

**ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС  
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ОСНОВЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

**Д.Л. Дедов, М.Н. Краснянский, А.А. Руднев**

*Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического  
оборудования», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;  
hammer68@mail.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором С.И. Дворецким*

**Ключевые слова и фразы:** виртуальный тренажерный комплекс; математическая модель деятельности человека-оператора; методика сетевого взаимодействия; предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций.

**Аннотация:** Представлен виртуальный тренажерный комплекс предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Разработаны подходы к математическому моделированию деятельности человека-оператора. Применение методики сетевого взаимодействия позволило создать виртуальный тренажерный комплекс для отработки совместных действий группы операторов.

---

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

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 дистанционного обучения. 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 виртуального тренажерного комплекса (ВТК).

Тренажерные комплексы могут применяться практически во всех отраслях деятельности человека. Прежде всего, их применение актуально там, где необходима отработка последовательности действий, а также формирование устойчивых навыков предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Тренажерный комплекс является интерактивной системой, функционирующей на основе математической модели деятельности человека-оператора,

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

Рассмотрим предлагаемые подходы к математическому моделированию деятельности человека-оператора. Для моделирования деятельности используется граф  $G(C, D)$  (рис. 1), 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 [1].

При разработке математической модели деятельности человека-оператора были приняты следующие обозначения. Множество элементов передней панели разделяется на средства отображения информации (СОИ)  $X_{stn}$  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 разделяем 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.

Рассмотрим математическую модель деятельности оператора производства пигмента красного Ж (ОАО «Пигмент») по фрагментам таблиц производственных правил (табл. 1) и совокупности действий (табл. 2), соответствующих вершинам и дугам графа  $G(C, D)$ .

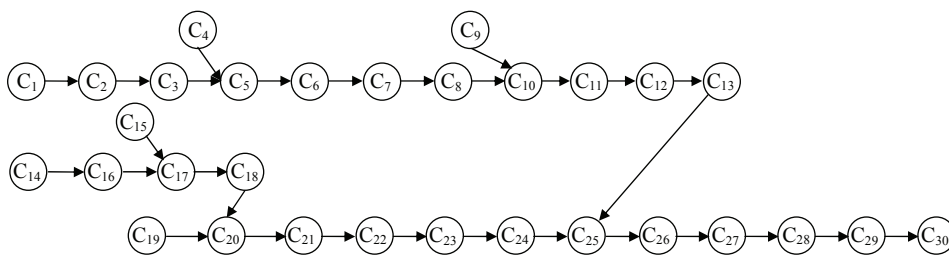


Рис. 1. Граф  $G(C, D)$

Таблица 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 $D_{11}^{12}$

Таблица 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.

Для аварийного режима функционирования выделяем два состояния системы – начало и окончание аварийной ситуации. Поэтому вершине  $C_1$  всегда соответствует начало аварийной ситуации, а  $C_2$  – окончание аварийной ситуации. При этом для перехода из состояния  $C_1$  в состояние  $C_2$  необходимо совершить последовательность действий, соответствующие дуге  $D_1^2$ .

Аварийный режим функционирования описывается сводной табл. 3, включающей в себя состояния  $C_1$  и  $C_2$ , а также набор действий, соответствующих дуге  $D_1^2$ .

Таким образом, математическая модель деятельности оператора в штатном и аварийном режимах функционирования описывается графами  $G_i(C, D)$  и следующими таблицами соответствия:

- обозначений математической модели элементам передней панели виртуального тренажера;
- производственных правил вершинам графа  $G(C, D)$ ;
- действий оператора дугам графа  $G(C, D)$ ;
- значений СОИ и ОУ в начальный момент времени.

Совокупность данных таблиц дает полное описание действий оператора в каждый момент времени производства партии продукта, а также при предупреждении и ликвидации аварийных ситуаций.

Виртуальный тренажерный комплекс предусматривает возможность одновременного обучения группы операторов. Это необходимо для обеспечения возможности отработки совместных действий между операторами, участвующими в технологическом процессе. Для этого ВТК разбит на отдельные модули, объединенные при помощи методики сетевого взаимодействия [2].

Для работы на тренажере пользователю необходимо иметь на своей рабочей станции интернет-браузер, а также установить приложение LabVIEW Run-Time Engine. Данное приложение относится к классу свободно распространяемых, поэтому дополнительных затрат на приобретение программного обеспечения не требуется. При первом обращении к странице тренажера, автоматически выдается

Таблица 3

**Пример таблицы совокупности действий, соответствующих ликвидации аварийной ситуации**

$C_1$	ЕСЛИ $X_{Л17} = 1$ , ТО $D_1^2$	Превышение допустимой температуры
$D_1^2$	$Y_{121} = Y_{121} + 50\%$ ; $Y_{232} = 1$ ; $Y_{233} = 1$ ; $Y_{Л2} = 1$ ; $Y_{Л1} = 1$	
$C_2$	Принятие решения о возможности дальнейшей эксплуатации ТС	
$C_1$	ЕСЛИ $X_{Л18} = 1$ , ТО $D_1^2$	Отказ АСУ ТП
$D_1^2$	$Y_{Л3} = 1$ ; $Y_{Л2} = 1$ ; $Y_{Л1} = 1$	
$C_2$	Принятие решения о возможности дальнейшей эксплуатации ТС	

запрос на установку приложения LabVIEW Run-Time Engine, которое отвечает за отображение передней панели тренажера в окне браузера, а также за возможность использования органов управления тренажера.

Тренажерный комплекс расположен на удаленном сервере, доступ к которому осуществляется посредством интернет-браузера. Вводя в браузере адрес сайта виртуального тренажера, попадаем на страницу, где предоставляется выбор тренажера для обучения. Далее запрос обрабатывается Apache HTTP-сервером и перенаправляется на LabVIEW-сервер. С использованием технологии Remote Panel генерируется html-страница и передается для отправки клиенту сервером LabVIEW. После этого в окне браузера клиента появляется передняя панель тренажера.

Виртуальный тренажерный комплекс, как правило, включает несколько программ тренажеров для различных производств. Это сделано в связи с особенностями многоассортиментных химических производств. Поскольку ассортимент выпускаемой продукции меняется очень часто, но при этом технология и аппаратное оформление схемы изменяются не значительно, эффективным является создание тренажерного комплекса для ТС, с учетом всего ассортимента выпускаемой продукции.

Для снижения времени создания каждого последующего ВТК был разработан модульный принцип построения тренажерного комплекса (рис. 2). Его основная идея заключается в дроблении тренажерного комплекса на основные и вспомогательные модули. При этом вспомогательные модули, такие как модули сетевого взаимодействия, предварительных настроек, анализа результатов, тестирования, остаются неизменными. Поэтому, разработав один раз данные модули для каждого последующего тренажера, необходимо только внести необходимую информацию, актуальную для конкретной технологии производства.

При таком подходе основные временные затраты составляет создание программной реализации математической модели деятельности человека-оператора. Для снижения данных затрат разработаны базы данных (БД) элементов передней панели, трехмерных моделей, виртуальных приборов, содержащие разработанные



Рис. 2. Модульный принцип создания ВТК

элементы СОИ и ОУ, из которых можно легко и быстро комплектовать переднюю панель виртуального тренажера. База данных трехмерных моделей служит для реализации интерактивного 3D-пространства производственного объекта. Поскольку оборудование, применяемое на многоассортиментных химических производствах, является типовым, то наполнение БД существенно снижает время проектирования последующих ВТК. База данных виртуальных приборов заполняется по мере проектирования ВТК. Для многоассортиментных химических производств характерно небольшое количество технологических операций, поэтому для них были разработаны отдельные виртуальные приборы, из которых можно оперативно формировать программную реализацию математической модели деятельности человека-оператора. Наполнение БД происходит постепенно, по мере разработки тренажерных комплексов, каждый вновь созданный элемент хранится в БД и применяется при дальнейшей необходимости.

На основании апробации ВТК на ОАО «Пигмент» можно сделать вывод, что использование разработанного ВТК позволяет достичь более глубокого понимания протекания производственного процесса, принципов работы технологического оборудования, а также получить требуемый уровень практических навыков работы на химико-технологических системах и предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Наиболее важной областью применения данной системы является подготовка и переподготовка кадров на МХП, выявление степени их подготовленности к различным ситуациям, в том числе нештатным и аварийным.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.132.21.1806.*

#### *Список литературы*

1. Постановка задачи проектирования виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов технических систем / Д.Л. Дедов [и др.] // Информ. технологии в проектировании и пр.-ве. – 2012. – № 2. – С. 46–50.

2. Интеграция виртуальных тренажеров в процесс обучения операторов технических систем с использованием интернет-технологий / М.Н. Краснянский [и др.] // Дистанц. и вирт. обучение. – 2010. – № 7. – С. 38–49.

---

## **Virtual Training Simulator to Prevent and Eliminate Anthropogenic Disasters through Modeling of Human Operators**

**D.L. Dedov, M.N. Krasnyansky, A.A. Rudnev**

*Department “Computer Aided Design of Processing Equipment”, TSTU;  
hammer68@mail.ru*

**Key words and phrases:** mathematical model of human operators; method of networking; prevention and management of emergencies; virtual training simulator.

**Abstract:** The paper describes virtual training simulator to prevent and eliminate anthropogenic disasters. The approaches to mathematical modeling of human operator have been developed. The application of the method of networking has resulted in the development of virtual training simulator to practice joint actions of a group of operators.

## **Virtueller Trainingskomplex der Warnung und der Liquidation der Notstandssituationen des technogenen Charakters aufgrund der Modellierung der Tätigkeit des Menschen-Operators**

**Zusammenfassung:** Es ist den VTK der Warnung und der Liquidation der Notstandssituationen des technogenen Charakters dargelegt. Es sind die Herangehen zu der mathematischen Modellierung der Tätigkeit des Menschen-Operators erarbeitet. Die Anwendung der Methodik der Netzwechselwirkung hat zugelassen, den VTK für die Durcharbeitung der gemeinsamen Handlungen der Gruppe der Operatoren zu schaffen.

---

## **Complexe virtuel de l'entraînement pour la prévention et la liquidation des risques majeurs du caractère technologique à la base du modélage de l'activité de l'homme-opérateur**

**Résumé:** Est présenté le complexe virtuel de l'entraînement pour la prévention et la liquidation des risques majeurs du caractère technologique. Sont élaborées les approches envers le modélage mathématique de l'activité de l'homme-opérateur. L'application de la méthode a permis de créer le complexe virtuel de l'entraînement pour l'élaboration des actions communes d'un groupe des opérateurs.

---

**Авторы:** *Дедов Денис Леонидович* – аспирант кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Краснянский Михаил Николаевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», проректор по научно-инновационной деятельности; *Руднев Александр Анатольевич* – аспирант кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Подольский Владимир Ефимович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования», директор ТамбовЦНИТ, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---