

<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. Нагрузке 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

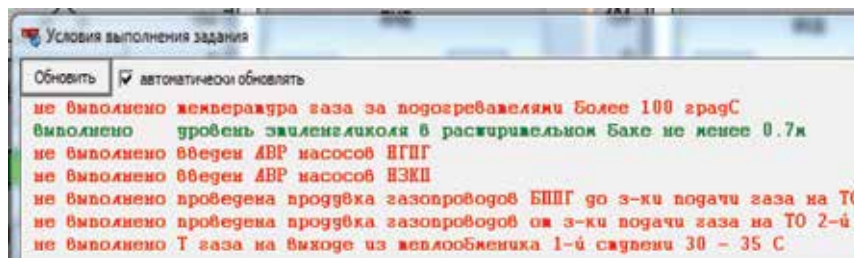


Рисунок 1. Фрагмент условий выполнения задания «Пуск газового хозяйства энергоблока ПГУ-410»: АВР — автоматическое включение резерва; НГПГ — насосы греющего контура подогрева газа; НЗКП — насосы замкнутого контура подогрева газа; БППГ — блочный пункт подготовки газа; ТО — теплообменники; Т — температура;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

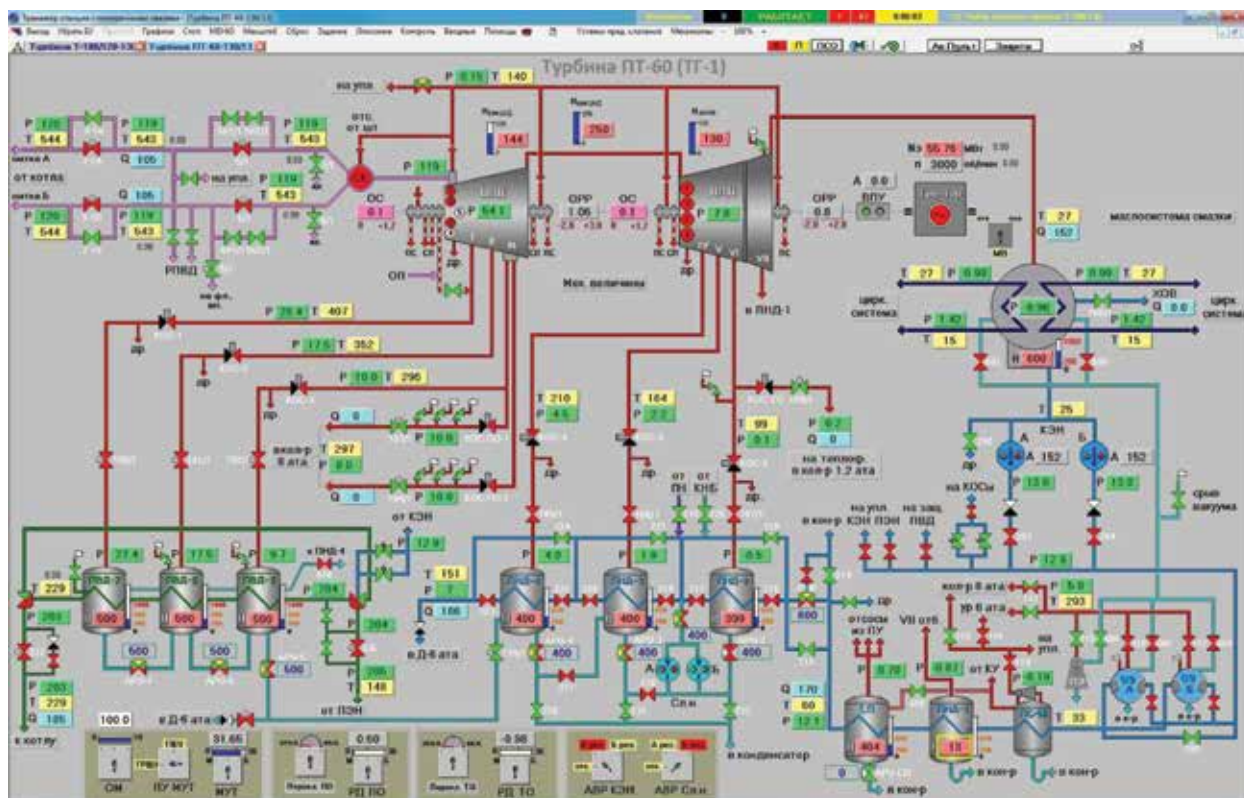


Рисунок 3. Мнемосхема «Турбина ПТ-60 (ТГ-1)»
Figure 3. Mimic diagram “Turbine PT-60 (TG-1)”

так как для этого потребуется 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).

