

## Опыт и особенности инновационной подготовки специалистов по автоматизации на полигоне АСУТП электростанций

Ю.С. Тверской, Е.С. Целищев, А.В. Голубев, А.Н. Никоноров,  
И.К. Муравьев (ФГБОУВО ИГЭУ им. В.И. Ленина)

*Представлен опыт использования учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций» для подготовки специалистов по автоматизации и повышения квалификации персонала электростанций. Приводится методология разработки учебно-исследовательских АСУТП, применяемых в учебном процессе. Раскрываются особенности подходов к обучению различных групп специалистов.*

*Ключевые слова: автоматизация, моделирование объекта, полигон АСУТП, программно-технический комплекс, подготовка специалистов, повышение квалификации.*

### Введение

В век стремительного развития информационных технологий современная энергозависимая цивилизация предъявляет высокие требования к качеству производимой энергетическими объектами (ТЭС, АЭС, ГЭС) и передаваемой конечному потребителю электрической энергии.

Проблема эффективного (технического, экологического, экономического) функционирования сложного энергетического оборудования в широком диапазоне нагрузок в режиме высокоточной стабилизации частоты и напряжения на шинах конечного потребителя может быть решена только при соответствующей работе *многофункциональных АСУТП* энергоблоков и энергоустановок [1].

Современные АСУТП перестали быть вспомогательными средствами производственного процесса и служат структурой, формирующей единую информационно-технологическую среду автоматизированных энергетических объектов. Иными словами, они служат основным *системообразующим* оборудованием.

АСУТП представляют собой сложные цифровые системы управления, которые строятся на базе проектно-компонованных программно-технических комплексов (ПТК), имеют большой (порядка 2000...3000 технологических параметров) информационный масштаб, разного рода ограничения и особенности адекватной реализации цифровых алгоритмов управления и диагностирования.

Проблема создания этого класса систем затрагивает многие известные научные направления в области системного анализа, теории иерархических и многокритериальных систем управления, обобщенного термодинамического анализа. Задача при этом осложняется высокой размерностью и переопределенностью многомерных взаимосвязанных объектов управления, присутствием фактора неопределенности большинства характеристик в целом нелинейной нестационарной системы, а также действием случайных, как правило, неконтролируемых возмущений и значительным числом параметров, недоступных для непосредственного измерения.

В этих условиях уровень требований к междисциплинарной подготовке инженерингового и эксплуатационного персонала в области современных систем автоматизации и управления определяется, как не трудно видеть, комплексом целого ряда объективных факторов. В связи с этим важнейшее значение приобретает задача создания и совершенствования адекватных средств и методов обучения в области автоматизации и управления путем интеграции фундаментального инженерного образования и современных достижений в области информационных технологий управления.

Лабораторная база, существующая в высших технических учебных заведениях, во многом не соответствует современному уровню промышленных систем и не достаточна для обеспечения требуемого уровня междисциплинарной подготовки специалистов. При этом, с одной стороны, большое число компьютерных учебников по теории автоматического управления и технологии АСУТП оторваны от практики создания промышленных систем управления и не закрывают нишу научно-экспериментальной лабораторной базы. С другой стороны, штатные компьютерные тренажеры энергоблоков электростанций и отраслевые центры переподготовки создаются под конкретное оборудование, отрабатывают в основном функции оперативного управления и не могут выполнять основную задачу — базовую междисциплинарную подготовку специалистов в области автоматизации [1–6].

Прорыв в решении этой дилеммы планировалось совершить путем строительства Учебно-тренажерного центра для ТЭС с ПГУ при реконструкции Ивановской ГРЭС (в настоящее время филиал «Ивановские ПГУ» «Интер РАО — Электрогенерация») с использованием учебно-научной базы Ивановского государственного энергетического университета как базового вуза подготовки кадров для энергетической отрасли страны. Однако предусмотренные в технико-экономическом обосновании<sup>1</sup> (выделенной строкой!) финансовые ресурсы не были направлены по запланированному назначению<sup>2</sup> [1, стр. 38]. Отметим, что соответствующая строка технического задания на 1-й, а затем на 2-й пусковой

<sup>1</sup> Технико-экономическое обоснование реконструкции Ивановской ГРЭС. - ОАО «РАО ЕЭС России», приказ №385 от 27.07.2003.

<sup>2</sup> Даже несмотря на видимую поддержку в то время Председателя Правления РАО «ЕЭС России» А.Б. Чубайса и его команды. Ни один из тогдашних руководителей РАО не высказался против необходимости для отрасли интегрированного в систему высшего образования специализированного учебного центра (Ивановская ГРЭС – ИГЭУ).



В качестве *экспериментальной установки Полигон* позволяет выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на совершенствование сложных наукоемких функций систем управления, диагностирования и др.

#### Учебно-исследовательская АСУТП как основа профессиональной подготовки

Техническая и функциональная структура «Полигона АСУТП электростанций», его математическое и программное обеспечение позволяют создавать полноценно функционирующие в режиме реального времени учебно-исследовательские АСУТП энергоблоков.

Учебно-исследовательская АСУТП — это система, которая отличается от основного (промышленного) прототипа меньшим информационным масштабом (объемом моделируемого технологического оборудования и исполнительных устройств) и некоторыми заданными ограничениями по режимам работы (рис. 2).

Особенностями типовой структуры учебно-исследовательской АСУТП являются связи между реальными и виртуальными контроллерами, которые обеспечивают межконтроллерный обмен информацией, характерный для ПТК АСУТП. Например, обработанные сигналы с реальных датчиков могут быть переданы для дальнейшего использования в алгоритмы, реализованные в виртуальных контроллерах.

Методология построения учебно-исследовательских АСУТП включает пять основных этапов.

**Этап 1.** Разработка концепции и требований к учебно-исследовательской АСУТП энергетического объекта:

- определение цели и задач создания АСУТП;
- формирование требований к задачам автоматического управления;
- формирование требований к математической и имитационной моделям объекта управления;
- обоснование выбора базового ПТК;
- выбор средств реализации имитационной модели объекта управления.

В основе разработки концепции и требований к системе лежат в основном действующие нормативные документы.

**Этап 2.** Разработка математической модели объекта управления (моделирующий комплекс) [4, 6, 7].

Является наиболее наукоемким этапом и включает:

- декомпозицию сложного объекта управления на технологические зоны и подсистемы;
- разработку математической модели для каждого компонента объекта управления;
- определение параметров математических моделей;
- разработку имитационной модели объекта управления;
- формирование взаимодействия имитационной модели объекта управления с базовым ПТК;
- комплексное тестирование и отладку имитационной модели объекта управления, и требует более полного освещения в отдельной работе.

В качестве актуального примера можно привести технологию разработки полимодельного комплекса тепломеханического оборудования энергоблоков с парогазовыми установками электрической мощностью 160... 800 МВт [6, 7].

Бинарный энергоблок представляет собой сложный многосвязный технологический объект управления с активной (газотурбинная установка — ГТУ) и пассивной утилизационной частью: котлы-утилизаторы (КУ) с паровой турбиной (ПТ), с существенно различающимися динамическими свойствами.

В условиях реальной эксплуатации при участии энергоблоков в регулировании общесистемных параметров для поддержания эффективности парогазовой установки (ПГУ) требуется совместное решение по меньшей мере трех проблем.

Первая проблема связана с технологическими особенностями построения непосредственно тепловых схем энергоблоков с ПГУ, содержащих активную газотурбинную часть с регулируемой подачей топлива в камеру сгорания и воздуха в компрессор и пассивную утилизационную часть с полным отсутствием управления тепловой нагрузкой котла-утилизатора и мощности паровой турбины. При этом, очевидно, что расчетные КПД ПГУ не могут быть достигнуты без полноценной работы утилизационной части энергоблока.

Вторая проблема определяется критичностью работы ПГУ к изменениям нагрузки и внешних климатических (температура, давление) параметров, что существенно влияет на динамические особенности температурного режима газовой турбины и требует многопараметрической оптимизации подачи топлива и воздуха в камеру сгорания. При нормативном ресурсе ГТУ  $\leq 100$  тыс. ч против 270 тыс. ч паросиловых турбин проблема способа стабилизации температурного режима газовой турбины (ГТ) становится определяющей при синтезе автоматических систем регулирования подачи топлива и воздуха.

Третья проблема связана с обоснованием информационного масштаба многофункциональной АСУТП (более 1...2 тыс. точек контроля), который формируется фирмой-поставщиком АСУТП и имеет, как правило, опытно-коммерческое происхождение. Например, температура на входе в ГТ по объективным причинам не контролируется, а измеряемая температура отработавших газов за ГТ в on-line режиме является недостаточно представительным сигналом вследствие гетерогенности системы и динамических особенностей канала измерения. Иными словами, современное состояние АСУТП и, прежде всего, локальных систем автоматического управления требует строгого теоретического обоснования вектора управляемых технологических параметров сложных ТОУ, размерность которого — одна из основных составляющих в стоимости системы.

Отметим, что в реальных условиях эксплуатации провести экспериментальные исследования по оценке влияния внешних климатических факторов на эф-

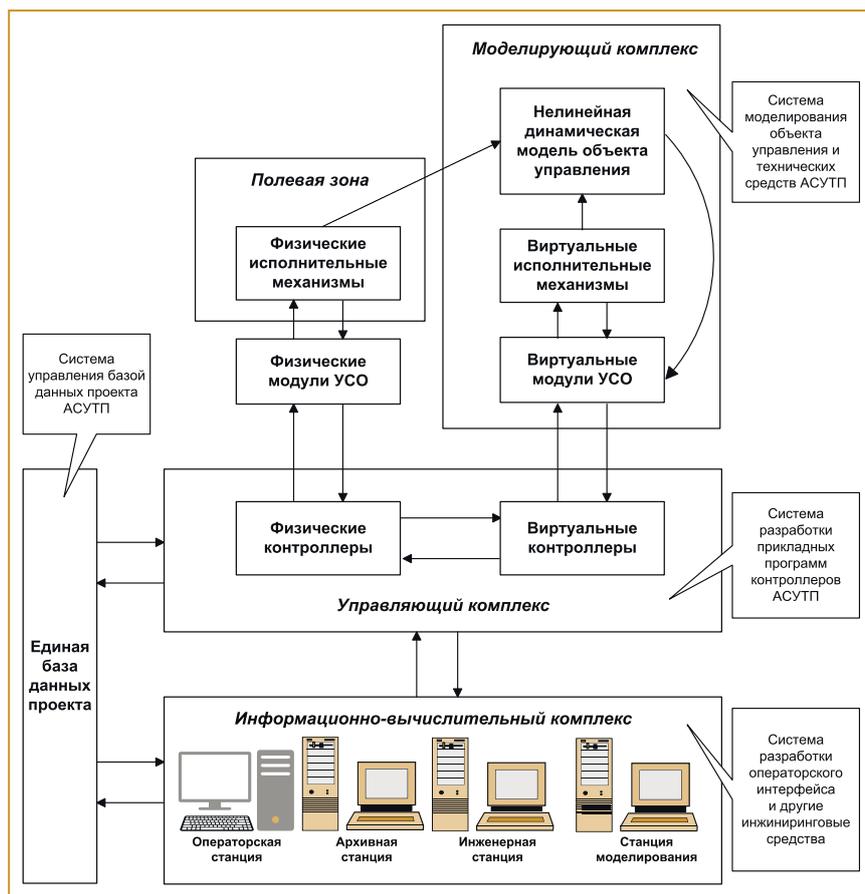


Рис. 2. Типовая структура учебно-исследовательской АСУТП

фektivность работы технологического оборудования не представляется возможным. Поэтому получаемые на Полигоне результаты исследований, выполняемые методами математического моделирования, позволяют расширить наше знание в этом направлении.

Для получения совместного решения обозначенного комплекса физических проблем структурного синтеза систем управления был разработан следующий методологический подход.

Во-первых, для поиска ответа на ключевой вопрос: «Какие параметры ПГУ необходимо контролировать?» применяются методы обобщенного термодинамического анализа эффективности сложных систем<sup>4</sup>, что позволяет получить теоретически обоснованный вектор обобщенных термодинамических координат сложного ТОУ и сформулировать соответствующие технологические задачи управления [1, 8, 9, 10].

Методика проведения обобщенного термодинамического анализа сводится к последовательному выполнению следующих шагов: в соответствии с тепловой схемой энергоблока разрабатывается обобщенный потоковый граф работ и передаваемых энергий, совершаемых в ПГУ, который наглядно иллюстрирует неразрывность взаимосвязанных составляющих частей ПГУ как сложного ТОУ; проводится анализ физических работ

<sup>4</sup> Дисциплина в учебном плане магистерской подготовки.

<sup>5</sup> В структуре системы, как и в реальных АСУТП, для этих целей может быть также предусмотрен выделенный специализированный компьютер для цифрового моделирования.

и энергий, совершаемых в рассматриваемой системе; осуществляется формирование переопределенного вектора обобщенных термодинамических координат и потенциалов ПГУ и основных технологических задач управления сложным объектом.

Поисковые модельные исследования позволили выделить ряд ключевых факторов, оказывающих существенное влияние на режим работы ГТУ, КУ, ПТ и энергоблока ПГУ в целом. В результате в структуре переопределенного ТОУ выделены два важных показателя: «массовый расход воздуха» и «тепловой поток» перед КУ [9, 10].

Во-вторых, с учетом найденного вектора обобщенных термодинамических координат управляемого объекта необходимо сформулировать дополнительные требования к построению расширенной математической модели энергоблока.

Оценка меры адекватности математической модели и многопараметрического полимодельного комплекса выполнена с привлечением трендов штатно контролируемых технологических параметров из архива АСУТП энергоблока в широком диапазоне нагрузок [6, 7].

В-третьих, необходимо обобщить (разработать) способы регулирования сложного ТОУ, а также рассмотреть возможность использования полученных результатов на практике. Это затрагивает вопросы конкретных технических решений и проблемы патентной чистоты импортного машиностроительного оборудования с встроенными системами автоматического управления [1].

Рассматриваемые модели включают, во-первых, всережимные модели объектов управления с существенно отличающимися динамическими свойствами (газовые турбины, котлы-утилизаторы, паровые турбины и пр.); во-вторых, учитывают некоторые специфические особенности ТОУ, например, для ПГУ это «плавающие» границы области регулирования тепловой мощности, соответственно — электрической нагрузки (зависит от климатических факторов).

Другая особенность моделирования — вычислительная заключается в необходимости обоснованного выбора приемлемой степени сложности имитационной модели для возможности реализации ее в режиме реального времени средствами ПТК<sup>5</sup>. Иными словами, модель технологического объекта реали-

**Режимы обучения на Полигоне**

зуется в информационно-технологической среде АСУТП, в системообразующей структуре которой функционирует технологическое оборудование. Это позволит совершенствовать информационную (интеллектуальную) поддержку оператора для автоматического вычисления причин нарушения технологических процессов и формирования рекомендаций по управлению тепломеханическим оборудованием.

**Этап 3.** Разработка подсистемы управления.

Исходные данные для разработки:

- P&I-диаграммы технологического оборудования, формирующие требования к объему контроля и информационный масштаб системы;

- сквозные информационно-функциональные структуры систем управления как отражение минимально необходимого объема автоматизации в соответствии с нормативно-техническими документами и отраслевыми стандартами.

Результат разработки:

- синтез структурно-устойчивых автоматических систем регулирования (АСР);

- параметрическая оптимизация АСР;

- заполнение оперативной базы данных АСУТП;

- разработка и реализация алгоритмов решения функциональных задач в контроллерах ПТК;

- разработка операторского интерфейса в реальной среде АСУТП.

**Этап 4.** Ввод в действие и проведение испытаний учебно-исследовательской АСУТП:

- запуск модели объекта управления в режиме реального времени;

- загрузка технологических программ в реальные и виртуальные контроллеры;

- тестирование и отладка алгоритмов подсистемы управления;

- комплексные испытания учебно-исследовательской АСУТП.

**Этап 5.** Создание рабочей и сопроводительной эксплуатационной документации по полевой зоне (поддерживается специальным комплексом автоматизированного проектирования) [8]:

- разработка модели проекта полевой зоны;

- формирование базы данных датчиков в соответствии с метрологическими требованиями;

- формирование базы данных исполнительных устройств и механизмов требуемой мощности и быстроедействие;

- разработка принципиальных и электрических схем (схемы монтажно-коммутиационные, сквозные, спецификации и проч.).

Методология разработки учебно-исследовательских АСУТП во многом повторяет технологию создания и ввода в действие системообразующих многофункциональных АСУТП энергоблоков и отличается наличием наукоемкого этапа, связанного с моделированием технологического объекта управления и обеспечением работы полимодельного комплекса в режиме реального времени.

Учебно-исследовательские АСУТП предусматривают функционирование как в режиме оперативной работы, так и в режиме проектирования и наладки. Этим они обеспечивают возможность реализации комплексного подхода к изучению на их основе всех этапов создания и эксплуатации АСУТП.

*В режиме проектирования* Полигон позволяет изучить:

- инструментальное программное обеспечение контроллеров и рабочих станций ПТК;

- проектирование человеко-машинного (операторского) интерфейса АСУТП.

При проектировании операторского интерфейса АСУТП имеется возможность освоения: основных приемов работы с редактором SCADA-системы; порядка проектирования изображений; технологии разработки видеосхем (мнемосхем).

На уровне контроллеров Полигон позволяет изучить: виртуальную структуру и содержание библиотеки алгоритмов; алгоритмические схемы типовых задач АСУТП (ввод и обработка информации, сопряжение с исполнительными устройствами, задачи автоматического регулирования и др.).

Разработанные алгоритмические схемы управления могут быть опробованы и протестированы в составе учебно-исследовательских АСУТП энергоблоков.

*В режиме наладки ПТК* Полигон позволяет освоить:

- аппаратные средства современных ПТК, состав и компоновку микропроцессорных контроллеров (модулей базового и проектно-компонованного комплектов);

- особенности монтажа как самого ПТК, так и его сопряжения с датчиками и исполнительными устройствами;

- тестирование контроллеров и модулей УСО с использованием имитаторов сигналов и калибраторов модулей УСО;

- проверку питания и заземления шкафов;

- физический пуск контроллеров.

Помимо этого, имеется возможность изучения информационно-вычислительного комплекса (конфигурирование и исполнение рабочих станций), сетевых средств (системная сеть, шлюзы, коммутаторы, концентраторы), базового программного обеспечения.

*В режиме наладки функций* Полигон обеспечивает:

- изучение и опробование управления исполнительными устройствами и технологическим оборудованием с помощью операторского интерфейса;

- опробование типовых и отработку новых алгоритмов управления;

- изучение функционирования архивной, инженерной, операторской и других станций АСУТП;

- изучение технологии ручной настройки алгоритмов систем регулирования с уровня инженерной станции;

- освоение технологии контроля качества автоматического управления и автоматизированной на-

стройки систем регулирования, а также возможность проведения научно-технической экспертизы декларированных поставщиками ПТК ключевых параметров и типовых алгоритмов. Решение такого рода задач требует построения высокоточных моделей конкретного оборудования, с оценкой меры адекватности разрабатываемых моделей технологических объектов управления [1, 4, 6, 7].

*В режиме штатной работы* Полигон функционирует как тренажерный комплекс автоматизированного энергетического объекта. При этом обучаемые получают возможность:

— изучить средства операторского интерфейса (структуру экрана операторской станции, виды изображений, иерархию видеogramм, отображение трендов сигналов технологических параметров и др.);

— приобрести навыки дистанционного управления исполнительными устройствами;

— освоить взаимодействие с отдельными функциональными задачами АСУТП и др.

Кроме того, поскольку Полигон представляет собой многорежимный программно-аппаратный комплекс, имеется возможность освоить работу с системой не только в штатных режимах, но и при различных нарушениях ее функционирования. Например, группа вахтенного персонала в реальном времени может проводить противоаварийные тренировки, отрабатывать штатные и нештатные ситуации на энергоблоке.

Режимы обучения поддерживаются необходимым учебно-методическим обеспечением в соответствии с учебными планами подготовки.

#### Состояние и перспективы использования Учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций»

Учебно-исследовательский комплекс «Полигон АСУТП электростанций» задействован в учебном процессе подготовки бакалавров, магистров и аспирантов в основном по направлению «Управление в технических системах», а также в учебном процессе института повышения квалификации специалистов энергопредприятий.

Фонд Полигона содержит как математические модели базовых элементов тепломеханического оборудования энергоблоков, компьютерные тренажеры, так и сложные полимодельные комплексы (газозутные блоки 300 и 1200 МВт, пылеугольные блоки 200, 300 и 500 МВт, блоки ПГУ-330, ПГУ-450 МВт).

Научно-технический уровень Полигона как средства поддержки и совершенствования новой технологии создания АСУТП на базе ПТК сетевой иерархической структуры определяется комплексом выполненных научных исследований, защищенных патентами на изобретения, магистерскими, кандидатскими и докторскими диссертациями.

Полигонный комплекс и его учебно-методическое обеспечение может послужить адекватным

прототипом средств решения задач эффективного (технического, экологического, экономического) функционирования сложного автоматизированного энергетического оборудования, работающего в широком диапазоне нагрузок в режиме высокоточной стабилизации частоты и напряжения на шинах конечного потребителя.

Квалификация выпускников кафедры систем управления ИГЭУ позволяет им активно включаться в производственный процесс тепловых и атомных электростанций страны, проектных и инжиниринговых компаний и организаций.

#### Выводы

1. Междисциплинарная подготовка квалифицированных кадров в области автоматизации энергетических объектов возможна путем интегрирования промышленного опыта, усилий ученых и специалистов ведущих организаций с использованием в лабораторно-практической базе развитых промышленных программно-аппаратных средств управления.

2. Учебно-исследовательский комплекс «Полигон АСУТП электростанций» построен в соответствии с технологией создания системообразующих многофункциональных АСУТП на базе современных программно-технических комплексов, что обеспечивает возможность реализации нового подхода комплексной междисциплинарной профессиональной подготовки специалистов.

3. В свете решения проблем создания отечественных газовых турбин ГТЭ большой мощности развитие представленной в настоящей статье технологии подготовки/переподготовки специалистов по междисциплинарным направлениям проектирования и эксплуатации систем управления представляется своевременным и актуальным.

#### Список литературы

1. Теория и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн.1. Проблемы и задачи. Кн.2. Проектирование. Кн.3. Моделирование. Под общей ред. Ю.С. Тверского; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». Иваново. 2013. Кн.1. 260 с. Кн.2. 436 с. Кн.3. 176 с.
2. Тверской Ю.С., Аракелян Э.К., Кузнецов С.И. Подготовка и повышение квалификации специалистов в области современных АСУТП электростанций // Теплоэнергетика. 2006. №11. С. 70-74.
3. Tverskoy Yu.S., Golubev A.V., Nikonorov A.N. The proof ground for automated process control systems of power stations: an efficient tool for training specialists and testing complex control systems // Thermal Engineering. – 2011. №10. P. 869-875.
4. Лаврентичев Д.В., Тверской Ю.С. Технология разработки и оценка меры адекватности всережимной динамической математической модели первого контура энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 // Автоматизация в промышленности. 2015. №11. С. 41-44.
5. Marcano L., Haugen F., Sannerud R., Komulainen T. Review of simulator training practices for industrial operators: How

- can individual simulator training be enabled? // Safety Science. Vol. 115. June 2019. Pages 414-424.
6. *Муравьев И.К., Маршалов Е.Д., Никоноров А.Н., Лаврентичев Д.В., Тверской Ю.С.* Технология и методология разработки полимодельных комплексов для АСУТП энергоблоков с парогазовыми установками // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. Вып. 3. С. 20-28.
  7. *Tverskoy Yu S.* Optimization of controlled processes in combined-cycle plant (new developments and researches) / Yu S Tverskoy, I K Muravev // РТРРЕ-2017. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 012290 doi: 10.1088/1742-6596/891/1/012290.
  8. *Целищев Е.С., Глянцева А.В.* Технология проектирования тепловых электростанций и методы ее компьютеризации. М.: Энергоатомиздат, 1997.
  9. *Тверской Ю.С., Муравьев И.К.* Новая схема автоматического регулирования мощности энергоблоков ПГУ и ее исследование при изменяющихся климатических факторах в широком диапазоне нагрузок // Новое в российской электроэнергетике. 2018. №8. С. 6-17.
  10. *Тверской Ю.С., Муравьев И.К.* Совершенствование систем регулирования подачи топлива и воздуха газотурбинных установок блоков ПГУ с учетом изменяющихся режимных и внешних климатических факторов // Автоматизация в промышленности. 2019. №1. С. 26-31.

*Тверской Юрий Семенович* — д-р техн. наук, проф.,  
*Целищев Евгений Сергеевич* — д-р техн. наук, с.н.с.,  
*Голубев Антон Владимирович* — канд. техн. наук, доцент,  
*Никоноров Андрей Николаевич* — канд. техн. наук, доцент,  
*Муравьев Игорь Константинович* — канд. техн. наук, доцент  
 ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина».  
 Контактный телефон (4932) 26-97-58.  
 E-mail: kafsu@su.ispu.ru

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОТЛАДКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ

**О.В. Габдулин, Р.Ф. Габитов, И.И. Исянчурин (ООО «НТЦ «ЭНЕРГОАВТОМАТИЗАЦИЯ»)**

*Представлена реализация испытательного стенда (ИС) для автоматизированных систем управления (АСУ), сочетающая возможности компьютерного тренажера и аппаратного имитатора сигналов полевого уровня. Предложен ряд решений для применения ИС на разных этапах тестирования и отладки АСУ.*

*Ключевые слова: имитационная модель, компьютерный тренажерный комплекс, сценарий испытания, испытательный стенд АСУ,*

Моделирование технологических комплексов и отдельных установок в совокупности с системами управления, де-факто ставшее стандартом обеспечения надежности и эффективности в таких отраслях, как атомная энергетика, производство газотурбинных установок, постепенно находит все большее применение в АСУ в энергетике и других отраслях. Особенно это актуально для опасных производственных объектов<sup>1</sup>. В первую очередь моделирующие программы (программные имитаторы) активно используются для компьютерного обучения операторов, однако все более доступной становится возможность внедрения данных технологий в процессы разработки и тестирования самих систем управления. Примерами таких моделирующих комплексов, охватывающих все уровни АСУ и способных работать со штатным прикладным программным обеспечением (ППО) как операторского интерфейса, так и ПЛК могут служить следующие продукты:

— программный комплекс «ЭНИКАД» [1] для создания моделирующих систем сложных технологических объектов управления (ТОУ) с предусмотренной интеграцией проекта ППО штатного атомного энергоблока в тренажер;

— компьютерный тренажерный комплекс (КТК) «Тропа» от НПФ «Круг» [2] для разработки тренажеров операторов, имеющий единый интерфейс с ПТК КРУГ-2000, обеспечивающий тем самым минимум трудозатрат при создании КТК для АСУ, создаваемых на базе ПТК данного производителя;

— КТК для энергоблоков от ЗАО «ПИК Прогресс» ([http://www.pikprogress.ru/images/publication/ВК\\_1013.pdf](http://www.pikprogress.ru/images/publication/ВК_1013.pdf)), виртуальные контроллеры которого также используют ППО контроллеров штатной АСУ.

Вместе с тем данные моделирующие комплексы не предполагают работу с АСУ на этапах испытаний, заменяя верхний уровень репликой операторского интерфейса, а нижний — виртуальными контроллерами. Тем самым они ориентированы на обучение операторов, могут применяться для проверки и отладки алгоритмов и ППО на модели ТОУ, сокращая сроки и риски пуско-наладочных работ (ПНР) на реальном объекте, но не охватывают процесс испытаний в комплексе с техническими средствами (ТС) АСУ, такими как серверное, контроллерное, кроссово-релейное, сетевое и прочее оборудование.

С другой стороны, очевидна острая необходимость использования методов моделирования в процессах

<sup>1</sup> СТО Газпром 093-2011. Компьютерные программно-вычислительные комплексы моделирования и оптимизации режимов систем добычи и трубопроводного транспорта газа. Методики оценки. Методы испытаний.