



## УЧЕБНЫЙ ИМИТАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ПЛК БАЗИС-100

М.Г. Баширов, Д.Ш. Акчурин (Филиал УГНТУ в г. Салавате),  
И.И. Костиков, К.Г. Николаев (ООО «Газпром нефтехим Салават»)

*Поднята проблема подготовки в высших технических учебных заведениях специалистов для работы со средствами автоматизации отечественных производителей. Рассматривается реализованный проект учебного имитационно-моделирующего комплекса на основе контроллера БАЗИС-100 (производство АО «Экоресурс» г. Воронеж). Отмечается актуальность проблемы дистанционного обучения студентов с использованием виртуальных дистанционных и модулируемых лабораторий.*

*Ключевые слова: имитационно-моделирующий комплекс, программируемый логический контроллер, эмулятор контроллера, виртуальный объект управления, дистанционное обучение.*

### Введение

В условиях современных политико-экономических реалий для нефтегазовой отрасли промышленности России стал актуальным вопрос импортозамещения средств и систем автоматизации технологических процессов и производств. Исторически сложилось так, что последние десятилетия в АСУТП ведущих российских предприятий нефтехимии и нефтепереработки использовались программно-технические комплексы преимущественно зарубежных компаний. Однако в связи с введением экономических санкций против РФ, предприятия нефтехимии и нефтепереработки при строительстве, реконструкции и модернизации объектов стали ориентироваться на средства автоматизации отечественных производителей. Отметим, что помимо санкций интерес к отечественным производителям средств автоматизации в последние годы обусловлен еще и тем, что благодаря использованию новых технологий и современной элементной базы качество изготовления отечественных средств автоматизации стало сопоставимо с зарубежными. Отечественные фирмы обеспечивают соответствие выпускаемых ими изделий российским техническим регламентам и стандартам; требования которых зачастую более жесткие, чем у зарубежных аналогов, более высокий уровень технической поддержки, предоставляют русскоязычную документацию к своим изделиям; у них обычно меньший срок поставки изделий и запасных частей и все это при существенно более низкой стоимости продукции [1, 2]. В связи с началом широкого использования на предприятиях нефтегазового производства современных средств автоматизации и программно-технических комплексов отечественных производителей, возникла потребность в специалистах, имеющих практические умения и навыки монтажа, наладки, ремонта и эксплуатации АСУТП, построенных на их основе. Для подготовки таких специалистов учебные заведения должны иметь лабораторные установки и комплексы на основе

отечественных средств автоматизации, позволяющие учащимся получить необходимые умения и навыки.

В настоящее время во всех сферах человеческой деятельности активно внедряются цифровые технологии, объединяемые вместе понятием четвертой промышленной революции (Industry 4.0). Среди этих технологий присутствуют цифровые двойники и виртуальные модели. В контексте подготовки и переподготовки специалистов данные технологии используются для решения следующих задач:

- исследование функциональных возможностей автоматизированных установок и программно-технических комплексов (ПТК) как физических, так и виртуальных;
- разработка проектов файлов конфигураций ПТК и отладка их на аппаратном обеспечении и/или виртуальной модели.

Для этого требуется создание новых или расширение функциональных возможностей уже существующих лабораторных установок учебных заведений путем дополнения их виртуальными объектами управления и средствами автоматизации для организации выполнения работ, в том числе в дистанционном формате. Последнее стало актуально в период пандемии, когда практически все занятия в учебных заведениях, включая и лабораторные, были переведены на дистанционную форму [3, 4].

Основой одной из таких установок стали ПЛК БАЗИС-100 и его программа-эмулятор. Эмулятор данного ПЛК [4] совместно со средой для конфигурирования и отладки позволяет реализовать полноценную виртуальную систему управления объектом автоматизации.

Рассмотрим учебный имитационно-моделирующий комплекс, состоящий из лабораторного стенда с объектом управления в виде физической модели печи нагрева и ПЛК, а также его виртуальной модели с виртуальными имитаторами сигналов от датчиков, объектом управления и средством автоматизации. Комплекс позволяет выполнять

лабораторные работы по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» в очном и дистанционном форматах с использованием как лабораторного стенда, так и его виртуальной модели.

#### Преимущества и недостатки виртуализации лабораторных работ

В вузах для выполнения лабораторных работ по указанному направлению используются учебные лабораторные установки, содержащие современные программно-технические комплексы, позволяющие реализовать сложные законы управления. Но в качестве объектов управления в этих работах обычно выступают простейшие гидравлические или тепловые объекты, для управления которыми не используются в полной мере функциональные возможности программно-технических комплексов, поэтому обучающиеся не имеют возможности приобретения необходимых умений и навыков настройки и эксплуатации систем автоматического управления сложными технологическими процессами.

В последние годы в учебный процесс вузов активно внедряются цифровые технологии, с использованием которых создаются виртуальные модели и целые виртуальные лаборатории. Виртуальная модель — это модель физического объекта, которая имитирует его работу в реальном времени на компьютере или ноутбуке. Виртуальная лаборатория представляет собой программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить исследования без непосредственного контакта с реальными установками или при полном отсутствии реальных установок. В первом случае имеем дело с виртуальной лабораторией с удаленным доступом, в состав которой входят реальные лабораторные установки, программные и технические средства для управления установками и получения экспериментальных данных, средства коммуникации между преподавателем и обучающимися. Такие лаборатории называются виртуальными дистанционными лабораториями. Во втором случае все лабораторные установки и исследуемые процессы полностью моделируются при помощи компьютерных программ, такие лаборатории называются виртуальными моделируемыми лабораториями.

К преимуществам виртуальных моделируемых лабораторий можно отнести:

- возможность получить определенные навыки управления технологическими процессами (в условиях пандемии инте-рес вузов к данному подходу многократно возрос);
- низкая стоимость, компактность, скорость проектирования и разработки по сравнению с физическими аналогами;
- вариативность и скорость проведения экспериментов с возможностью оперативного вмешательства в ход технологического процесса (последнее может также являться недостатком).

Однако виртуальные моделируемые лаборатории имеют ряд недостатков:

- отсутствие тактильных ощущений и практических навыков работы с инструментом и измерительными приборами, необходимыми в профессиональной деятельности;

- минимальное общение обучающихся с преподавателем в процессе выполнения виртуальных лабораторных работ (как правило, обучающиеся получают основные профессиональные умения и навыки в процессе общения с преподавателем при выполнении лабораторных работ);

- возможность легкого вмешательства в ход технологического процесса и его останова в любой момент без страха изменять любые параметры (все это формирует и закрепляет чувство «безнаказанности» за неправильно принятые решения и действия, что в последствии может негативно проявиться при работе на реальных объектах);

- первоначально выполнение виртуальных лабораторных работ воспринимается обучающимися с энтузиазмом, как продолжение привычных с детства компьютерных игр, но со временем, почувствовав разницу между условиями работы с виртуальными объектами и реальными условиями работы на производстве, они теряют к ним интерес, что сказывается на качестве обучения, и, соответственно, на качестве подготовки специалистов.

Очевидно, что невозможно подготовить специалиста, который знаком с объектами профессиональной деятельности только в виде их компьютерных моделей. В процессе обучения необходимо сочетать выполнение как реальных, так и виртуальных лабораторных работ с учетом их достоинств и недостатков.

#### Описание лабораторного стенда

Рассмотрен учебный имитационно-моделирующий комплекс на основе программируемого логического контроллера БАЗИС-100 и его программы-эмулятора, состоящий из лабораторного стенда с объектом управления в виде физической модели печи нагрева и виртуальной модели стенда.

ПЛК БАЗИС-100 — это модульный контроллер, который предназначен для построения систем управления и ПАЗ. Все модули располагаются в отдельных корпусах и объединены между собой дублированным интерфейсом. ПЛК полностью поддерживает все функции аппаратного и программного резервирования модулей с возможностью их «горячей» замены, а также «горячей» загрузки новой конфигурации и программы. Управление осуществляется при помощи логической программы [3-5].

Эмулятор ПЛК БАЗИС-100 совместно с программой конфигурирования контроллера имеют следующие функциональные возможности:

- имитировать дискретные входные сигналы с возможностью их включения/отключения вручную или автоматически;
- имитировать аналоговые входные сигналы различных видов;
- эмулировать работу процессорного модуля в реальном масштабе времени и/или в пошаговом режиме;
- полностью эмулировать работу модуля панели управления, включая визуализацию, сигнализацию и управление, а также ведение трендов, системного архива и хозяйственной статистики; отображать состояние и значения любых параметров (каналы, регуляторы, стадии циклограммы, алгоблоки программы и пр.) контроллера в любой момент времени работы;

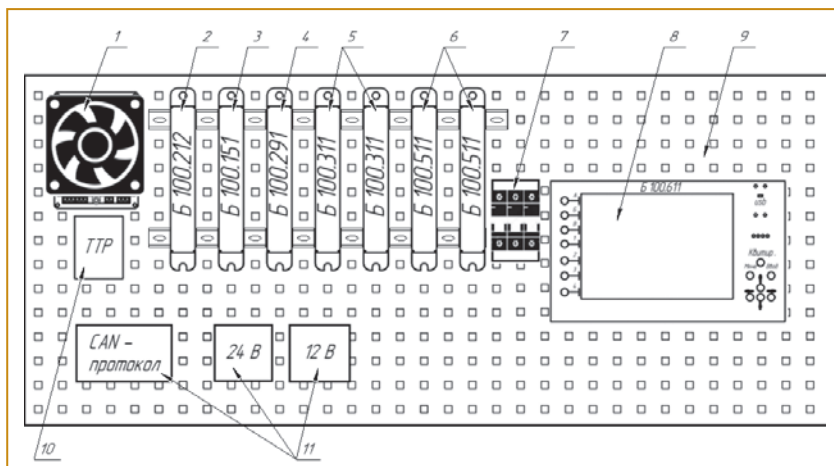


Рис. 1. Расположение модулей ПЛК БАЗИС-100 и оборудования лабораторного стенда на перфорированной монтажной панели, где 1 – эмулятор печи ЭП10 с охлаждающим вентилятором, встроенным датчиком температуры и светодиодным индикатором; 2 – выходной модуль релейный; 3 – входной температурный модуль; 4 – выходной модуль токовый; 5 – процессорные модули; 6 – блоки питания; 7 – автоматический выключатель; 8 – панель управления; 9 – электромонтажная панель ПЭМ-18; 10 – твердотельное реле RTR-40LA; 11 – клеммные коробки

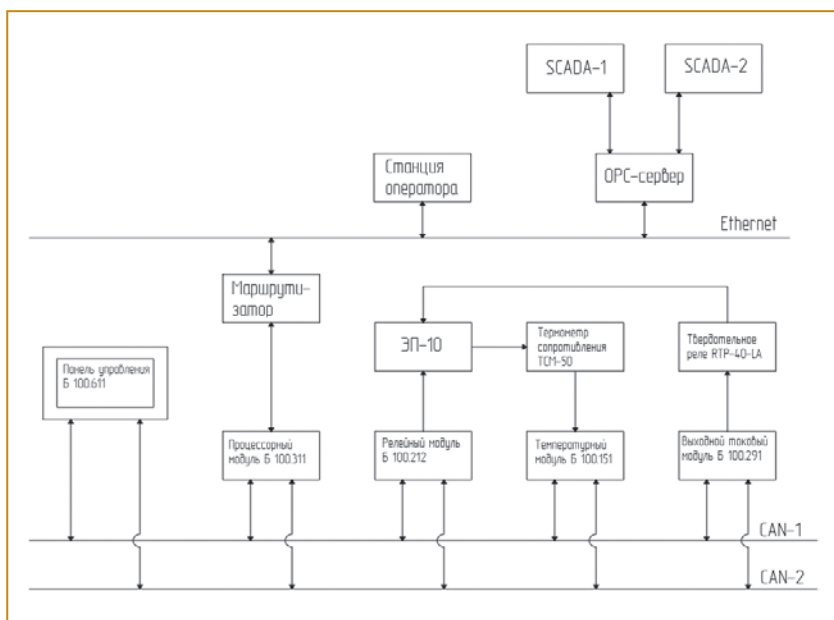


Рис. 2. Структурная схема лабораторного стенда

- отлаживать логическую программу пошагово или блоками с использованием безусловных или условных точек останова;
- эмулировать состояния физических выходных каналов;
- имитировать нештатные ситуации (обрывы каналов, отказы модулей и пр.).

Таким образом, имеющиеся программные и технические средства позволяют реализовать учебные имитационно-моделирующие комплексы и дополнения к виртуальным средствам и объектам управления.

При реализации лабораторного стенда имитационно-моделирующего комплекса на основе ПЛК БАЗИС-100 была использована базовая структура контроллера в составе

следующих основных модулей: входные аналоговые; выходные управляющие токовые или дискретные; процессорные; питания; панель управления.

Контроллер реализует специальные функции ПАЗ, такие как разрешение пуска, блокировки, в том числе с памятью. Позволяет реализовать контуры регулирования как с простой, так и каскадной схемой по ПИ-/ПИД-законам, реализовать специальные алгоритмы.

Физический учебный лабораторный стенд дает возможность обучающимся ознакомиться с реальными техническими средствами автоматизации и объектами управления, освоить практические навыки работы с инструментом, измерительными приборами, получить умения и навыки монтажа, наладки, программирования и эксплуатации современных микро-процессорных средств автоматизации. Для реализации физического лабораторного стенда необходимы следующие основные элементы [6, 7]:

- ПЛК БАЗИС-100 (типовой состав описан выше);
- индикаторы состояний и значений выходных сигналов;
- PC-совместимый компьютер с установленной программой конфигурирования контроллера БАЗИС-100;
- преобразователи интерфейсов, соединительные кабели, клеммные коробки, концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы и другие устройства для связи ПЛК БАЗИС-100 с датчиками, исполнительными устройствами и компьютером.

Модули контроллера БАЗИС-100 и остальное оборудование лабораторного стенда смонтированы на перфорированной монтажной панели стола наладчика СНП 07.18.03 HPL-ESD с использованием DIN-реек (рис. 1).

Объектом управления в лабораторном стенде является физическая модель печи нагрева — эмулятор печи «ЭП10 ОВЕН». Эмулятор печи содержит электрический нагреватель мощностью 10 Вт, термометр сопротивления ТСМ 50М, светодиодную индикацию включения нагревателя. Питание эмулятора печи осуществляется от источника переменного напряжением 220 В с частотой 50 Гц. Для управления нагревом печи стандартизированным выходным сигналом контроллера 4...20 мА используется твердотельный регулятор напряжения RTR-40LA, который работает как диммер — управляет мощностью эмулятора печи. Для оказания возмущающих воздействий на эмулятор печи используется вентилятор, управляемый контроллером, который может быть использован также в



Рис. 3. Пользовательский интерфейс панели оператора



Рис. 4. Пользовательский интерфейс в Simple-SCADA



Рис. 5. Внешний вид лабораторного стенда

каскадных схемах управления работой печи. Структурная схема лабораторного стенда представлена на рис. 2 [8, 9].

Управление лабораторным стендом может осуществляться как через панель управления контроллера (рис. 3),

так и через SCADA-систему, установленную на персональном компьютере (рис. 4).

При необходимости объединения нескольких различных устройств по Ethernet протоколу связь контроллера с компьютером, на котором установлена SCADA-система, осуществляется через маршрутизатор.

Внешний вид лабораторного стенда представлен на рис. 5.

Для создания цифровой модели лабораторного стенда необходимы [10]:

- персональный компьютер или ноутбук;
- программа конфигурирования и эмулятор контроллера БАЗИС-100.

Отметим, что эмулятор ПЛК БАЗИС-100 создан с применением технологии единого источника: весь программный код, изначально разработанный под архитектуру ARM-процессоров, которая используется в контроллерах серии БАЗИС, адаптирован под архитектуру x86, применяемую в PC-совместимых компьютерах. Подробно методика создания цифрового двойника лабораторного стенда с использованием программы конфигурирования и эмулятора контроллера БАЗИС-100 описана в работе [4].

Объектом управления в виртуальной модели лабораторного стенда является математическая модель печи нагрева ЭП10<sup>1</sup>:

$$T_2 = \frac{5t(i - 4)}{8cm} - \frac{\alpha t S(T_1 - T_0)}{cm} + T_1,$$

где  $\alpha$  — количество теплоты, отдаваемое с 1 м<sup>2</sup> поверхности за единицу времени при единичном температурном напоре, Вт/м<sup>2</sup>;  $c$  — удельная теплоемкость материала, Дж/кг·°C;  $m$  — масса тела, кг;  $T_1$  — начальная температура тела, °C;  $T_2$  — конечная температура тела, °C;  $i$  — текущее значение тока входного сигнала, mA;  $t$  — время, с;  $S$  — площадь корпуса нагревательного элемента, м<sup>2</sup>.

Объединение физического лабораторного стенда и его виртуальной модели образует имитационно-моделирующий комплекс. Последний содержит как физические модели объектов управления и реальные технические средства контроля, измерения, управления, так и их цифровые модели, позволяющие обучающимся получить и закрепить теоретические знания и практические умения и навыки по разработке, монтажу, наладке, ремонту и эксплуатации современных систем автоматического управления на основе отечественных программно-технических комплексов. Для установления взаимосвязи между физическим лабораторным стендом и его виртуальной моделью разрабатывается

<sup>1</sup> Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021616647 от 23.04.2021. Программа моделирования электрической печи нагрева / М.Г. Баширов, А.С. Хисматуллин, И.И. Костиков, К.Г. Николаев. Заявка № 2021615301 от 12.04.2021.

конфигурация, включающая обе системы. Данная конфигурация и параметризация загружаются в контроллер, который параллельно работает с физическим стендом и его виртуальной моделью. Данные с физического стенда и виртуальной модели отправляются через OPC-сервер на SCADA-систему; через нее осуществляется управление обеими системами. Управление системами можно осуществлять также непосредственно через панель управления контроллера<sup>2</sup>.

В имитационно-моделирующей комплекс можно добавлять виртуальные объекты и средства автоматизации, тем самым приближая учебную модель к реальному технологическому процессу и расширяя функциональные возможности комплекса (рис. 6). Для этого необходимо разработать или использовать готовые математические модели объектов и средств управления и сконфигурировать контроллер с использованием этих моделей. Работа виртуальной модели стенда основана на эмуляции работы реального программируемого логического контроллера, поэтому программы и модели технологических процессов, разработанные для него, могут применяться при работе с физическим стендом.

Имитационно-моделирующий комплекс (рис. 7) позволяет выполнять лабораторные работы как в очном, так и в дистанционном формате. При дистанционном выполнении лабораторных работ в off-line режиме виртуальная модель лабораторного стенда может запускаться на персональном компьютере с использованием программы «Эмулятор БАЗИС-100», которая полностью эмулирует действия контроллера. При дистанционном выполнении лабораторных работ в on-line режиме используются вспомогательные программы, которые позволяют подключиться к имитационно-моделирующему комплексу напрямую, через сеть Internet. Это позволяет выполнять лабораторные работы как на физическом стенде, так и его виртуальной модели, так как конфигурация контроллера содержит обе эти части. Для дистанционного подключения к имитационно-моделирующему комплексу через сеть Internet могут быть использованы программы Team Viewer, Radmin, Ammuu Admin, Remote Master, Удаленный рабочий стол Chrome. Каждая из этих программ имеет определенные достоинства и недостатки, поэтому выбор конкретной программы остается за пользователем имитационно-моделирующего комплекса.

Разработка виртуальных моделей существующих физических лабораторных установок, дополнение их виртуальными объектами управления и средствами автомати-

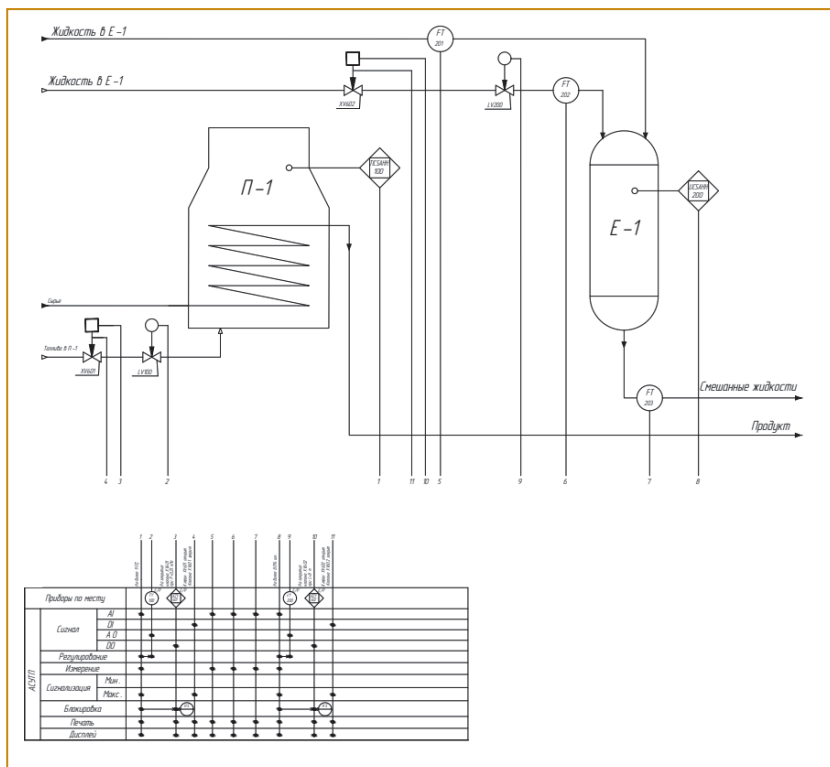


Рис. 6. Пример расширения имитационно-моделирующего комплекса добавлением виртуального объекта управления и средств автоматизации



Рис. 7. Имитационно-моделирующий комплекс на основе ПЛК БАЗИС-100 в составе учебной лаборатории

зации и интеграция их с помощью OPC-серверов с вновь создаваемыми имитационно-моделирующими комплексами позволяет создавать учебные лаборатории, сочетающие достоинства виртуальных лабораторий с удаленным доступом и виртуальных моделируемых лабораторий.

**Заключение**

В результате реализации проекта был разработан учебный имитационно-моделирующий комплекс «Системы автоматического управления», состоящий из физического

<sup>2</sup> Патент на полезную модель. Учебный лабораторный стенд для изучения технических средств автоматизации и основ управления технологическими процессами. Положительное решение по заявке № 2021110458/28 (022466) от 13.04.2021 / М.Г. Баширов, А.С. Хисматуллин, Н.А. Кислицын, Д.Ш. Акчурин.

стенда на основе контроллера БАЗИС-100 и виртуальной модели этого стенда. Лабораторный комплекс предназначен для использования в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств», при повышении квалификации специалистов по АСУ ТП и КИП. Комплекс позволяет проводить занятия как в очном, так и в дистанционном формате, может дополняться виртуальными объектами управления и средствами автоматизации. Проект был выполнен в рамках внутривузовских грантов «Лидер УГНТУ — 2020 и 2021» по созданию имитационно-моделирующего комплекса и расширения его функциональных возможностей.

#### Список литературы

1. *Андриянов И.Н.* ПЛК БАЗИС-100 — современное решение для автоматизации технологических процессов / И. Н. Андриянов // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. 2012. № 4. С. 1-5.
2. *Андриянов И.Н.* Контроллеры серии БАЗИС. Импортзамещение для АСУ ТП и ПАЗ / И.Н. Андриянов, С.В. Тучинский // Техсовет. 2018. С. 50-53.
3. *Андриянов И.Н.* Автоматизация нефтегазовых производств с использованием контроллеров серии БАЗИС / И.Н. Андриянов, И.В. Маслова // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. 2019. № 2. С. 1-9.
4. *Андриянов И. Н.* Индустрия 4.0 на практике: виртуальный стенд объекта автоматизации / И. Н. Андриянов // Приборы и системы для автоматизации. 2020. № 3. С. 1-9.
5. *Прахов И.В.* Разработка системы автоматического управления станцией дозирования водооборотных узлов на базе ПЛК БАЗИС-100 / И.В. Прахов, М.Г. Баширов, М.М. Кутлумухаметов, Р.Р. Хакимов // В сборнике: Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля — 2020. Тр. межд. научно-методической конференции. 2020. С. 197-200.
6. *Прахов И.В.* Разработка виртуального стенда с адаптивной системой управления на FBD-подобном языке программирования / И.В. Прахов, М.Г. Баширов, М.М. Кутлумухаметов, Р.Р. Хакимов // В сборнике: Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля — 2020. Тр. межд. научно-методической конференции. 2020. С. 203-206.
7. *Костиков И.И., Николаев К.Г., Баширов М.Г., Прахов И.В.* Создание имитационно-моделирующего стенда «Системы автоматического управления» на основе современного отечественного программно-технического комплекса «БАЗИС-100» / И. И. Костиков, К. Г. Николаев, М. Г. Баширов, И. В. Прахов // В сборнике: Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля — 2020. Тр. межд. научно-методической конференции. 2020. С. 231-233.
8. *Прахов И.В.* Разработка системы автоматического управления станцией дозирования реагентов водооборотных узлов на базе ПЛК БАЗИС-100 / И.В. Прахов, М.Г. Баширов, М.М. Кутлумухаметов, Р.Р. Хакимов // Перспективы науки. 2020. № 6. С. 23-27.
9. *Костиков И.И.* Разработка лабораторного стенда на основе технологического процесса нагрева печи с использованием промышленного отечественного программируемого логического контроллера «БАЗИС-100» / И.И. Костиков, К.Г. Николаев, М.Г. Баширов, И.В. Прахов // В сборнике: Наука. технология. производство. Тр. всероссийской научно-технической конференции. 2021. С. 426-429.
10. *Костиков И.И.* Создание виртуальной модели учебного лабораторного стенда на основе современного отечественного программно-технического комплекса «БАЗИС-100» / И.И. Костиков, К.Г. Николаев, М.Г. Баширов, И.В. Прахов // В сборнике: Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля — 2020. Тр. межд. научно-методической конференции. 2020. С. 234-236.

*Баширов Мусса Гумерович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», Акчури Дамир Шамилович — магистр по направлению автоматизация технологических процессов и производств, ассистент кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» филиала ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате,*

*Костиков Илья Игоревич и Николаев Кирилл Григорьевич — магистры по направлению автоматизация технологических процессов и производств, специалисты по АСУ ТП ООО «Газпром нефтехим Салават».*  
E-mail: eapp@yandex.ru, akihiro177@mail.ru, kostikov@hotmail.com, NikolaevKfd@yandex.ru