

УДК 004.94

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ И ТРЕНИНГА ОПЕРАТОРОВ  
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов**

*Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического  
оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ»; kras@tambov.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** виртуальный тренажер; обучение студентов; переподготовка кадров; химико-технологическая система.

**Аннотация:** Рассмотрены основные аспекты создания автоматизированной информационной системы, предназначенной для обучения студентов и операторов основам работы на химико-технологических системах. Представленный тренажер предназначен для обучения студентов по специальности «Машины и аппараты химических производств» и переобучения персонала производства пигмента красного ОАО «Пигмент».

---

Современный уровень развития промышленности предъявляет высокие требования к квалификации обслуживающего персонала, по использованию новых продуктов, уникальных инновационных технологий, современного высокотехнологичного оборудования, а также компьютеризации многих производственных процессов.

Проблема подготовки новых кадров для химической промышленности является актуальной. Программы обучения студентов не включают достаточного количества практических занятий, ориентированных на реальный производственный процесс, поэтому существует разрыв между производством и обучением. Студенты не приобретают навыков, необходимых для работы на объектах химической промышленности, поэтому для обучения высококвалифицированного персонала необходимо внедрять целевую подготовку кадров. Первоначальную подготовку кадров для предприятий целесообразно вести именно на этапе обучения в вузе. Это позволяет вывести на новый уровень степень подготовленности персо-

нала. В рамках целевой подготовки в вузе студенты, помимо фундаментальных знаний, должны получать основные навыки работы в штатных и аварийных режимах работы химических систем. В идеале обучение специалистов должно проводиться с использованием промышленного оборудования. Когда же обучение специалистов в условиях, приближенных к заводским, невозможно, предлагается применять виртуальные тренажеры, имитирующие реальный объект. Их внедрение еще на этапе вузовского обучения позволяет организовать на требуемом уровне подготовку обслуживающего персонала и значительно повысить надежность функционирования системы.

На сегодняшний момент управление технологическими системами большинства химических предприятий происходит с использованием автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП). Обслуживающий персонал имеет возможность комфортного наблюдения и оперативного влияния на ход технологического процесса: выделение пользователем интересующих его фрагментов объекта на схеме; развертка их на экран монитора с визуализацией дополнительных параметров; вывод на экран на фоне фрагмента технической системы графиков изменения параметров с заданной глубиной по времени и т.д. [1]. Наличие контроля за проходящим процессом со стороны АСУ ТП существенно облегчает задачу оператора, но только в том случае, если процесс протекает в штатном режиме. Если в процесс вносится некоторое возмущающее воздействие, то, во многих случаях, оператор оказывается просто не готов к принятию необходимых мер по ликвидации данного возмущения. Для многоассортиментных химических производств, осуществляющих выпуск продукции в периодическом режиме, практически невозможно добиться выхода идентичных по химическому составу и потребительским свойствам партий продукта. Это связано со спецификой данного вида производств: различие в партиях сырья, прямая зависимость от поставщиков тепло- и энергоресурсов и т.п., что накладывает отпечаток и на работу оператора. Он вынужден следить не только за временем обработки партии на стадиях процесса, но и за внушительным перечнем показателей хода технологического процесса (температура, давление, химический состав обрабатываемой партии и другие), так как эти характеристики в некоторых случаях могут меняться во времени, причем значительно.

Подготовить будущего оператора к адекватному восприятию информации и своевременному реагированию на процесс управления технической системой – это главная задача, которая ставится в процессе обучения. Достичь данного результата можно только путем системного подхода к решению данного вопроса. Прежде всего, обучаемый должен знать весь цикл производства, то есть регламент производства продуктов, расположение оборудования и трубопроводов непосредственно в цехе, план ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС). Как правило, просто ознакомиться с нормативной документацией бывает крайне недостаточно, так как даже очень хорошие знания регламента и ПЛАС не дают гарантии, что в необходимый момент оператор правильно их применит. Именно поэтому возникает необходимость формирования у студентов требуемых устойчивых знаний, навыков и умений по своевременному и правильному принятию решений в штатных и аварийных ситуациях управления технической системой.

Данная задача успешно решается с использованием специальных тренажерных комплексов, которые направлены на всестороннюю подготовку студентов к различным условиям протекания производственного процесса.

Прежде чем приступить к разработке тренажерного комплекса, необходимо определиться с его структурой. Разработанная и представленная на рис. 1 функциональная модель включает основные этапы подготовки оператора.

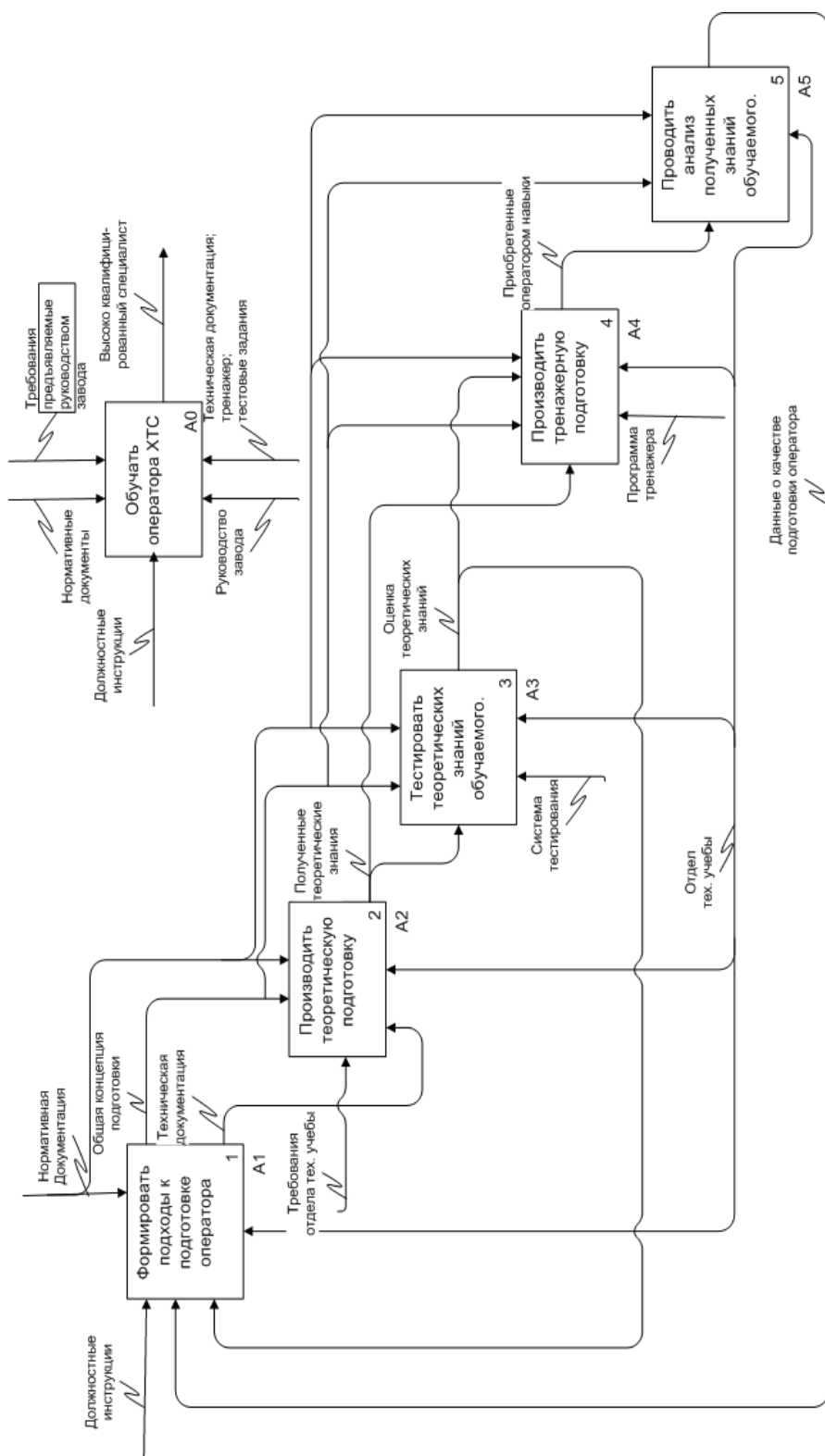


Рис. 1. Функциональная модель обучения оператора химико-технологической системы

Современные АСУ ТП создаются на базе SCADA-систем. Использование компьютерной техники позволяет существенно облегчить задачу оператора, так как современные устройства сбора данных позволяют в реальном времени снимать показания приборов со всех аппаратов системы и передавать ее на пульт управления оператора. Поэтому и разработку виртуальных тренажеров логично производить именно с использованием SCADA-систем, так как это позволяет добиться почти полного соответствия передней панели тренажера и пульта управления оператора [2].

При разработке виртуального тренажерного комплекса использовалась среда программирования LabVIEW. Ее применение обусловлено возможностью практически полной имитации реальной панели пульта управления оператора, поддержкой протоколов TCP/IP и HTTP с целью создания сетевой версии комплекса, комфортностью среды разработки и совместимостью с современными языками программирования, кроссплатформенностью, наличием удобного отладчика, доступностью.

Необходимость использования сетевых протоколов появляется в том случае, когда технической системой управляет не один оператор, а несколько, что, в свою очередь, несет потенциальную опасность при их взаимодействии. Поэтому виртуальный тренажер включает рабочие места для нескольких обучаемых, которые разнесены по разным рабочим станциям и взаимодействуют по сетевым протоколам. Применение тренажеров с использованием системы «группа студентов – инструктор» приводит также к отработке взаимодействия между обучаемыми, направленного на снижение влияний возмущающих факторов.

Предлагаемая структура автоматизированной информационной системы (АИС) обучения студентов и тренинга операторов химико-технологической системы (ХТС) представлена на рис. 2 и включает следующие основные модули.

1. Модуль предварительных настроек предназначен для установки начальных параметров работы АИС, выбора моделируемой технической системы и продукта, идентификации обучающегося и инструктора.

2. Тренажерный комплекс предназначен для выработки практических навыков управления ТС в штатных режимах, а также проверки правильности и своевременности действий обучаемых при возникновении внештатных и аварийных ситуаций. Комплекс включает:

2.1) модуль сетевого взаимодействия, обеспечивающий тренинг группы студентов, осуществляющих совместное управление ТС; формирование сценариев тренинга и возмущающих воздействий со стороны преподавателя; совместную работу других модулей;

2.2) модуль преподавателя отображает панели формирования задания для тренинга и генерации возмущений в ходе его проведения; контроля текущего состояния тренинга и просмотра базы протоколов тренинга;

2.3) модули обучаемых позволяют отображать структуру ТС и ее фрагментов, а также текущее состояние технологического процесса: панели пультов управления ТС и вызова служб предприятия; окна сопутствующей информации и взаимодействия с другими операторами; справочную панель;

2.4) модуль анализа результатов формирует и отображает результаты тренинга; выявляет наличие «узких» мест, соответствующих наиболее частым ошибкам и неправильным действиям, которые могут привести к серьезным авариям; оценивает уровень взаимодействия группы обучаемых и противостояния возникающим аварийным ситуациям.

3. Информационно-справочный модуль включает: файлы справок по работе с АИС; описание регламентов выпуска продукции; чертежи и схемы технических систем; 3D-модели технологического оборудования, входящего в состав технической системы (ТС); мультимедийные ролики, демонстрирующие процесс выпуска продукции и работу оператора.

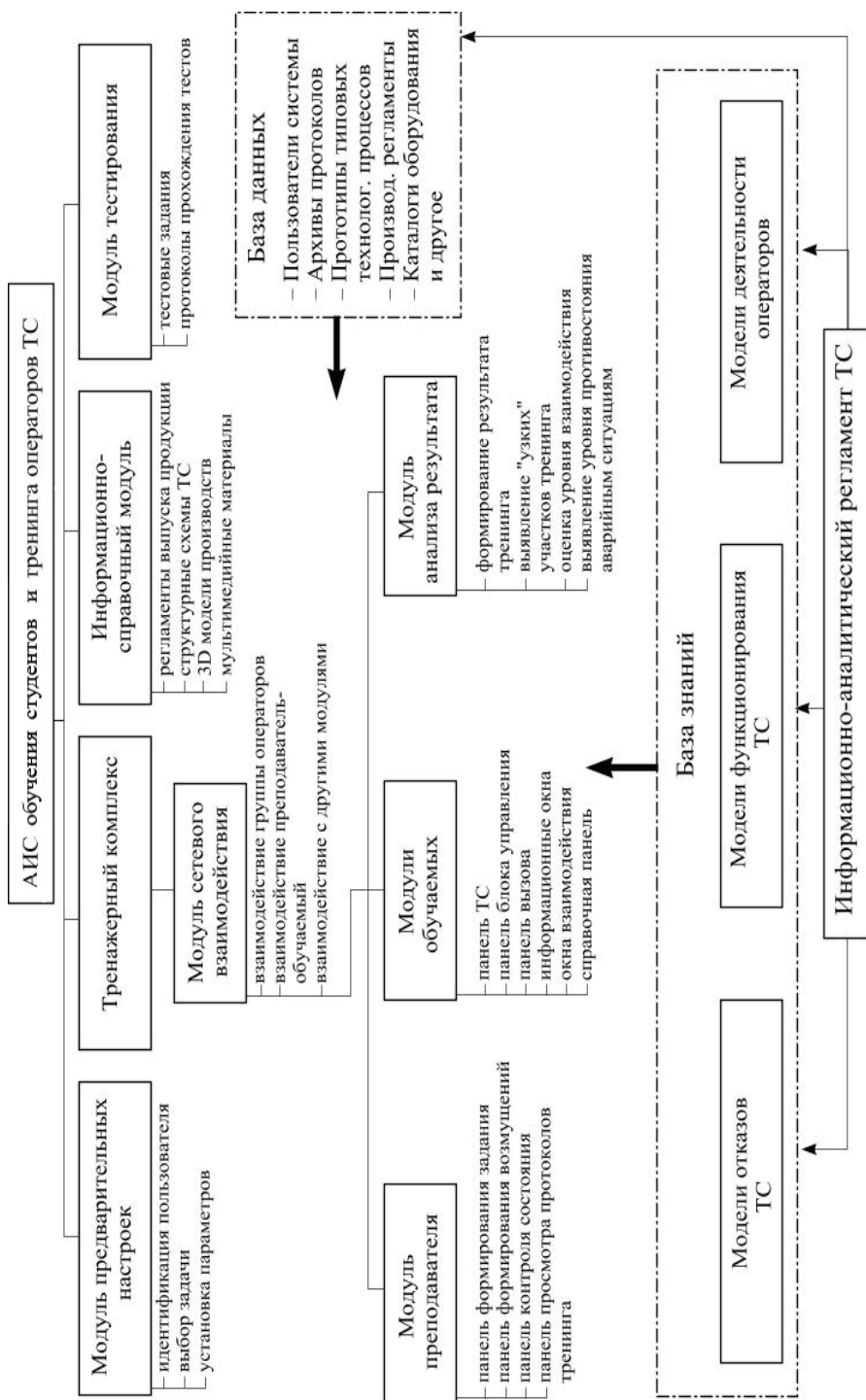


Рис. 2. Структура АИС обучения студентов и тренинга операторов ХТС



Рис. 3. Информационные потоки процесса обучения оператора ТС на тренажерном комплексе

4. Модуль тестирования реализует функции проверки теоретических знаний обучаемого в предметной области, а также знание технологических процессов, моделируемых в АИС. Включает файлы с тестовыми заданиями и протоколами тестирования обучающихся.

В ходе анализа участия оператора в производственном процессе были разработаны схема информационных потоков (рис. 3) и модель деятельности оператора  $M$ , используемые при разработке тренажерного комплекса

$$M = S(A, B, X, Y, O, Z, H),$$

где  $A = \{a_i\}^n$  – множество  $n$  значений управляющих элементов пульта (переменные положения запорной арматуры, включения/выключения перемешивающих устройств, нагревателей и др.);  $B = \{b_i\}^m$  – множество  $m$  значений индикаторов пульта (переменные значений объемов реагентов, температуры в аппарате или теплоносителя, давления в аппарате и др.);  $X = \{x_i\}^k$  – множество  $k$  воздействий на органы управления ТС;  $Y = \{y_i\}^l$  – множество  $l$  значений параметров состояния оборудования технологической схемы;  $O = \{o(x_i, y_i)\}^j$  – множество  $j$  ограничений на допустимые параметры технологического процесса (ограничения на объем или массу передаваемых реагентов, максимальные/минимальные значения температуры или давления в аппарате и др.);  $Z = \{z_i\}^e$  – множество  $e$  логических функций изменения состояний;  $H = \{h_i\}^f$  – множество  $f$  состояний функционирования ТС, формируемых на основе информационно-аналитического регламента системы и возможных действий оператора и инструктора;  $S = S(a_i, b_i, x_i, y_i, o_i, z_i, h_i)$  – сценарий тренинга.

Информационно-аналитический регламент представляет собой информационный комплекс, содержащий модули описания общей информации о технической системе, выпускаемых продуктах, аппаратурном оформлении, а также моделях деятельности операторов.

В ходе реализации сценария тренинга происходит преобразование потоков  $X$  и  $Y$  в потоки  $A$  и  $B$ , определяемое функциями перехода

$$A = \alpha(X) \text{ и } B = \beta(Y).$$

Для описания ядра продукции используем логические функции вида:

ЕСЛИ условие, ТО действие 1, ИНАЧЕ действие 21.

Например, для производства пигмента красного на стадии сочетания диазотированного 4-нитроанилина с натриевой солью 2-нафтола работу перемешивающего устройства аппарата 25 (рис. 4) можно описать следующим образом:

ЕСЛИ  $B_1 \geq O_1 \wedge B_1 \leq O_1$ , ТО  $B_6 = 1$ ;

ЕСЛИ  $B_1 \geq O_1 \wedge B_1 \leq O_1 \wedge B_2 \geq O_2 \wedge B_3 < O_3$ ,

ТО  $B_4 = B_4 + 1$ , ИНАЧЕ  $B_7$ ;

ЕСЛИ  $B_1 \geq O_1 \wedge B_1 \leq O_1 \wedge B_2 \geq O_2 \wedge B_3 < O_3 \wedge B_4 \geq O_4 \wedge A_5 = 0$ ,

ТО  $B_7 \wedge A_5 = 1$

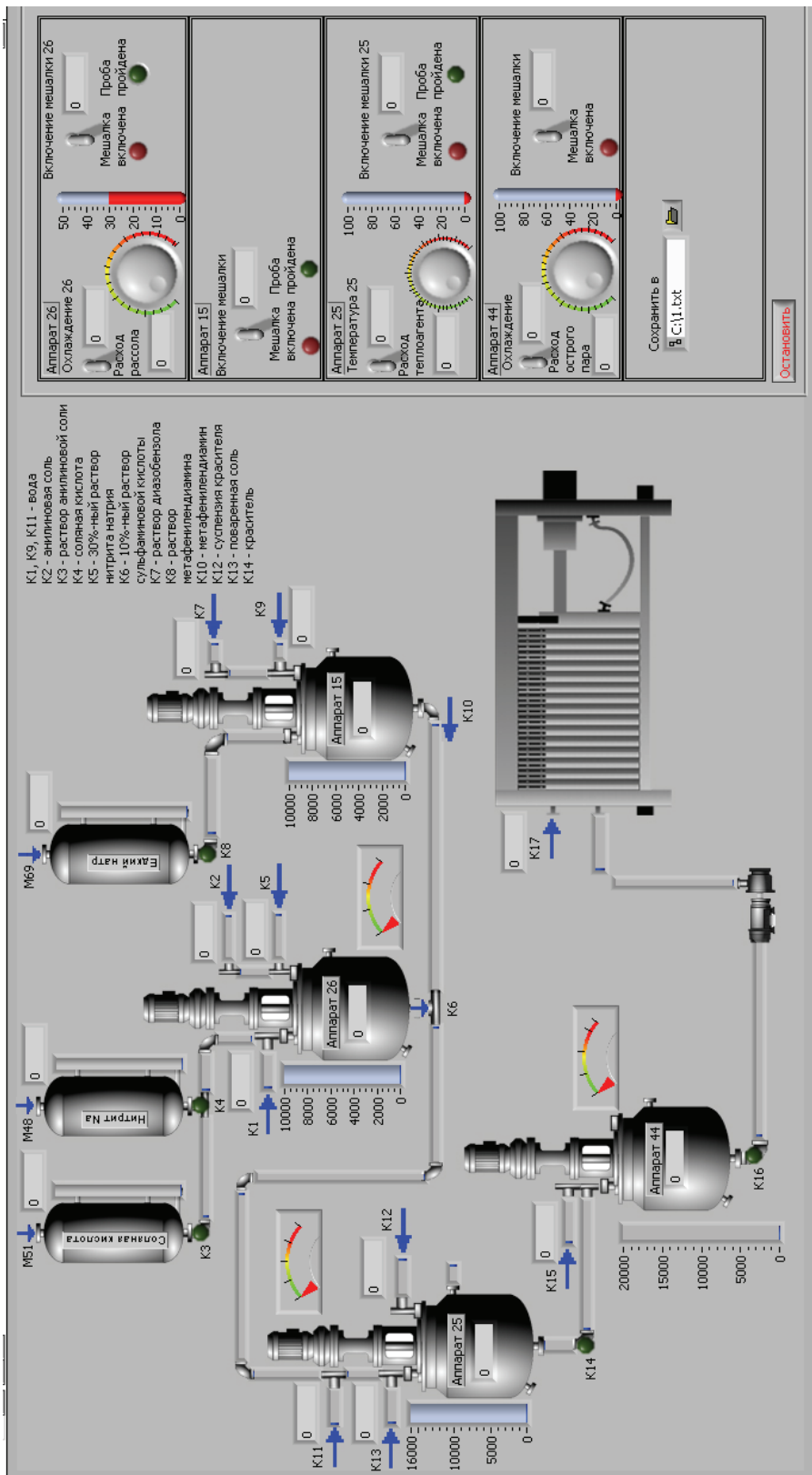


Рис. 4. Передняя панель тренажера



где индексы 1 – температура среды в аппарате; 2 – объем технической массы аси-дола; 3 – объем технической массы мела; 4 – время работы мешалки в аппарате; 5 – положение тумблера К6; 6 – индикатор включения мешалки; 7 – сообщение об ошибке.

В подготовке операторов промышленных производств выделяются три эта-па: теоретическое обучение, тренажерная подготовка, подготовка на реальном объекте. Предлагаемая структура АИС обучения студентов и тренинга операторов ХТС и реализуемые модели деятельности операторов позволяют обеспечить все три этапа обучения, а также необходимый контроль полученных знаний, навыков и умений. Эффективность тренажерной подготовки операторов с использованием данной системы обеспечивается достижением требуемого уровня качества подго-товки операторов и приобретением ими способностей быстро и безошибочно оп-ределить и ликвидировать внештатные ситуации.

Разработанная АИС представляет собой программный комплекс, обеспечи-вающий отработку оператором навыков ведения партий продукта по схеме в штатном режиме и противодействия возникновению и развитию аварийных си-туаций.

Перед тренировкой на тренажере оператор должен пройти теоретическую подготовку. Для этого предусмотрены:

1) нормативная документация (регламент и ПЛАС), с которой оператор дол-жен быть ознакомлен в первую очередь, так как эти документы регламентируют всю работу на схеме;

2) мультимедийные ролики и скриншеты. Предназначены для ознакомления оператора с работой, как за панелью управления реального объекта, так и за тре-нажером;

3) 3D-визуализация объекта. Представляет собой интерактивную модель це-ха с возможностью перемещения по ней. Это способствует не только изучению расположения оборудования, но и улучшает общее представление оператора о работе схемы;

4) тестовые задания. Разработанная система тестирования позволяет инст-руктору выявлять «узкие места» в знаниях оператора и определять разделы, необ-ходимые для дополнительной проработки. Тестовые задания имеют различную структуру вопросов и охватывают весь необходимый для проверки материал.

После прохождения тестирования инструктор допускает обучаемого к работе на тренажере.

Передняя панель тренажера представляет собой имитацию рабочего места оператора (см. рис. 4). Справа на передней панели расположен пульт управления оператора, а слева на схеме отображается ход технологического процесса. Обу-чаемый может следить за действиями других студентов, что позволяет отработать совместные действия группы студентов. Для отработки взаимодействия при воз-никновении внештатной ситуации в тренажере предусмотрен комплекс готовых сценариев развития аварийных ситуаций.

Для более полного контроля и наиболее точной оценки действий обучаемого в тренажере предусмотрено рабочее место инструктора. Инструктор находится за удаленной рабочей станцией, имеет высший приоритет и полный доступ к орга-нам управления схемой. Это позволяет инструктору не только вносить корректи-вы в действия студентов, но и создавать возмущающие воздействия, не преду-смотренные базовыми сценариями.

Для ведения статистики ошибок обучаемых предусмотрен модуль журнала прохождения тренинга. Он позволяет сделать процесс обучения более интенсив-ным за счет обработки полученных данных и выявления «узких мест» в навыках оператора. При следующем тренинге система моделирует ситуацию, в которой обучаемый допустил наибольшее количество ошибок, и тем самым позволяет на-работать требуемый уровень навыков.



Использование разработанной АИС обучения студентов и тренинга операторов ХТС позволяет достичь более глубокого понимания протекания производственного процесса, принципов работы технологического оборудования, а также получить требуемый уровень практических навыков работы на ХТС. Наиболее важной областью применения данной системы является обучение студентов, а также подготовка и переподготовка кадров на химических предприятиях, выявление степени их подготовленности к различным ситуациям, в том числе нештатным и аварийным. Представленный в статье тренажер предназначен для обучения студентов по специальности «Машины и аппараты химических производств» и переобучения персонала производства пигмента красного ОАО «Пигмент» [3].

#### *Список литературы*

1. SCADA, АСУ ТП, контроллеры – основная тематика журнала «ИСУП» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://isup.ru>. – Загл. с экрана.
2. Краснянский, М.Н. Применение виртуальных тренажеров для обучения студентов химико-технологического профиля и повышения квалификации персонала химических предприятий / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Ю.В. Чаукин // Открытое образование. – 2005. – № 6. – С. 51–54.
3. 170514. Гибкие автоматизированные системы в технологии машин и аппаратов химических производств : 17.05.14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.170514.tstu.ru](http://www.170514.tstu.ru). – Загл. с экрана.

---

## **System Approach to Designing Automated Information System of Training Students and Operators of Chemical-Technological Systems**

**M.N. Krasnyansky, S.V. Karpushkin, D.L. Dedov**

*Department “Automated Designing of Technological Equipment”, TSTU;  
[kras@tambov.ru](mailto:kras@tambov.ru)*

**Key words and phrases:** chemical-technological system; staff re-training; students’ training; virtual simulator.

**Abstract:** The paper studies the main aspects of designing the automated information system for teaching students and operators the basics of operation of chemical-technological systems. The presented simulator is designed for students at “machines and Apparatuses of Chemical Production” specialty and re-training of staff involved in red pigment production at joint stock company “Pigment”.

---

## **Systematische Einstellung zur Projektierung des automatisierten Informationssystems der Ausbildung der Studenten und der Systemoperatoren der chemietechnologischen Systeme**

**Zusammenfassung:** Im Artikel sind die Hauptaspekte der Schaffung des automatisierten Informationssystems, das für die Ausbildung der Studenten und der Operatoren den Grundlagen der Arbeit auf den chemietechnologischen Systemen vorausbestimmt ist, betrachtet. Der im Artikel vorgelegte Trainer ist für die Ausbildung

der Studenten in der Fachrichtung “Maschinen und Apparate der chemischen Produktionen” und für die Umschulung des Personals der Produktion des Rotfarbstoffes von OAG “Pigment” vorausbestimmt.

---

**Approche systémiques envers la projection du système informationnel automatisé de l'éducation des étudiants et du training des opérateurs des systèmes chimiques et technologiques**

**Résumé:** Dans l'ouvrage sont examinés les aspects essentiels de la création du système informationnel automatisé destiné à l'éducation des étudiants et des opérateurs aux fondements du travail avec des systèmes chimiques et technologiques. Le simulateur présenté dans l'article est destiné à l'éducation des étudiants de la spécialité «Machines et appareils de la production chimique» ainsi qu'au recyclage du personnel de la production du pigment rouge de la SARL «Pigment».

---

**Авторы:** *Краснянский Михаил Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Дедов Денис Леонидович* – магистрант кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ».

---