

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современный уровень развития промышленности предъявляет высокие требования к квалификации обслуживающего персонала в связи с активным использованием новых продуктов, уникальных инновационных технологий, современного высокотехнологичного оборудования, а также компьютеризации производственных процессов.

Проблема подготовки профессиональных кадров и постоянного повышения их квалификации особенно актуальна для химической промышленности в связи с возможными последствиями возникновения аварийных ситуаций. Аварии на химических и нефтехимических предприятиях не только уносят человеческие жизни, но и наносят непоправимый вред экологии целых регионов. Приобретение операторами технических систем требуемых навыков работы в штатных и аварийных режимах функционирования является приоритетным, так как решение данной проблемы приведет к значительному снижению аварий на промышленных объектах и минимизации их последствий. В сложившихся условиях проектирования и эксплуатации технических систем химико-технологического профиля перспективным направлением снижения негативного влияния человеческого фактора на надежность их функционирования является использование в процессе обучения виртуальных тренажерных комплексов (ВТК). Их разработка еще на этапе проектирования технической системы и включение в комплект проектно-конструкторской документации позволяют организовать подготовку обслуживающего персонала на требуемом уровне и значительно повысить надежность технических систем.

В настоящее время ставится вопрос об интенсификации процесса обучения. Это связано с возрастающими объемами производства, частой сменой ассортимента выпускаемой продукции, а также с переходом к новым средствам контроля и управления технической системой (ТС). Поэтому внедрение новых информационных технологий в процесс подготовки персонала является актуальным.

Эффективность использования сети Интернет в учебном процессе является основным фактором, влияющим на скорость распространения данного вида обучения. Многие вузы уже освоили дистанционный процесс обучения с использованием современных информационно-коммуникационных технологий. Возможности, предоставляемые Интернет, позволили создать интерактивные лабораторные установки для удаленного проведения лабораторных практикумов, что особенно важно для инженерного образования. Не менее перспективным направлением проведения процесса обучения является создание интернет-ориентированных виртуальных тренажерных комплексов. Данное направление является перспективным по причине отсутствия ограничения на количество одновременно работающих пользователей, а также благодаря возможности организации индивидуальной траектории обучения. Это повышает качество подготовки персонала и эффективность работы тренажерного комплекса.

Тренажерные комплексы могут применяться практически во всех отраслях деятельности человека. Прежде всего, их применение актуально там, где необходима отработка последовательности действий, а также формирование навыков реагирования на особенности функционирования ТС. Тренажерный комплекс является интерактивной системой, функционирующей на основе математической модели деятельности человека-оператора, которая представ-

ляет собой ядро процесса обучения и отвечает за адекватность тренажера – его полноту и точность имитации производственного процесса.

Диссертационное исследование проводилось в соответствии с планами работ по научным проектам:

- ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы», мероприятие № 1.3.2, проект «Разработка методов предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера, возникающих по вине человеческого фактора, за счет применения виртуальных тренажерных комплексов»;

- ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы», мероприятие № 1.1, проект «Методы, алгоритмы и программное обеспечение разработки виртуальных моделей технических объектов для обучения специалистов и создания прикладных информационных систем»;

- АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2010 годы)», проект «Формирование распределенной информационной инфраструктуры сферы образования и университетской науки на основе развития моделей, методов и технологий создания информационных ресурсов с учетом международных стандартов и спецификаций»;

- программа «Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса» («У.М.Н.И.К.»), проект «Разработка виртуальных тренажеров для целевой подготовки студентов и операторов химико-технологических производств».

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов технических систем.

Предметом исследования являются: математическое моделирование деятельности человека-оператора; особенности подготовки персонала многоассортиментных химических производств (МХП) с применением виртуальных тренажерных комплексов; технология сетевого взаимодействия модулей ВТК; разработка программного обеспечения ВТК.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является снижение негативного влияния человеческого фактора на надежность функционирования технических систем многоассортиментных химических производств за счет повышения качества подготовки персонала с использованием виртуальных тренажерных комплексов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: анализ существующих решений по созданию тренажерных систем; постановка задачи структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса; формализация и построение математической модели деятельности человека-оператора; разработка алгоритма структурно-параметрического синтеза ВТК; разработка технологии сетевого взаимодействия для организации группового обучения операторов; разработка специального математического и программного обеспечения для анализа и обработки информации о действиях обучаемого.

Научная новизна исследования.

1. На основе методов системного анализа впервые поставлена и решена задача структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса для подготовки персонала МХП, отличающаяся учетом специфики

функционирования многоассортиментных химических производств и позволяющая формировать требуемый состав и уровень навыков управления системой в штатных и аварийных режимах функционирования на основе информационно-аналитического регламента ТС.

2. Разработаны математические модели деятельности человека-оператора, отличающиеся описанием последовательности его действий как в штатных, так и аварийных режимах функционирования и позволяющие на их основе осуществлять разработку программного обеспечения модулей виртуального тренажерного комплекса, осуществляющих визуализацию процесса функционирования ТС, управление и обработку информации о действиях оператора.

3. Впервые разработан алгоритм структурно-параметрического синтеза ВТК, представленный в нотации IDEF0, учитывающий особенности проектирования и эксплуатации МХП, а также позволяющий сократить время и объем выполняемых работ при создании виртуального тренажерного комплекса за счет применения модульного принципа построения ВТК.

4. Разработана технология сетевого взаимодействия модулей ВТК, отличающаяся возможностью совместного тренинга группы операторов, участвующих в реализации технологического процесса, и позволяющая проводить их дистанционную подготовку по каналам сети Интернет.

5. Разработана структура автоматизированной информационной системы (АИС) тренинга операторов ТС, отличающаяся использованием базы знаний о моделях функционирования и отказов ТС, моделей деятельности операторов в штатных и аварийных режимах работы, позволяющая создавать ВТК на этапе проектирования многоассортиментных химических производств.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке математических моделей деятельности человека-оператора ТС МХП и алгоритмов структурно-параметрического синтеза виртуальных тренажерных комплексов.

Практическая значимость исследования заключается в повышении надежности функционирования МХП за счет применения разработанного программного обеспечения виртуального тренажерного комплекса для обучения операторов производства пигмента красного Ж (ОАО «Пигмент», г. Тамбов), позволяющего проводить тренинг группы операторов в штатном и аварийном режимах функционирования по каналам сети Интернет.

Достоверность исследования. Результаты, полученные в диссертационной работе, подтверждаются обоснованным и корректным применением верифицированного математического аппарата, сопоставлением теоретических результатов с данными, полученными в ходе проведения подготовки персонала с применением ВТК. Программная реализация ВТК, созданная на основе предложенного алгоритма структурно-параметрического синтеза тренажерных комплексов, подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация работы. Основные положения диссертации и отдельные ее результаты обсуждались и получили положительные отзывы на:

- Всероссийском смотре-конкурсе научно-технического творчества студентов высших учебных заведений «ЭВРИКА-2009», 2009 г., Новочеркасск;
- конкурсе стипендиальной программы ОАО «Пигмент» – «Сильная компания – твоё будущее», 2010 г., Тамбов;

– Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области информационно-телекоммуникационных технологий», 2010 г., Москва;

– Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области информатики и информационных технологий в рамках Всероссийского фестиваля науки, 2011 г., Белгород;

– Международной молодежной конференции «Информационные системы и технологии», 2012 г., ВВЦ, Москва.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 112 наименований и одного приложения. Диссертация содержит 163 страницы текста, 21 рисунок и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** формулируются цель и задачи исследования, обосновывается актуальность темы диссертации, научная новизна результатов, объясняется теоретическая и практическая значимость результатов исследования, обосновывается достоверность полученных результатов, приводится информация о публикациях соискателя по теме диссертации.

В **первой главе «Состояние вопроса разработки и применения виртуальных тренажерных систем»** проводится аналитический обзор научно-технической литературы, относящейся к теме исследования.

В результате установлено, что одной из наиболее актуальных областей повышения промышленной безопасности является создание автоматизированных обучающих систем и тренажерных комплексов для подготовки персонала по работе в штатных и аварийных ситуациях.

В первом разделе представлен обзор работ, посвященных влиянию человеческого фактора на надежность функционирования технических систем. В работах Д.В. Глухова, М.А. Бояркина, L.V. Rigby, D.E. Embrey, R.B. Miller, Т.Б. Чистяковой, В.М. Дозорцева рассматривалась проблема снижения негативного влияния человеческого фактора на надежность функционирования систем за счет применения современных образовательных технологий, тренажеров, обучающих систем.

В настоящее время в соответствии с «Общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-540-03)» использование тренажеров для обучения является обязательным. Однако экономическая ситуация часто не позволяет руководителям многих предприятий использовать в процессе подготовки персонала тренажерные комплексы.

Анализ существующих тренажерных систем позволил осуществить классификацию систем подготовки персонала. В результате анализа выполняемых функций каждым видом тренажерных систем удалось определить, что для МХП эффективным является создание именно виртуальных тренажеров. Прежде всего, это связано с часто меняющимся ассортиментом выпускаемой продукции, а также с изменениями технологии производства продукции. Анализ зарубежного и отечественного опыта применения тренажеров позволил сформулировать постановку задачи структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса для подготовки персонала МХП.

Вторая глава «Постановка задачи структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса» посвящена описанию математических моделей деятельности человека-оператора и постановке задачи структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса.

В главе с позиций системного анализа рассмотрены особенности функционирования МХП, влияющие на эффективность процесса обучения. Часто меняющийся ассортимент выпускаемой продукции влечет необходимость постоянной переподготовки персонала. Если ассортимент выпускаемой продукции может меняться до 10 раз в год, то тратить более месяца на обучение не рентабельно, поэтому снижение времени обучения является одной из приоритетных задач исследования.

Для достижения требуемого уровня обучения необходимо создать тренажер, передняя панель которого имела бы минимальные отличия от пульта управления оператора. Для этого самым эффективным способом является проектирование виртуального тренажера в той же SCADA-системе, что и автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП). Смена среды разработки для каждого тренажера является неэффективной. Поэтому для разработки тренажеров была выбрана среда графического программирования LabVIEW, как наиболее приспособленная для этого среда разработки, позволяющая добиться наиболее полного соответствия панели виртуального тренажера реальному пулту управления ТС МХП.

Выделены основные этапы обучения, на основании которых разработана структура автоматизированной информационной системы тренинга операторов ТС (рис. 1). Основная идея создания АИС тренинга операторов ТС состоит в организации комплексного обучения и тренинга персонала МХП. Подготовка должна включать как теоретический курс обучения, так и практический. По каждому курсу обучения должны быть отдельные точки контроля получаемых знаний и навыков. Для этого необходимо создание отдельных модулей, объединенных единой базой данных (БД) и системой управления процессом обучения. Исходя из того, что проводить обучение полностью в автоматическом режиме невозможно, необходимо предусмотреть возможность контроля процесса обучения со стороны инструктора. Данная задача может решаться только путем создания распределенного тренажерного комплекса. При этом наибольшая эффективность обучения достигается при разделении тренажера на несколько рабочих станций. Это позволяет с высокой степенью достоверности имитировать работу группы операторов за реальным пультом управления.

На основании проведенных исследований сформулирована постановка задачи структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса для обучения персонала МХП.

Необходимо разработать виртуальный тренажерный комплекс для обучения операторов ТС, включающий:

- кластер информационно-справочных материалов $[\Lambda]$

$$[\Lambda] = [T_j], \bar{G}_j, [M_j], DB];$$

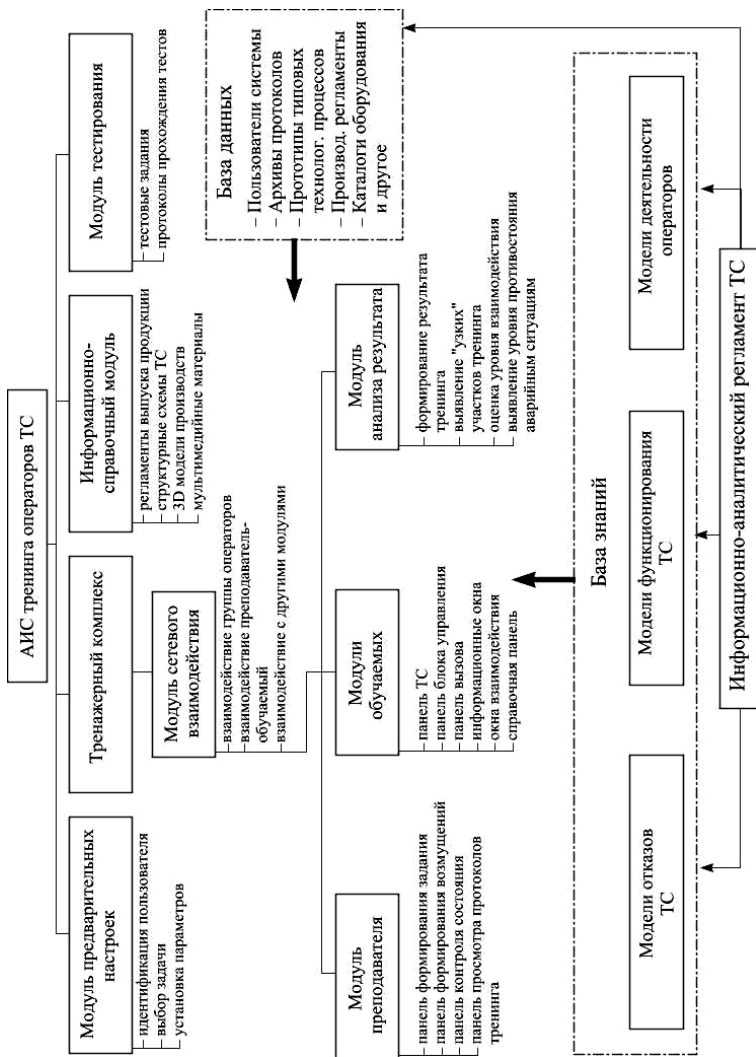


Рис. 1. Структура автоматизированной информационной системы тренинга операторов ТС

- кластер функциональных блоков панелей виртуального тренажера $[\Phi]$

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{W}_1 & \bar{Z}_1 & \bar{C}_1 & [\mathcal{Q}_1] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{S}_n & \bar{W}_n & \bar{Z}_n & \bar{C}_n & [\mathcal{Q}_n] \end{bmatrix};$$

- способы и каналы сетевого взаимодействия обучаемых и инструктора $[Net]$

$$[Net] = [\bar{O}_l, \bar{L}_l, \bar{P}_l];$$

- методику обучения и тренинга операторов $[MT]$

$$[MT] = [\overline{ШР}_j^M, \overline{AP}_j^M, \overline{МИ}_j]$$

и формирующий требуемый состав и уровень навыков управления технической системой в штатных и аварийных ситуациях \bar{U}_j^* , в соответствии с входящими в состав информационно-аналитического регламента ТС R моделями функционирования и отказов системы, моделями деятельности операторов ТС

$$R: \bar{U}_j \xrightarrow{[\Delta], [\Phi], [Net], [MT]} \bar{U}_j^*.$$

Используемая в постановке задачи матрица элементов функционального блока $[\mathcal{Q}_i]$ описывается следующим образом:

$$[\mathcal{Q}_i] = \begin{bmatrix} r_1 & x_1 & y_1 & c_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_K & x_K & y_K & c_K \end{bmatrix}.$$

Кластер $[T_j]$, определяющий состав текстовых информационно-справочных материалов, включает

$$[T_j] = [\overline{ТП}_j, \overline{АО}_j, \overline{ШР}_j^T, \overline{AP}_j^T, \overline{РО}_j, \overline{ПИ}_j, \overline{РП}_j, \overline{ВП}_j].$$

Кластер $[M_j]$, определяющий состав мультимедийных информационно-справочных материалов:

$$[M_j] = [3D, \overline{OP}].$$

В постановке задачи использованы следующие обозначения: \bar{G}_j – вектор, определяющий состав графических информационно-справочных материалов; j – порядковый номер продукта, выпускаемого на ТС; DB – база данных для хранения информационно-справочных материалов; \bar{S}_i – вектор, определяющий состав функционального блока; \bar{W}_i – вектор размеров функционального блока; \bar{Z}_i – вектор координат функционального блока; \bar{C}_i – вектор, определяющий цветовое исполнение функционального блока; n – число функ-

циональных блоков; \overline{O}_l – вектор объектов взаимодействия; \overline{L}_l – вектор связей объектов; \overline{P}_l – вектор технологий сетевого взаимодействия; l – порядковый номер объекта ВТК; $\overline{ШР}_j^M$ – методика обучения в штатном режиме функционирования; \overline{AP}_j^M – методика обучения в аварийном режиме функционирования; $\overline{МП}_j$ – методика работы инструктора; r_i – размер элемента; x_i, y_i – координаты элемента в функциональном блоке; c_i – цветовое исполнение элементов; K – число элементов функционального блока; $\overline{ТП}_j$ – материалы по технологии производства; $\overline{АО}_j$ – материалы по аппаратурному оформлению; $\overline{ШР}_j^T$ – описание штатного режима функционирования ТС; \overline{AP}_j^T – описание аварийного режима функционирования ТС; $\overline{РО}_j$ – руководство оператора; $\overline{РІ}_j$ – руководство инструктора; $\overline{РП}_j$ – руководство программиста; $\overline{ВП}_j$ – набор всплывающих подсказок; 3D – интерактивная 3D-модель производственного объекта; $\overline{ОР}$ – обучающие ролики.

Необходимо отметить, что при формировании виртуальных панелей управления тренажерного комплекса нужно добиваться полного соответствия реальным пультам управления ТС. Любые отклонения могут вызвать появление у оператора навыков, которые не соответствуют реальным производствам и носят негативный характер.

Важную роль при структурно-параметрическом синтезе тренажерного комплекса играют модели функционирования и отказов ТС, а также модель деятельности человека-оператора, которые необходимо создавать еще на этапе проектирования технической системы.

В ходе проведения системного анализа участия оператора в производственном процессе предлагаются следующие математические модели деятельности человека-оператора. Для моделирования деятельности используется граф $G(C, D)$ (рис. 2), который позволяет наглядно иллюстрировать последовательность действий оператора. Каждой вершине графа C ставится в соответствие определенное состояние ТС, а каждой дуге D – набор действий, необходимых для перехода из одного состояния в другое.

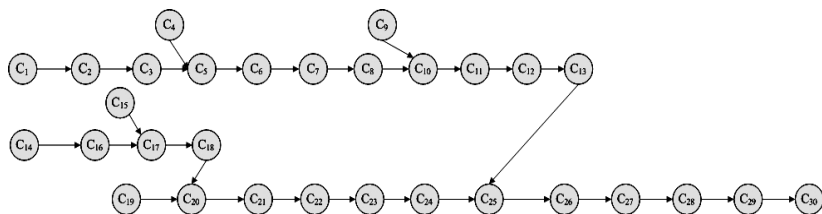


Рис. 2. Граф $G(C, D)$

При разработке математической модели деятельности человека-оператора были приняты следующие обозначения. Множество элементов передней панели разделяется на средства отображения информации (СОИ) – X_{sm} и органы управления (ОУ) – Y_{stn} , где s – номер стадии; t – тип элемента пульта; n – номер элемента пульта на стадии.

Для удобства обозначения в математической модели деятельности человека-оператора СОИ и ОУ разделяются по следующим признакам:

– средства отображения информации: 1 – световые индикаторы; 2 – датчики температуры; 3 – датчики расхода; 4 – датчики давления; 5 – датчики уровня; 6 – заполнение трубопровода; 7 – таймер;

– органы управления: 1 – тумблеры; 2 – регуляторы; 3 – кнопки.

В главе представлена разработанная математическая модель деятельности оператора производства пигмента красного Ж (ОАО «Пигмент», г. Тамбов). Фрагменты таблиц производственных правил и совокупности действий, соответствующих вершинам и дугам графа $G(C, D)$, выглядят следующим образом (табл. 1, 2):

1. Фрагмент таблицы производственных правил, соответствующих вершинам графа $G(C, D)$

C_9	ЕСЛИ $X_{121} < 9$, ТО D_9^{10}
C_{10}	ЕСЛИ $X_{153} > 140$, ТО D_{10}^{11}
C_{11}	ЕСЛИ $X_{121} < 9$ И $X_{151} > 3140$, ТО D_{11}^{12}

2. Фрагмент таблицы совокупностей действий, соответствующих дугам графа $G(C, D)$

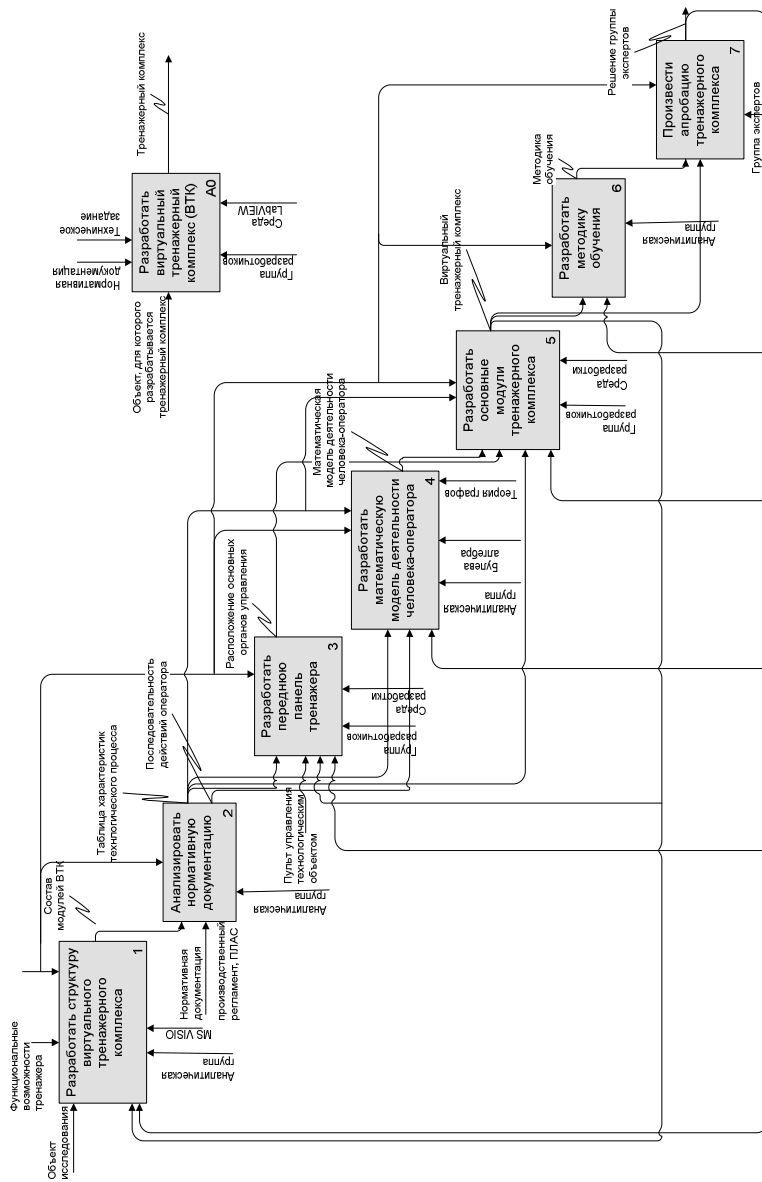
D_9^{10}	$Y_{138} = 1; X_{153} = (140; 150); Y_{138} = 0$
D_{10}^{11}	$Y_{134} = 1; X_{153} = 0; KT3 = 1; Y_{134} = 0$
D_{11}^{12}	$Y_{112} = 1; X_{111} = 1; X_{172} = (60; 65); X_{111} = 0; KT4 = 1; Y_{112} = 0$

Таким образом, граф $G(C, D)$ описывает последовательность действий, которые необходимо совершить оператору для производства партии продукта.

Третья глава «Алгоритм структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса» посвящена разработке алгоритма структурно-параметрического синтеза ВТК, представленного в виде функциональных диаграмм (нотация IDEF0).

Алгоритм структурно-параметрического синтеза ВТК включает следующие процессы (рис. 3):

А1. Разработка структуры виртуального тренажерного комплекса. Это первоначальный этап, на котором определяются задачи создаваемого ВТК, его особенности и функциональные возможности.



A2. Анализ нормативной документации. Производится анализ нормативной документации, выделяются основные особенности технологического процесса, производится выборка данных для всех этапов обучения. Формируются методические материалы, входящие в состав ВТК.

A3. Разработка передней панели тренажера. Производится анализ пульта управления технологическим процессом и его моделирование.

A4. Разработка математической модели деятельности человека-оператора. На основе материалов, полученных в ходе анализа нормативной документации, создается математическая модель деятельности человека-оператора для данного технологического процесса.

A5. Разработка основных модулей тренажерного комплекса. Основной этап структурно-параметрического синтеза ВТК. Создаются основные модули, а также распределенная среда ВТК.

A51. Информационно-справочный модуль. Модуль, отвечающий за информационно-справочные материалы. Модуль взаимодействует со всеми модулями тренажерного комплекса. Данные, как правило, хранятся в БД, для доступа к данным используется язык структурированных запросов SQL.

A52. Модуль предварительных настроек. Модуль отвечает за первоначально вводимую информацию. Осуществляет навигационные функции. Разрабатывается в виде интернет-страниц на основе HTML и PHP. Отвечает за идентификацию пользователя, выбор тренажера и этапа обучения и т.д.

A53. Модуль тестирования. Модуль, осуществляющий проверку теоретических знаний. На основании результатов тестирования принимается решение о возможности проведения обучения на тренажере. Разрабатывается с использованием flash-технологий. Интегрируется в тренажерный комплекс и вызывается из модуля предварительных настроек.

A54. Модуль сетевого взаимодействия. Модуль, отвечающий за навигацию и удаленную работу пользователей. Разрабатывается с применением технологии Remote Panel. Позволяет проводить групповое обучение операторов и осуществлять удаленный контроль со стороны инструктора.

A55. Модуль преподавателя. Выводит информацию о ходе технологического процесса и дает возможность вносить необходимые изменения в технологический процесс или моделировать внештатные ситуации.

A56. Модули обучаемых. Позволяют вести технологический процесс, формируют различные информационные сообщения об ошибках в действиях, позволяя вести групповое обучение.

A57. Модуль анализа результатов. Проводит обработку результатов обучения и формирует предписание о необходимости прохождения дополнительной подготовки с указанием «узких» мест в знаниях и навыках обучаемых.

A58. Обеспечение совместной работы модулей ВТК. Осуществляется настройка совместной работы основных модулей, настройка протоколов, портов и структуры передачи данных.

A6. Разработка методики обучения. Включает разработку методики обучения персонала с применением ВТК и методических рекомендаций инструктора.

A7. Апробация тренажерного комплекса. Проведение испытаний на производстве, внесение необходимых корректив в работу ВТК.

В четвертой главе «Применение виртуальных тренажерных комплексов для обучения персонала многоассортиментных химических производств» описывается программная реализация ВТК, приводится характеристика структуры базы данных виртуального тренажерного комплекса.

Входными параметрами для приложения являются показания приборов тренажерного комплекса, исходя из которых система генерирует «эталонное действие оператора» – оптимальный вариант его действий. В процессе работы на тренажере действия оператора сравниваются с «эталонными» и выдается решение о правильности работы оператора.

Передняя панель тренажера представляет собой имитацию рабочего места оператора (рис. 4). Справа на передней панели расположен пульт управления оператора, а слева на схеме отображается ход технологического процесса. Оператор может следить за работой других операторов, что позволяет отработать совместные действия группы операторов. Для отработки взаимодействия при возникновении внештатной ситуации в тренажере предусмотрен комплекс готовых сценариев развития аварийных ситуаций, сформированный на основе плана локализации аварийных ситуаций (ПЛАС) и моделей отказов технологического оборудования.

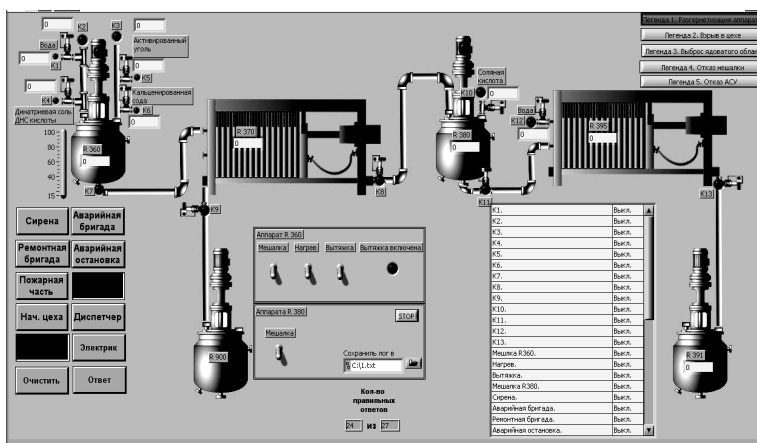


Рис. 4. Передняя панель тренажера

Для более полного контроля и точной оценки действий оператора в тренажере предусмотрено рабочее место инструктора. Инструктор находится за удаленной рабочей станцией, имеет высший приоритет и полный доступ к органам управления системой. Это позволяет инструктору не только вносить коррективы в действия операторов, но и создавать возмущающие воздействия, не предусмотренные базовыми сценариями.

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

Для реализации возможности обработки совместных действий группы операторов была разработана технология сетевого взаимодействия модулей ВТК (рис. 5). Программная реализация математической модели находится на удаленном сервере, а передняя панель тренажера передается обучаемым по каналам сети Интернет с применением технологии Remote Panel.

Использование разработанной АИС тренинга операторов ТС химико-технологического профиля позволяет достичь более глубокого понимания сущности производственного процесса, принципов работы технологического оборудования, а также получить требуемый уровень практических навыков работы на ТС МХП. Наиболее важной областью применения данной системы являются подготовка и переподготовка кадров на промышленных предприятиях, выявление степени их подготовленности к различным ситуациям, в том числе аварийным, что направлено на повышение надежности функционирования технической системы.

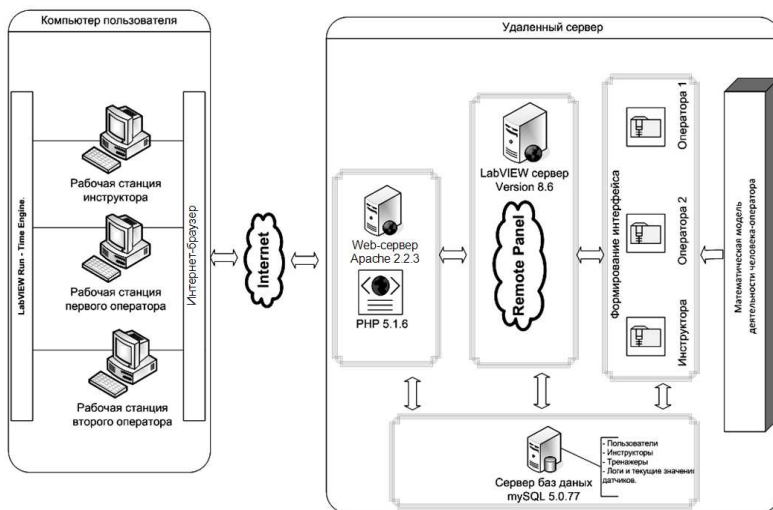


Рис. 5. Технология сетевого взаимодействия модулей ВТК

В заключении подводятся итоги исследования:

1. На основе методов системного анализа сформулирована постановка задачи структурно-параметрического синтеза виртуального тренажерного комплекса, позволяющая формировать требуемый состав и уровень навыков управления технической системой в штатных и аварийных режимах функционирования на основе информационно-аналитического регламента ТС.

2. Разработаны математические модели деятельности человека-оператора, осуществляющего управление технической системой многоассортиментного химического производства в штатных и аварийных режимах функционирования. Разработанные совокупности производственных правил и последовательностей действий легли в основу создания программного обеспечения модулей виртуального тренажерного комплекса, осуществляющих визуализацию процесса функционирования технической системы, управление и обработку информации о действиях оператора.

3. Разработан алгоритм структурно-параметрического синтеза ВТК, функциональные диаграммы которого описывают основные этапы создания тренажерного комплекса. Применение модульного принципа построения ВТК позволило повысить функциональные возможности создаваемого тренажерного комплекса и сократить время разработки его программного обеспечения на 35...60% с последующим тиражированием для производств, имеющих незначительные отличия в технологии выпуска продукции.

4. Разработана технология сетевого взаимодействия модулей виртуального тренажерного комплекса, позволяющая проводить совместную подготовку группы операторов технической системы, которые реализуют технологический процесс выпуска продукции. Разработанная технология позволяет осуществлять процесс тренинга также в дистанционном режиме по каналам сети Интернет.

5. Разработана автоматизированная информационная система тренинга операторов многоассортиментных химических производств для ОАО «Пигмент», г. Тамбов. Применение виртуальных тренажеров и современных информационных технологий в процессе подготовки и повышения квалификации персонала МХП позволило повысить надежность функционирования ТС МХП за счет снижения количества ошибок операторов на 50...60%, а также сократить время тренинга в 3–4 раза, что является важным при частой смене ассортимента выпускаемой продукции. Впервые решена проблема подготовки операторов МХП в рамках совместной отработки действий по предотвращению и ликвидации аварийных ситуаций. Экономический эффект от применения ВТК, по данным ОАО «Пигмент», г. Тамбов, оценивается в 550 тыс. р.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография

1. Краснянский, М.Н. Интернет технологии в инженерном образовании. Автоматизированные лабораторные практикумы и виртуальные тренажеры / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов. – Germany : Lambert Academic Publishing, 2010. – 125 с.

Статьи в журналах из перечня ВАК:

2. Интеграция виртуальных тренажеров в процесс обучения операторов технических систем с использованием Интернет-технологий / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов, А.В. Остроух // Дистанционное и виртуальное обучение. – М., 2010. – № 7. – С. 38 – 49.

3. Краснянский, М.Н. Обучение операторов химических производств с применением тренажерных систем / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов // Химическая промышленность сегодня. – М., 2011. – № 4. – С. 44 – 49.

4. Информационная система обучения и тренинга операторов технологических систем / М.Н. Краснянский, М.В. Почечуева, Н.И. Балашова, Д.Л. Дедов // В мире научных открытий. – Красноярск, 2011. – № 9. – С. 158 – 164.

5. Технологии интерактивного 3D-моделирования для разработки виртуальных тренажерных комплексов / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, А.В. Остроух, А.А. Руднев, Д.Л. Дедов // Дистанционное и виртуальное обучение. – М., 2011. – № 10. – С. 4 – 12.

6. Постановка задачи проектирования виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов технических систем / Д.Л. Дедов, М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, А.В. Остроух // Информационные технологии в проектировании и производстве. – М., 2012. – № 2. – С. 46 – 50.

Статьи в сборниках научных трудов:

7. Структура автоматизированной информационной системы и алгоритм проектирования виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов нефтехимических производств / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов, А.В. Остроух, А.Б. Николаев // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков, 2011. – № 54. – С. 170 – 179.

8. Тренажерный комплекс как средство подготовки операторов и студентов для химических производств / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов, М.В. Почечуева, Н.И. Балашова // Труды ТГТУ : сб. ст. – Тамбов, 2010. – С. 100 – 103.

Материалы научных конференций:

9. Краснянский, М.Н. Применение Интернет-технологий при разработке виртуальных тренажерных комплексов / М.Н. Краснянский, Д.Л. Дедов // Междунар. науч.-практ. заоч. конф. «Интернет в образовании». – М., 2010. – С. 412 – 418.

10. Краснянский, М.Н. Тренажерный комплекс для обучения операторов химических производств / М.Н. Краснянский, Д.Л. Дедов // Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы информатики и информационных технологий». – Тамбов, 2010. – С. 112 – 114.

11. Алгоритм проектирования виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов технических систем / М.Н. Краснянский, Д.Л. Дедов, А.А. Руднев, М.В. Почечуева, Н.И. Балашова // Материалы Всерос. конф. «Проведение научных исследований в области информационно-телекоммуникационных технологий». – М., 2010. – С. 54 – 56.

12. Краснянский, М.Н. Интеграция виртуальных тренажеров в процесс обучения операторов химико-технологических производств / М.Н. Краснянский, Д.Л. Дедов // Сб. науч. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конференции-выставки «Актуальные проблемы информатики и информационных технологий». – Тамбов, 2009. – С. 97 – 99.

13. Дедов, Д.Л. Разработка виртуальных тренажеров для целевой подготовки студентов и операторов химико-технологических производств / Д.Л. Дедов // Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. «Аспекты ноосферной безопасности в приоритетных направлениях деятельности человека». – Тамбов, 2010. – С. 95 – 97.

14. Краснянский, М.Н. Постановка задачи проектирования виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов химических и пищевых производств / М.Н. Краснянский, Д.Л. Дедов // Сб. науч. работ Всерос. конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области информатики и информационных технологий в рамках Всероссийского фестиваля науки. – Белгород, 2011. – С. 176 – 184.

15. Дедов, Д.Л. Структурно-параметрический синтез виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов химических производств / Д.Л. Дедов, М.Н. Краснянский // Сб. тез. Междунар. молодежной конф. «Информационные системы и технологии». – М., 2012. – С. 106–107.

Авторское свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610037 от 11 января 2010 г. Виртуальный тренажер для обучения операторов химико-технологических производств «ТренХТС».