

УДК 621.31:004.9

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-9-19

## Применение современных информационных технологий в учебном процессе и научных исследованиях

Н.Д. Рогалев, А.А. Дудолин, А.В. Андриюшин, Э.К. Аракелян, С.В. Мезин

Приведены основные направления применения современных информационных технологий, используемых в учебном процессе и научных исследованиях, при повышении квалификации и переподготовке специалистов энергетики. В качестве примера взяты кафедры тепловых электрических станций и автоматизированных систем управления тепловыми процессами института тепловой и атомной энергетики НИУ «МЭИ».

Показано, что руководство университета уделяет много внимания централизованному обеспечению учебного процесса и научных исследований информационными технологиями нового поколения. Вместе с тем с целью совершенствования образовательного процесса с учетом особенностей выпускаемых специалистов на указанных кафедрах созданы и успешно функционируют современные учебные лаборатории и центры мирового уровня, предоставляющие необходимые условия для применения последних достижений в различных областях науки и техники. Проанализировано состояние дел по трем основным направлениям информационных технологий: современным программным комплексам, тренажерам нового поколения и интерактивным формам обучения.

*Ключевые слова:* информационные технологии, программные комплексы, тренажеры, интерактивные формы обучения, повышение квалификации, переподготовка.

*Для цитирования:* Рогалев Н.Д., Дудолин А.А., Андриюшин А.В., Аракелян Э.К., Мезин С.В. Применение современных информационных технологий в учебном процессе и научных исследованиях // Вестник МЭИ. 2017. № 6. С. 9—19. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-9-19.

## The Use of Modern Information Technologies in Education and for Scientific Research

N.D. Rogalev, A.A. Dudolin, A.V. Andryushin, E.K. Arakelyan, S.V. Mezin

The article describes the main trends of applying modern information technologies (ITs) in education for scientific research purposes, in advanced training and retraining of specialists in power engineering. The trends are illustrated on the examples of application of the above-mentioned ITs at the Departments of Thermal Power Plants and Automated Thermal Process Control Systems of the Thermal and Nuclear Power Engineering Institute within the National Research University "Moscow Power Engineering Institute".

It is shown that the University management pays much attention to the centralized provision of educational process and scientific research with the information technologies of new generation. Additionally in order to improve the educational process and taking into account the particular qualities of the specialists graduated, modern educational laboratories and centers of the world level have been created and successfully operating at these departments providing the necessary conditions for applying the latest achievements in various fields of science and technology. The state of affairs in these three main trends of applying ITs is analyzed: in modern software systems, new-generation training simulators and interactive forms of education.

*Key words:* information technologies, software systems, training simulators, interactive forms of education, advanced training, retraining.

*For citation:* Rogalev N.D., Dudolin A.A., Andryushin A.V., Arakelyan E.K., Mezin S.V. The Use of Modern Information Technologies in Education and for Scientific Research. MPEI Vestnik. 2017; 6:9—19. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-9-19.

### Введение

Национальный исследовательский университет «МЭИ» на сегодняшний день входит в число передовых университетов и научно-исследовательских центров России, где используются современные методы обучения, научные достижения и инновации в области энергетики. За годы реализации программы было закуплено самое современное научно-исследовательское оборудование, оснащены лаборатории и кафедры. Помимо многочисленных исследований, НИУ «МЭИ» осуществляет подготовку и переподготовку высококвал-

лифицированных специалистов для отрасли. Большое внимание уделяется централизованному обеспечению учебного процесса и научных исследований современными информационными технологиями. Вместе с тем с целью совершенствования образовательного процесса с учетом особенностей выпускаемых специалистов на кафедрах созданы современные учебные лаборатории и центры мирового уровня, обеспечивающие необходимые условия для применения последних достижений в области энергетики.

На примере кафедр тепловых электрических станций (ТЭС) и автоматизированных систем управления тепловыми процессами (АСУТП) Института тепловой

и атомной энергетики показаны некоторые из применяемых в учебном процессе в настоящее время или разрабатываемых для использования в ближайшем будущем передовых информационных технологий. С этой целью на кафедре ТЭС создан Центр подготовки и переподготовки в области общей энергетики и тепловых электростанций — центр тренажерной подготовки и 3D-проектирования. На сегодняшний день в нем собраны самые современные технологии, такие как интерактивное обучение специалистов энергокомпаний, тренажерная подготовка персонала электростанций, работающих на энергоблоках ТЭС, внедрение прогрессивных 3D-технологий. На кафедре АСУТП действует комплекс учебных лабораторий для подготовки специалистов по автоматизации технологических процессов в энергетике, в который интегрирован ряд современных программно-технических комплексов (ПТК) отечественного и зарубежного производства. На этой же кафедре функционирует Центр по подготовке и переподготовке персонала АСУТП, специалистов по информационной безопасности в энергетике и инструкторов тренажерных комплексов ТЭС. Указанные подразделения поднимают процесс обучения на качественно новый уровень, устанавливают более тесный контакт между слушателем, преподавателем и «инструментарием», используемым в процессе обучения.

### **Использование программных комплексов нового поколения**

Создание в вузах оснащенных расчетно-технических баз на основе современных программных комплексов позволяет внедрить их в учебный процесс и систему повышения квалификации специалистов, обеспечивая тем самым энергетические предприятия подготовленными высококвалифицированными кадрами.

Рассмотрим основные программные продукты, используемые на кафедрах ТЭС и АСУТП в учебном процессе и научных исследованиях.

Стратегический курс на увеличение доли современных высокотехнологичных типов тепловых и атомных электростанций, а также использование нетрадиционных источников энергии ведут к разработке большого числа вариантов тепловых схем и систем регулирования и управления, достоверному анализу различных технических предложений, оперативному и качественному проектированию энергообъектов, математическому моделированию и оптимизации энергетических показателей с учетом эксплуатационных особенностей вновь разрабатываемых и модернизируемых электростанций [1, 2].

Важным вопросом при проектировании и строительстве энергообъектов ТЭС является определение расчетных и гарантийных показателей. От точности такого расчета, учета многих факторов, влияющих на показатели станции, таких как климатические условия, характеристика оборудования, величина собственных

нужд, наличие специальных устройств, оборудования, зависят гарантии и та доля ответственности, которую на себя возьмет компания по их исполнению. Одним из наиболее удобных и автоматизированных средств для определения расчетных и гарантированных показателей считается программный комплекс Thermoflow, позволяющий учесть характеристики оборудования, его конструктивные особенности, сопротивления по трактам, оценить величину собственных нужд и другие факторы, влияющие на точность расчета (рис. 1). Комплекс позволяет выполнять расчеты при создании нового энергообъекта в автоматизированном режиме на основании заданных критериев, таких как максимальная эффективность либо минимальная цена, при этом заложенные в программу алгоритмы предложат конструктивную компоновку тепловой схемы. В программе предусмотрена возможность передачи полученных результатов конструкторского расчета с найденными значениями поверхностей теплообмена из модулей автоматизированного проектирования GT Pro, Steam Pro в специальные программы GT Master, Steam Master, обеспечивающие поверочные расчеты, в которых значения поверхностей теплообмена зафиксированы и используются в качестве опорного режима. Это позволяет в переменных режимах работы оборудования рассчитывать значения температурных напоров и недогревов и получать более точные результаты показателей работы оборудования в целом. Кроме этого, Thermoflow позволяет моделировать и выполнять расчеты по характеристикам оборудования, полученным от производителей.

Помимо описанных выше возможностей, Thermoflow имеет в своем составе модуль Pease, обеспечивающий проведение технико-экономических расчетов по отдельным видам оборудования и по блоку в целом. Помимо этого, модуль позволяет получить предварительную спецификацию на основное и вспомогательное оборудование, а также его габаритные характеристики. Этими возможностями не обладает ни одна из других программ.

Программное обеспечение Gate Cycle проводит расчеты тепловых балансов в проектных и непроектных условиях работы для любого типа тепловых электростанций, позволяет разработать оптимальный проект для вновь проектируемого энергообъекта или сделать правильные модификации на существующем блоке, либо всей станции в целом. Используя обширные способности к моделированию, можно эмулировать работу станции, чтобы определить оптимальный способ к ее управлению.

Gate Cycle позволяет эмулировать работу на режимах различных тепловых циклов: котельных установок на угле, атомных электростанций, систем когенерации и других типов энергообъектов. Использовать программное обеспечение GateCycle можно как для быстрой оценки, так и для детальной проработки проекта

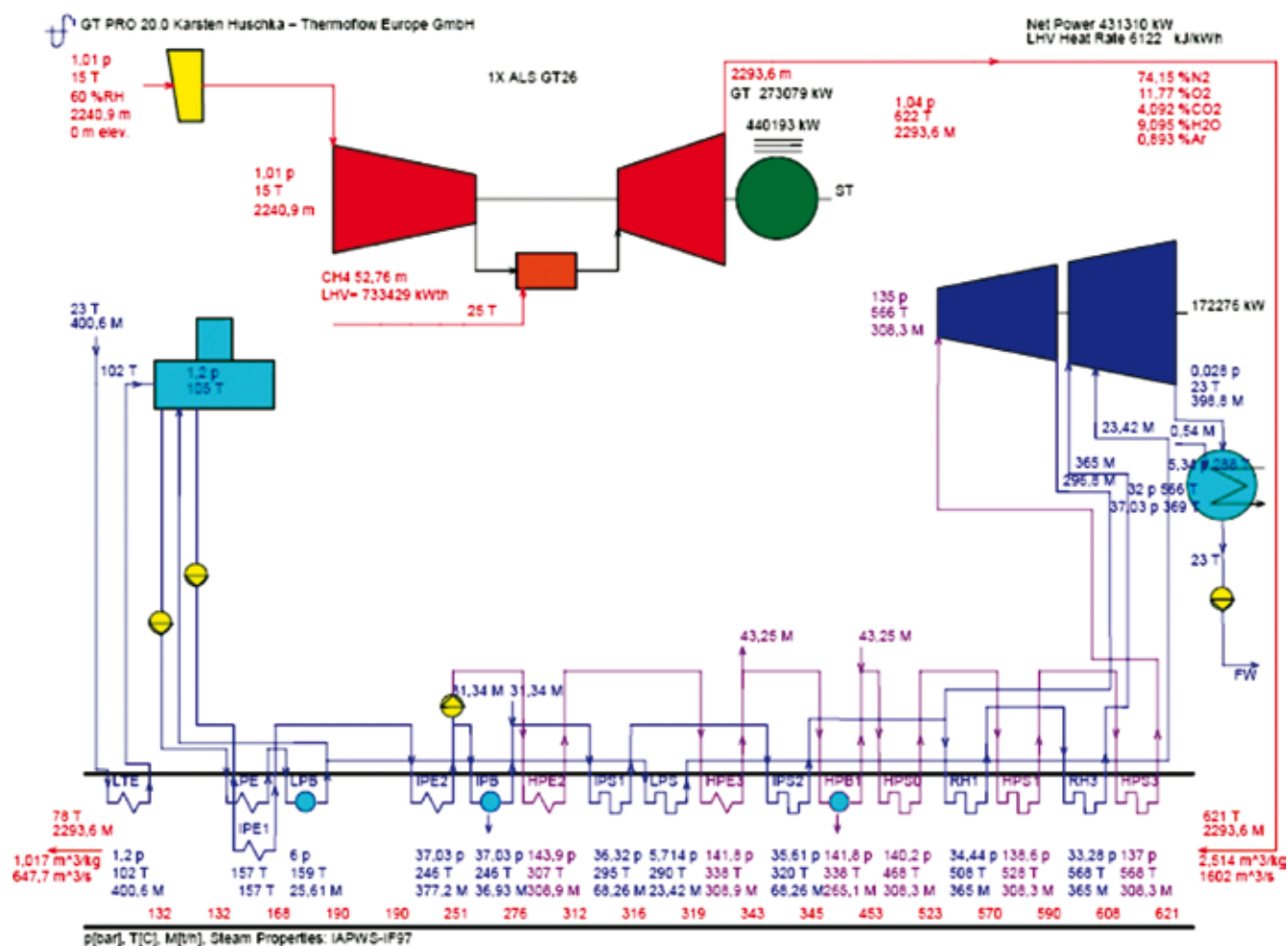


Рис. 1. Пример интерфейса программного комплекса Thermoflow

на стадиях модернизации, повторно проводя расчеты с большой скоростью и высокой точностью.

Ряд программных комплексов выполняют функции только конструкторского расчета и служат для определения технических показателей в номинальном режиме работы блока, где вычисления ведутся по заданным значениям температурных напоров в оборудовании, которые принимаются по нормируемым или рекомендуемым величинам. Оценка показателей переменного режима работы в таких программах считается весьма приближенной, так как значения недогрева воды и температурных напоров, а также коэффициента полезного действия (КПД) проточных частей в зависимости от нагрузок в этом случае необходимо задавать, что может сделать только опытный технолог с определенной степенью погрешности. К ним относятся отечественные программы Omega (ver. 3.1 Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина) и United Cycle (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург). Достоинствами данных разработок являются наличие банка данных готовых технологических схем отечественных блоков, а также возможность

внесения структурных изменений в технологическую схему для сравнительной оценки показателей альтернативных вариантов [2].

Современное программное обеспечение позволяет проводить расчеты не только для обычных электростанций и электростанций комбинированного цикла, но и электростанций, тепловая энергия которых используется для опреснения морской воды, солнечных теплоэлектростанций, технологических процессов и оборудования для газификации угля, топливных элементов и мини-ТЭЦ. Применительно к моделированию таких установок и схем программа может либо позволять индивидуально моделировать каждый элемент, либо отображать готовые мнемосхемы в виде «черных ящиков». В последнем случае искомые величины определяются вычислительными методами в зависимости от КПД [3].

Вновь проектируемые электростанции работают по комбинированному циклу, и в этом случае весьма полезна функция простого определения возможности выработки электростанцией требуемого в техническом задании количества электроэнергии исходя из заданного количества пара. Соответственно необходимо наличие функций автоматического вычисления значений

различных ключевых параметров, характеризующих работу газовых турбин с неполной нагрузкой, параметров расходов через байпасные каналы, а также производительности вспомогательных котлов. Для решения подобных задач наиболее целесообразно использовать программное обеспечение, основанное на применении замкнутых алгоритмов.

Инженерная компания «Фихтнер», специализирующаяся в области энергетики, развивает свою собственную программу для расчета термодинамических циклов KPro<sup>®</sup>, работающую в Windows и использующую систему уравнений для расчета теплофизических свойств воды и водяного пара в соответствии с формуляром IAPWS-IF97. За многие годы существования программы существенно выросла база данных мнемосхем, включающая в себя на сегодняшний день более 3 000 единиц.

Программа KPro<sup>®</sup> имеет весьма гибкую библиотеку компонентов. Благодаря использованию замкнутых алгоритмов, она позволяет простыми средствами моделировать управляющие воздействия и, соответственно, удовлетворяет всем современным требованиям, выдвигаемым к функциональности подобных программ их пользователями. Она является эффективным средством проектирования как обычных угольных ТЭЦ, так и электростанций, работающих по комбинированному циклу, и позволяет рассчитывать поведение оборудования электростанции под различной нагрузкой. В числе прочего возможно определение параметров работы газовых турбин с неполной нагрузкой, характерной для работы ТЭЦ в теплофикационном режиме, причем благодаря использованию замкнутых алгоритмов, расчеты не представляют особой сложности и могут проводиться с опорой на имеющиеся характеристики газовых турбин без применения итеративных циклов.

Программа Boiler Designer предназначена для конструирования и последующего статического и динамического расчетов теплоэнергетических объектов (котлов, энергоблоков и пр.). В ней содержится свыше 100 унифицированных элементов (топка, поверхности нагрева различного типа, впрыски, турбина, подогреватели, насосы, трубопроводы с различными видами гидравлических сопротивлений, регуляторы). С их помощью может быть собрана любая схема, для чего в удобном графическом режиме из заданного набора выбирают пиктограммы элементов, перемещают их по экрану, объединяют соответствующими связями в схемы пароводяного и газозвоздушного трактов, при необходимости удаляют и т.д. Некоторые из элементов являются иерархическими, т.е. содержат группы, в которых размещены другие элементы. Подобная иерархическая структура позволяет собирать схемы самых сложных объектов.

Применяя описанные расчетные средства, кафедра ТЭС проводит разработку, исследование и оптимизацию станций различных типов, в первую очередь на

базе парогазовой технологии, оказывает консультационные услуги по вопросам применения ГТУ и ПГУ на ТЭС. В рамках Центра подготовки и переподготовки по общей энергетике и ТЭС проводит повышение квалификации и переподготовку специалистов в области применения газотурбинных и парогазовых технологий. Только за 2010—2013 гг. на кафедре прошли обучение более 200 специалистов с различных энергетических предприятий, а также студенты старших курсов, обучающиеся по специальности «Тепловые электрические станции».

На кафедре АСУТП в силу особенностей подготовки специалистов по теории и практике управления тепловыми процессами в энергетике и промышленности, а именно сложности применения готовых программных продуктов в условиях многообразия объектов управления и при отсутствии четкой информации по динамическим характеристикам при проектировании и эксплуатации, особое внимание уделено разработке программных комплексов учебного назначения, хотя многие из них востребованы при проведении научных исследований и подготовке диссертационных работ.

Так, для расчетов при выполнении УНИР, курсовых работ, бакалаврских и магистерских дипломов студентами широко используются следующие программные модули:

- пакет программ для MathCad по расчету настроек АСР и моделированию САР;
  - Scada TraceMode для проектирования АСУТП;
  - Codesys при программировании контроллеров;
  - ряд программ по курсу СУЗ атомных реакторов;
  - Power Balance Tools — многофункциональный информационно-аналитический программный комплекс для расчета и анализа ТЭП поагрегатно и по станции в целом, оптимизации режимов, оптимального распределения нагрузки и т.д. (рис. 2);
  - комплекс программ по оптимальному распределению электрической нагрузки для конденсационных электростанций (КЭС) и электрической и тепловой нагрузок ТЭЦ со сложным составом оборудования, включая ПГУ, с возможностью выбора математического метода оптимизации (Лагранжа, динамического программирования, генетического алгоритма и т. д.).
- Еще одно направление применения современных информационных технологий в учебном процессе связано с использованием программных и технических возможностей существующей учебной лаборатории АСУТП, модернизированной на базе отечественных и зарубежных программно-технических комплексов (ПТК) с целями:
- создания условий для повышения качества учебного процесса (дистанционного автоматизированного доступа через сервер пользователей к современным техническим средствам управления и теплотехническим объектам управления ТЭЦ МЭИ;
  - перехода от фрагментарного к комплексному из-

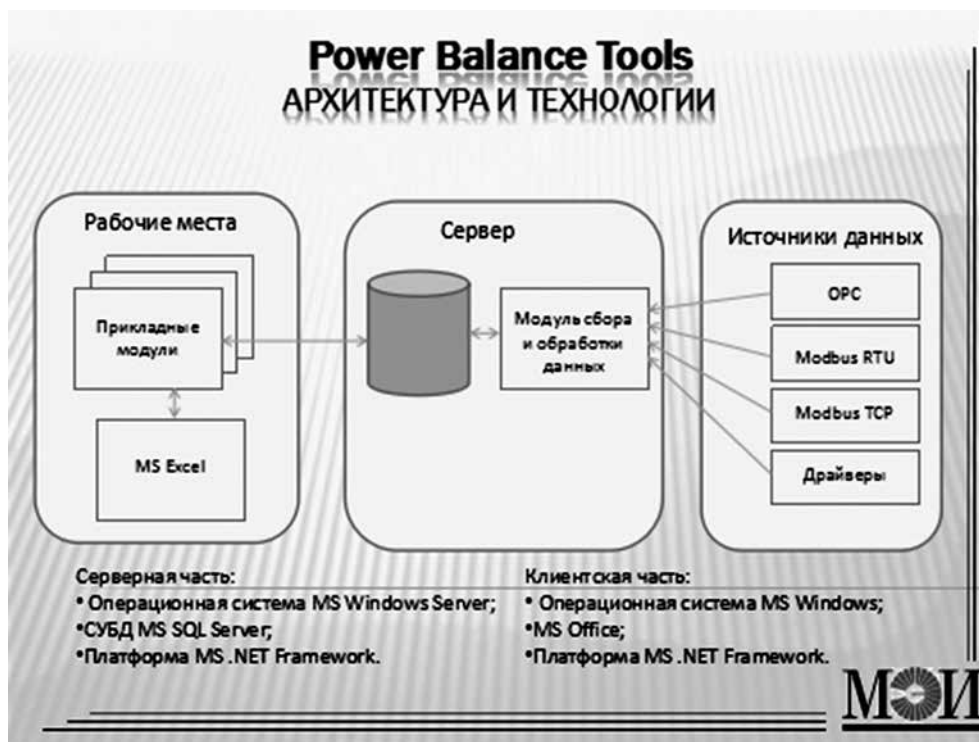


Рис. 2. Архитектура программного комплекса Power Balance Tools

учению автоматизированных систем управления;

- существенного расширения круга пользователей;
- освобождения от рутинных и ручных операций по проведению и обработке результатов экспериментов;
- увеличения бюджета времени при самостоятельной подготовке);
- разработки новых образовательных и исследовательских технологий, в том числе дистанционного компьютерного доступа к техническим объектам ТЭЦ МЭИ;
- максимального использования производственно-экспериментальной базы сохраняемой части и нового блока ПГУ ТЭЦ МЭИ для подготовки студентов и повышения квалификации специалистов отрасли;
- создания условий для эффективного научного эксперимента с использованием реального оборудования ТЭЦ;
- обеспечения доступа удаленных пользователей к результатам экспериментов, статическим и динамическим характеристикам оборудования, архивам технологических данных.

Для достижения поставленных целей в лабораториях кафедры установлены четыре комплекса: Freelance 800F (ABB, Германия) (рис. 3), «Квинт СИ» (НИИТеплоприбор — ООО «КВИНТ система», Россия), SPRA T3000 (Siemens, Германия), TREI (Россия). Каждый комплекс содержит микропроцессорные контроллеры, набор модулей устройств связи с объектом (УСО) для ввода-вывода информации, рабочие станции, сетевое оборудование, базовое и специальное программное



Рис. 3. ПТК Freelance 800F (ABB, Германия)

обеспечение. При компоновке комплектов ПТК использованы четыре различных варианта стандартных шкафов со всеми необходимыми элементами (блоками питания, клеммными колодками, средствами индикации и др.) [4].

Для изучения комплекса технических средств автоматизации и программного обеспечения ПТК предназначены учебные лаборатории теплотехнических измерений и приборов (ТИП), микропроцессорных контроллеров (МПК), автоматизации технологических процессов (АТП), автоматизированных систем управления технологическими процессами и два класса ПЭВМ. Компьютеры всех учебных лабораторий и классов объединены локальной сетью Ethernet с выделенным сервером (рис. 4).

Основные задачи, решаемые в лабораториях:

- изучение технических средств контроля и автоматизации, микропроцессорных средств, используемых

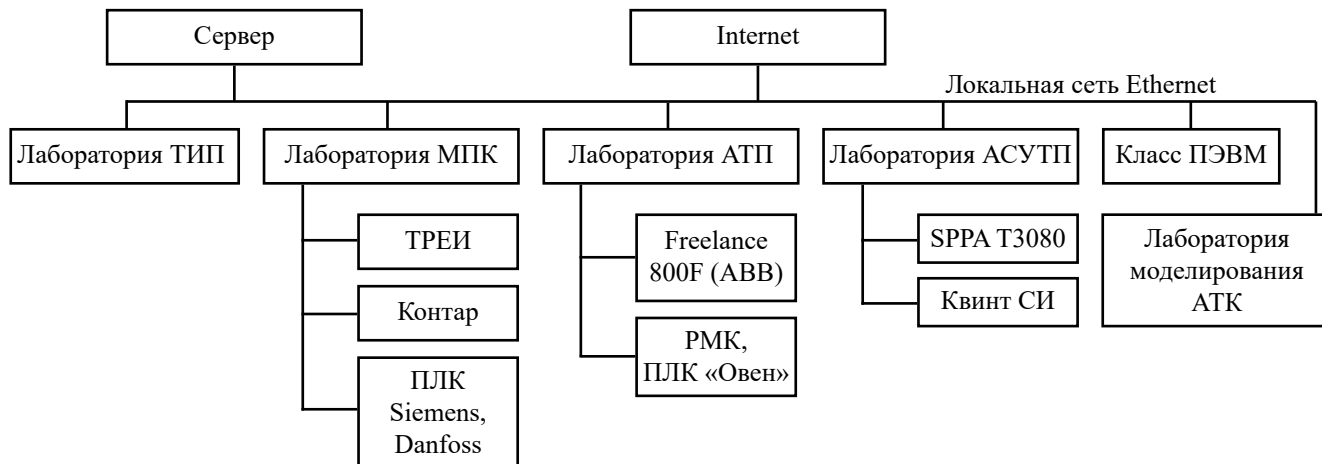


Рис. 4. Комплекс технического и программного обеспечения лаборатории АСУТП

для построения современных АСУ в теплоэнергетике и теплотехнике и основ их наладки и обслуживания;

- освоение современных SCADA/HMI-программ, САПР, технологий программирования и проектирования АСУ для объектов энергетики;
- разработка новых информационных, управляющих, оптимизационных и вспомогательных функций АСУ в теплоэнергетике и теплотехнике, в том числе по программам магистерской подготовки.

Лабораторный комплекс кафедры АСУТП предназначен для проведения:

- лабораторных практикумов по дисциплинам «Системы автоматизации и управления», «Технические средства автоматизации», «Проектирование автоматизированных систем», «Автоматизация технологических процессов и производств»;
- специального курсового и дипломного проектирования;
- учебных научно-исследовательских работ (УИР и УНИР) студентов специальности (профиля);
- исследований по образовательным программам магистров и аспирантов.

В составе ПТК лабораторного комплекса имеются «полевые» контроллеры с удаленными модулями УСО, с помощью которых можно собирать информацию от удаленных датчиков физических процессов (в лабораториях АТП и ТИП) и передавать на центральный процессорный блок ПТК лаборатории АСУТП по локальной сети или беспроводной связи.

В настоящее время поставлена задача создания интегрированной лаборатории, целью которой является качественное улучшение уровня подготовки специалистов по автоматизированному управлению объектами энергетики при проектировании, эксплуатации и обслуживании современных распределенных микропроцессорных многоуровневых автоматизированных систем управления.

Программно-технические средства лаборатории связаны с учебной ТЭЦ, позволяющей проводить ис-

следования в области автоматизированного управления объектами энергетики, тестирование технических средств управления и программного обеспечения на стадии разработки проектов, а также отработку навыков проектирования и реализации обмена данными между ПТК различных производителей.

При построении интегрированной лаборатории АСУТП задействованы современные технологии интеграции разнородных программно-технических средств, в частности технологии OPC (OLE for Process Control), кабельной и беспроводной связи.

Показатели с ТЭЦ однонаправленно по беспроводной связи передаются на контроллер в лаборатории, который, в свою очередь, по запросу пересылает их удаленному оператору. Удаленный оператор, имея в своем распоряжении интернет-устройство, получает возможность просматривать состояние контролируемых величин в лаборатории и на ТЭЦ МЭИ, а также воздействовать на устройства, находящиеся в лаборатории. Схема беспроводной «экосистемы» интегрированной лаборатории АСУТП представлена на рис. 5.

На данном этапе развития интегрированной лаборатории создается приложение для мобильного устройства, реализующего оперативный контроль за параметрами технологического объекта ТЭЦ, а техническая реализация системы удаленного контроля в режиме реального времени базируется на технических средствах компании «Феникс» (Германия).

Задача отработки технологии пуска оборудования энергоблока для вновь вводимого в эксплуатацию комплекса является приоритетной, поскольку правильное ведение пускового режима предполагает эксплуатацию оборудования в соответствии с требованиями заводоизготовителей с обеспечением при этом максимальной эффективности и экономичности его работы. Автоматизация пусковых процессов не позволяет нарушать эти требования и правила. Примером реализации данных процессов является совместная разработка кафедр ТЭС и АСУТП «Программный комплекс по исследова-



Рис. 5. Схема беспроводной «экосистемы» интегрированной лаборатории АСУТП

нию режимов работы парогазовых ТЭС (ПГУ-450Т)», базирующаяся на практических результатах по освоению первого энергоблока Северо-Западной ТЭЦ в Санкт-Петербурге. Парогазовая установка мощностью 450 МВт представляет собой первый образец технологии нового типа в российской энергетике, основную долю которого составляет отечественное оборудование. Алгоритмы управления котлов-утилизаторов, паровой турбины, технологических узлов быстродействующих редуционно-охлаждающих установок (БРОУ) и газоперерабатывающих заводов (ГПЗ), а также их взаимосвязь с алгоритмами управления ГТУ являются уникальными разработками прикладного программного обеспечения [5].

Программный комплекс позволяет проводить соответствующие расчеты начального уровня нагружения газовых турбин для предварительного прогрева паропроводов высокого давления (ВД) и прогрева цилиндров высокого давления (ЦВД) паровой турбины, позволяет адаптировать алгоритмы ГТУ к решению взаимосвязанных задач управления оборудованием энергоблока.

Софт позволяет проводить исследования совместной работы алгоритмов нагружения ГТУ и ПТУ, а также оптимизировать пусковые режимы энергоблока на основе пошаговой логики.

Полученные в результате таких исследований данные представляют интерес для дальнейшего развития логических пошаговых программ функционально-группового управления и отработки навыков по управлению крупными парогазовыми блоками.

### Тренажерная подготовка специалистов

Объекты энергетики относятся к объектам повышенной опасности, ошибки в эксплуатации которых могут привести к катастрофическим последствиям. Га-

рантами безопасности в данном случае могут служить высокий уровень подготовки и наличие специального образования у персонала. Однако такие навыки как способность быстро и адекватно действовать в условиях чрезвычайной ситуации, профессионализм и необходимый опыт, невозможно приобрести без обучения. В настоящее время наиболее востребованы различные тренажеры. Тренажеры дают обучающимся глубокое понимание режимов работы оборудования, поскольку даже самых совершенных и натренированных моторных навыков управления оборудованием недостаточно, если оператор не понимает технологических процессов, которыми он управляет.

Программно-аппаратные комплексы (ПАК) «Тренажерная лаборатория тепловой электростанции с барабанными энергетическими котлами» — «Тренажер блока 200 МВт Приморской ГРЭС» и «Тренажер блока ПГУ-410 МВт Няганьской ГРЭС», установленные на кафедре ТЭС, обеспечивают:

- выработку у обучающихся интеллектуальных навыков управления энергетическим оборудованием в наиболее сложных режимах его работы;
- глубокий анализ самых сложных режимов работы оборудования и совершенствование на этой основе режимных карт и эксплуатационных инструкций;
- опережающее обучение персонала и анализ режимов для новых типов энергоблоков, которые еще не введены в действие и не освоены в эксплуатации, а также для реконструируемого оборудования;
- совершенствование оперативной квалификации руководящего технического персонала ТЭС, которому в сложных технологических ситуациях нередко приходится принимать на себя руководство ведением режимов.

В Центре подготовки помимо ПАК имеется в наличии SimInTech — система автоматизированного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и (или) дифференциально-алгебраических уравнений, а также в виде расчетных («нодализационных») схем для специализированных решателей (расчетных кодов) термодинамических и электромеханических процессов.

SimInTech предназначена для детального исследования и анализа нестационарных процессов в ядерных и тепловых энергоустановках, системах автоматического управления, в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и (или) реализовано методами структурного моделирования. Основными направлениями использования SimInTech являются создание моделей, проектирование алгоритмов управления, их отладка на модели объекта, генерация исходного кода на языке Си для программируемых контроллеров. Для SimInTech соз-

даны и разрабатываются модули расширения, позволяющие создавать модели на базе специализированных расчетных кодов и интегрировать их в комплексные модели и проекты.

Система может:

- моделировать нестационарные процессы в физике, электротехнике, динамике машин и механизмов, астрономии и т. д., а также использовать для решения нестационарных краевых задач (теплопроводность, гидродинамика и др.);
- функционировать в многокомпьютерных моделирующих комплексах, в том числе и в системах удаленного доступа к технологическим и информационным ресурсам;
- функционировать как САПР при групповой разработке и сопровождении жизненного цикла изделия (проекта) при модельно-ориентированном подходе к проектированию.

Она не имеет аналогов среди отечественного программного обеспечения, а зарубежными аналогами для нее являются SimuLink, Matrix, VisSim, SimulationX и некоторые другие.

SimInTech применяется для проектирования автоматических регуляторов и алгоритмов логико-дискретного и функционально-группового управления, проектного расчетного обоснования алгоритмов автоматизированных систем управления технологическими процессами как программно-инструментальное средство разработки и функционирования модели АСУТП в составе полномасштабной модели объекта управления.

На кафедре АСУТП лаборатории тренажерной подготовки существует свыше 15 лет. За это время был установлен ряд компьютерных тренажеров, широко используемых в учебном процессе при выполнении УНИР, курсовых проектов, бакалаврских и магистерских работ.

На первом этапе традиционные компьютерные тренажеры работают в автономном режиме без взаимодействия с реальной АСУТП, которой оснащен моделируемый объект. В них АСУТП моделируется в сокращенном виде, в объеме, достаточном для управления несложными технологическими процессами.

Приведенная на рис. 6 схема моделирования накладывает серьезные ограничения на использование готовой модели. Во-первых, автономная модель объекта не может быть связана с реальным АСУ и потому должна включать в свой состав не только саму математическую модель объекта, но и все алгоритмы управления процессом, а также системы мнемонического отображения хода технологического процесса. Обычно в рамках автономной модели объекта невозможно в точности повторить алгоритмы управления объектом, а также средства и инструментарий оперативного контроля и управления (операторские мнемосхемы). Это приводит к тому, что модель системы управления объектом становится неполной или не похожей на ту, которая имеется на реальном объекте.

Вместе с тем неотъемлемой частью АСУТП современного энергоблока являются ПТК, позволяющие реализовать все алгоритмы управления энергоблоком. Наиболее прогрессивными в данном случае являются компьютерные тренажеры, в которых математическая модель объекта интегрирована в эмулятор контроллера, что позволяет использовать возможности прикладного программного обеспечения в полном объеме, отображать режимы работы всего оборудования энергоблока максимально близко к действительным. В таком тренажере сбор, обработка, передача и хранение информации, полученной от объекта с использованием прикладных программ ПТК, воспроизводятся средствами эмуляции [6].

Из схемы интегрированного тренажера, изображенной на рис. 7, видно, что модель объекта не содержит ни модулей управления, ни реальных алгоритмов управления, ни средств диалогов с операторами. В данном случае моделируется только сам объект, без средств управления им. При этом модель объекта перестает быть автономным программным продуктом и становится неотъемлемой частью АСУТП.

Примером такого тренажера могут служить полномасштабные тренажеры теплофикационного энергоблока Т-250, впервые разработанного кафедрой АСУТП НИУ «МЭИ» совместно с ЗАО «Тренажеры для электростанций» и ОАО «НИИТеплоприбор» и

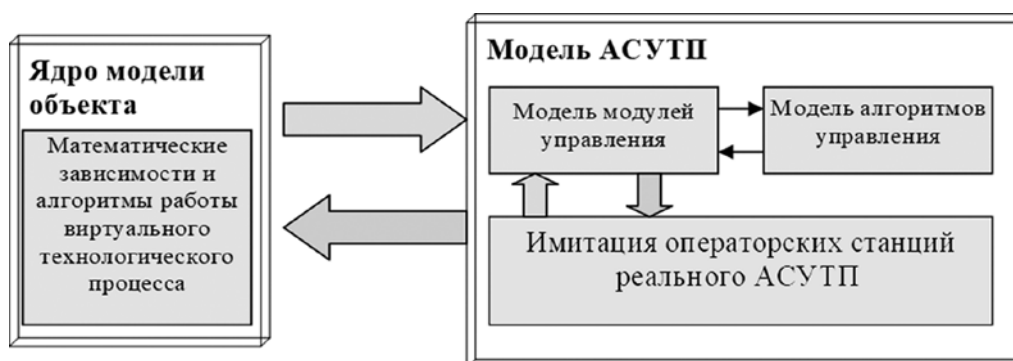


Рис. 6. Принципиальная схема традиционного тренажера



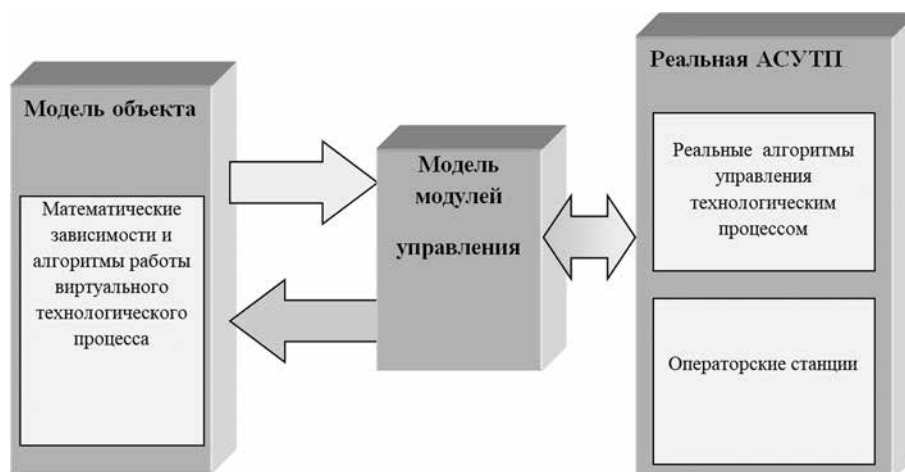


Рис. 7. Принципиальная схема интегрированного тренажера

энергетического котла ТП-87, разработанного совместно с ОАО «Энергоинвест» [7]. АСУТП обоих объектов базируется на ПТК отечественного производства «Квинт». Позже в лаборатории был установлен тренажер энергоблока ПГУ-450 с расширенным объемом моделирования функций АСУТП.

Эти тренажеры необходимы на втором этапе оснащения тренажерной лаборатории кафедры и помимо применения в учебном процессе служат экспериментальной базой при выполнении значительного числа научных исследований.

Для повышения эффективности обучения на тренажере кафедрой совместно с ОАО «Энергоинвест» разработаны автоматизированные компьютерные системы обучения и проверки знаний (АСОПЗ) как начальный, подготовительный, этап обучения перед выходом на тренажерное обучение. Разрабатываемый ПК значительно упрощает и при этом значительно повышает эффективность процессов обучения, переобучения, повышения квалификации и контроля знаний оперативного и инженерно-технического персонала по обслуживанию энергоблока с ПГУ. Создана библиотека в составе более 12 АСОПЗ по основным конденсационным и теплофикационным агрегатам и энергоблокам, включая ПГУ.

Внедрение ПК АСОПЗ обеспечивает теоретическую и практическую подготовку оперативного и инженерно-технического персонала по обслуживанию энергоблока, подготовку на первую и новую оперативную должность, проверку знаний и повышение профессиональной квалификации и способствует повышению надежности и эффективности работы энергооборудования в целом.

В ходе выполнения работы проанализировано основное и вспомогательное оборудование энергоблока, создано электронное описание всех узлов и агрегатов, технологических методов управления и эксплуатации. Методически проработан и доступно изложен весь курс обучения, текстовый материал дополнен необ-

ходимыми схемами и иллюстрациями. Источниками информации послужили нормативные документы, заводские описания, инструкции по эксплуатации оборудования, технике безопасности и пожарной безопасности.

Впервые в практике разработки автоматизированных систем обучения в ПК АСОПЗ разработан и интегрирован (встроен) ряд обучающих и контролируемых интерактивных схем основных узлов и агрегатов энергоблока (локальных тренажеров) для проведения практического обучения и тренировок оперативного персонала, получения первичных навыков работы и выработки методов безопасного управления оборудованием. Как показывает опыт использования АСОПЗ с интерактивными схемами, такая система предварительной первичной подготовки значительно ускоряет процесс освоения и повышает эффективность работы на тренажере.

#### **Возможности по использованию интерактивных технологий в образовательных и научных целях**

Современные технические и интеллектуальные достижения, воплощенные в компьютерной технике и информационных технологиях, оказывают значительное влияние на эффективность обучения студентов. Применение интерактивных методов обучения стимулирует и развивает познавательную деятельность, способность к самостоятельному творческому, профессиональному мышлению [7].

В связи с этим особый интерес представляет возможность применения интерактивных методов обучения при профессиональной подготовке будущих специалистов-теплоэнергетиков. В отличие от активных методов, интерактивные ориентированы на более широкое взаимодействие студентов не только с преподавателем, но и друг с другом, на стимулирование активности студентов в процессе обучения. Преподаватель переходит от роли транслятора готовых знаний к вы-

полнению функции одного из источников информации и помощника в работе, который организует самостоятельную познавательную деятельность студентов по исследованию явлений и процессов.

Один из путей применения подобных методов — обучение на базе компьютерных технологий, осуществляемое по индивидуальному плану и под наблюдением прикрепленного преподавателя-куратора (тьютора). Интернет, электронная почта, рассылка печатных материалов, видеофильмы, конференции по телефону, виртуальные комнаты и библиотеки, факсимильная связь и регламентированное время одного контакта — все это элементы дистанционного обучения.

Многие преподаватели кафедры АСУТП предлагают интерактивные программные приложения, несложные самоучители и справочный материал студентам для самостоятельного обучения. Дистанционная форма общения со студентами широко используется для контроля хода выполнения и проверки курсовых проектов, индивидуальных заданий по практическим занятиям.

Особо эффективна дистанционная форма обучения при проведении курсов по повышению квалификации и переподготовки специалистов в больших группах. Так, в Центре по подготовке и переподготовке персонала АСУТП в 2016 г. для специалистов электростанций ПАО «ИнтерРАО» был проведен дистанционный теоретический курс по тренажерной подготовке, включая консультацию преподавателей НИУ «МЭИ» и дистанционное тестирование слушателей. Весь лекционный материал был распределен на четыре цикла. По каждому циклу преподаватель проводил вступительную лекцию с необходимыми пояснениями и отвечал на вопросы слушателей. В течение недели все слушатели имели доступ к лекционному материалу, расположенному в корпоративной сети (при необходимости сроки открытого доступа для отдельных слушателей продлевались). В завершение каждого цикла преподаватель отвечал на возникшие у слушателей вопросы. После завершения всего цикла занятий слушатели проходили индивидуальное тестирование по согласованному графику. При подведении итогов при наличии некоторых замечаний отмечены положительные моменты, такие как обучение без отрыва от работы, снижение затрат и т. д.

Другой возможностью применения интерактивных технологий в образовательном процессе является использование 3D-технологий. Разработанные 3D-модели основного и вспомогательного оборудования ТЭС могут быть использованы для демонстрации конструктивных особенностей, принципа работы, особенностей технического обслуживания, монтажа, что поднимает процесс обучения на качественно новый уровень, понятный и доходчивый для студента.

В данном случае преподаватель на экране создает наглядный образ изучаемого предмета, методично демонстрирует пошаговое построение 3D-модели с ком-

ментариями и пояснениями. Подобный метод позволяет достичь студентам высоких результатов за короткий срок.

С психологической точки зрения такая подача материала создает комфортную обучающую среду и помогает эффективно усвоить материал. Создание компьютерной модели является аналогом изготовления макета изделия или первого образца, но со значительно меньшими материальными и временными затратами. На основе 3D-модели конструктивно отрабатываются все элементы и узлы изделия, выявляются недоработки, вносятся изменения, имеется возможность не только рассмотреть и изучить различные технические детали и механизмы в целом, но и мгновенно сделать их необходимые разрезы, а также разные проекции в трехмерном изображении. В процессе учебной деятельности при демонстрации готовых объектов в интерактивном режиме, когда рассматриваются различные проекции с выбором необходимого отображения, формируются элементарные умения преобразовывать форму предметов, менять их положение и ориентацию в пространстве, развивается пространственное воображение и абстрактное мышление [7].

Интерактивное обучение позволяет решать одновременно несколько задач, главной из которых является развитие коммуникативных умений и навыков. Такое обучение помогает установлению эмоциональных контактов между обучающимися, осуществляет воспитательную задачу, поскольку приучает работать в команде, прислушиваться к мнению своих товарищей, обеспечивает высокую мотивацию, прочность знаний, коммуникабельность, активную жизненную позицию, свободу самовыражения, раскрывает творческие способности с акцентом на профессиональную деятельность. В групповой работе возникают элементы соревнования и взаимодействия. Использование интерактивных форм в процессе обучения дает возможность менять формы деятельности студентов, переключать внимание на ключевые вопросы занятий.

---

## Заключение

---

Внедрение современных программно-аппаратных комплексов в обучающий процесс позволит поднять качество подготовки специалистов отрасли, вывести уровень проектной документации на новые горизонты, сократить время подготовки проектной документации и исключить возможные технические ошибки на стадии реализации.

Создание оснащенных расчетно-технических баз в вузах на основе современных программных комплексов позволит внедрить их в учебный процесс и систему повышения квалификации специалистов, обеспечивая тем самым энергетические предприятия подготовленными высококвалифицированными кадрами.

---

**Литература**


---

1. **Цанев С.В. и др.** Газотурбинные энергетические установки. М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
2. **Доверман Г.И., Шельгин Б.Л., Мошкарин А.В., Мельников Ю.В.** Расчет котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов. Иваново: УИУНЛ ИГЭУ, 2007.
3. **Ильичев Н.Б. и др.** Технология проектирования ТЭС и методы ее компьютеризации. М.: Энергоатомиздат, 1997.
4. **Андрюшин А.В., Панько М.А.** Инновационная образовательная программа МЭИ — новые учебные лаборатории кафедры АСУТП // Теплоэнергетика. 2008. № 10. С. 77—80.
5. **Невзгодин В.С., Радин Ю.А., Панько М.А.** Алгоритмические основы автоматизации пуска парогазовых установок большой мощности // Теплоэнергетика. 2007. № 10. С. 46—51.
6. **Аракелян Э.К., Андрюшин А.В., Бурцев С.Ю.** Использование компьютерных тренажеров для проведения модельных исследований в энергетике // Вестник МЭИ. 2015. № 2. С. 49—55.
7. **Суворова Н.Н.** Интерактивное обучение: новые подходы. М.: Вербум, 2005.

---

**References**


---

1. **Tsanev S.V. i dr.** Gazoturbinnye Energeticheskie Ustanovki. M.: Izdatel'skiy Dom MPEI, 2011. (in Russian).
2. **Doverman G.I., Shelygin B.L., Moshkarin A.V., Mel'nikov Yu.V.** Raschet Kotel'nyh Agregatov s Ispol'zovaniem Sovremennyh Programmnyh Produktov. Ivanovo: UIUNL IGEU, 2007. (in Russian).
3. **Il'ichev N.B. i dr.** Tekhnologiya Proektirovaniya TES i Metody ee Komp'yuterizatsii. M.: Energoatomizdat, 1997. (in Russian).
4. **Andryushin A.V., Pan'ko M.A.** Innovatsionnaya Obrazovatel'naya Programma MPEI — Novye Uchebnye Laboratorii Kafedry ASUTP. Teploenergetika. 2008;10: 77—80. (in Russian).
5. **Nevzgodin V.S., Radin Yu.A., Pan'ko M.A.** Algoritmicheskie Osnovy Avtomatizatsii Puska Parogazovyh Ustanovok Bol'shoy Moshchnosti. Teploenergetika. 2007;10:46—51. (in Russian).

6. **Arakelyan E.K., Andryushin A.V., Burtsev S.Yu.** Ispol'zovanie Komp'yuternykh Trenazherov dlya Provedeniya Model'nyh Issledovaniy v Energetike. Vestnik MPEI. 2015;2:49—55. (in Russian).

7. **Suvorova N.N.** Interaktivnoe Obuchenie: Novye Podhody. M.: Verbum, 2005. (in Russian).

---

**Сведения об авторах**


---

**Рогалев Николай Дмитриевич** — доктор технических наук, заведующий кафедрой тепловых электрических станций, ректор НИУ «МЭИ», e-mail: RogalevND@mpei.ru

**Дудолин Алексей Анатольевич** — кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: DudolinAA@mpei.ru

**Андрюшин Александр Васильевич** — доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: AndriushinAV@mpei.ru

**Аракелян Эдик Койрунович** — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: Edik\_arakelyan@inbox.ru

**Мезин Сергей Витальевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ»

---

**Information about authors**


---

**Rogalev Nikolay D.** — Dr.Sci. (Techn.), Head of Thermal Power Plants Dept., Rector of NRU MPEI, e-mail: RogalevND@mpei.ru

**Dudolin Aleksey A.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor, Deputy Head of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: DudolinAA@mpei.ru

**Andryushin Aleksandr V.** — Dr.Sci. (Techn.), Head of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: AndriushinAV@mpei.ru

**Arakelyan Edik K.** — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: Edik\_arakelyan@inbox.ru

**Mezin Sergey V.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI

*Статья поступила в редакцию 10.08.2017*