заведениях.

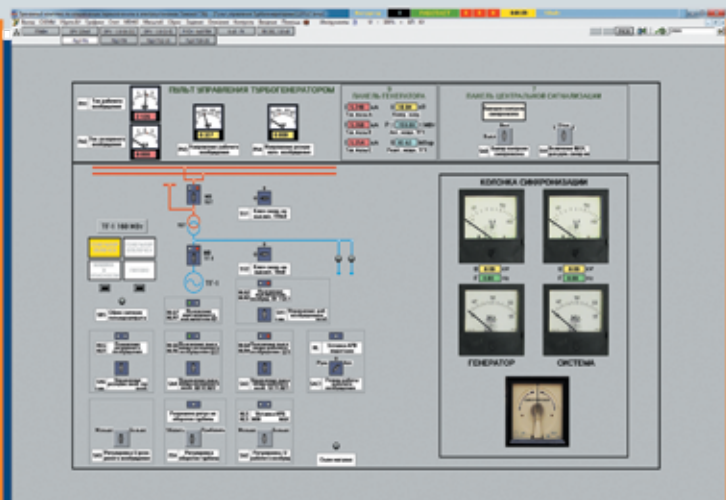
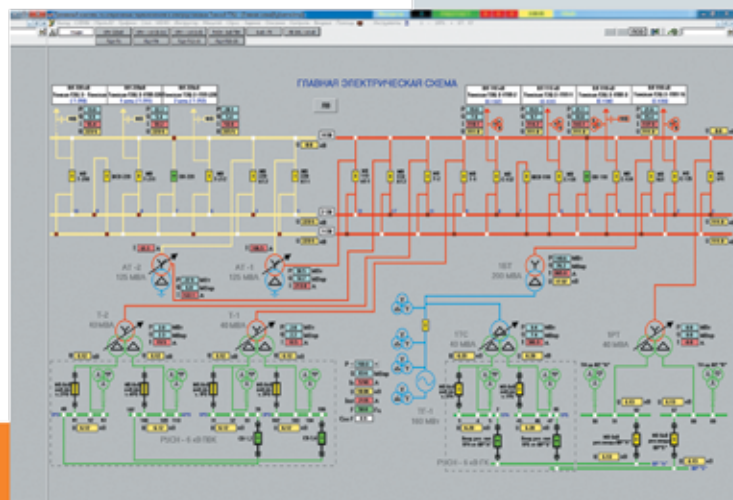


Состав главной электрической схемы станции:

- ОРУ-220 кВ
- ОРУ-110 кВ
- КРУ-6 кВ
- 2 автотрансформатора АТ1, АТ2
- генератор ТВВ-160-2ЕУЗ
- блочный трансформатор 110/18 кВ
- трансформатор собственных нужд 18/6 кВ
- 2 трансформатора 110/6 кВ
- 1 резервный трансформатор 110/6 кВ

Состав тренажера главной электрической схемы станции:

- активные динамические мнемосхемы 12 шт.
- всережимная физическая модель
- модель РЗА (релейных защит и автоматики), блокировок, сигнализаций, АВР
- комплект технических средств (плакаты, УВН)
- развитая конфигурация сети
- пульт инструктора
- комплект аварийных ситуаций
- контролирующая программа
- комплект автоматизированных сценариев тренировок с оценкой
- графопостроение
- сохранение режимов
- система поддержки оператора
- протоколы действий оператора, ошибок, сигнализации, защит, блокировок



АО «Тренажеры
электрических станций
и сетей»:

117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6
Тел. (495) 665-76-00, факс (495) 382-79-74
e-mail: magid@testenergo.ru, www.testenergo.ru

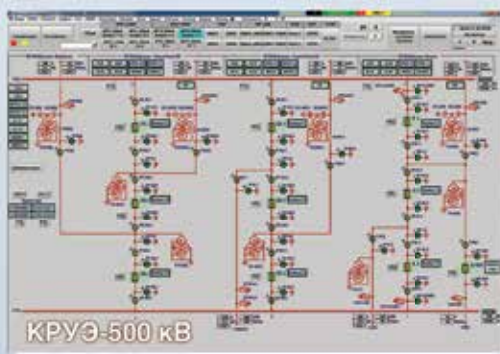


ТЭСТ

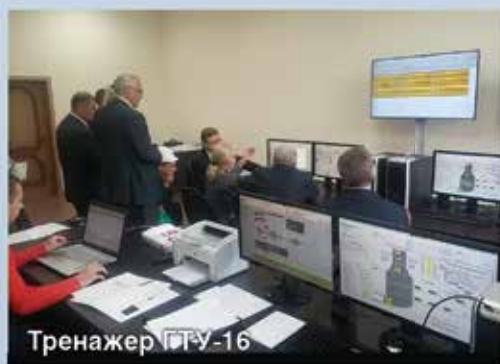
Тренажеры электрических станций и сетей



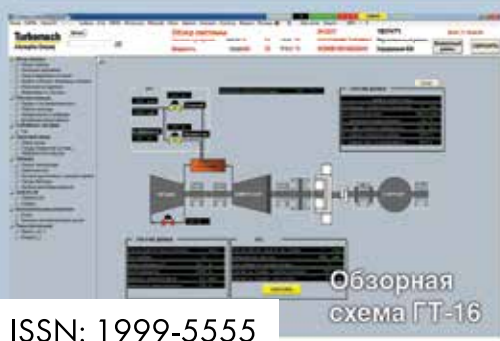
Тренажер Главной
электрической схемы станции



КРУЭ-500 кВ



Тренажер ГТУ-16



Обзорная
схема ГТ-16

Гарантии надежности персонала

- всережимность IT-тренажеров, полная адекватность модели объекта и рабочего места оператора энергообъекту-прототипу
- новейшие компьютерные методы обучения штатному и противоаварийному управлению
- информационное и дидактическое качество обучающих программ
- создание единого тренажерного комплекса для подготовки всего персонала энергопредприятия

Современные информационные технологии

- реализация любых энергообъектов и систем управления
- реализация современных дидактических Web-приложений
- значительное снижение стоимости при росте качества и функциональности
- гибкая интеграция в компьютерную сеть предприятия

Российский и международный опыт

- 40 лет на российском и зарубежных рынках, аккредитация при Правительстве РФ и ЮНЕСКО
- российская нормативная сертификация
- международная сертификация качества
- апробация на российских и международных выставках
- официальная эффективность внедрения на объектах электроэнергетики
- патентная защищенность программного продукта

Россия, 117587, г. Москва,
Варшавское шоссе, 125Ж
Тел. (495) 665-7600, (495) 382-7974
<http://www.testenergo.ru>,
e-mail: magid@testenergo.ru

ISSN: 1999-5555



9 771999 555772

Новые
модели
тренажеров!