

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРОВ

**М. Н. Краснянский, Д. Л. Дедов,
А. Д. Обухов, А. Е. Архипов**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. Е. Подольский

Ключевые слова: адаптивные тренажерные комплексы; визуализация; математическое моделирование; пожары.

Аннотация: Рассмотрены разработка адаптивных тренажерных систем, подходы к построению математической модели визуализации распространения пожаров на промышленных объектах с учетом сопутствующих процессов дымообразования, выделения токсичных продуктов горения и их влияния на текущее состояние человека.

В промышленности высоко влияние человеческого фактора на надежность функционирования системы, остро стоит проблема подготовки и переподготовки кадров [1]. На сегодняшний день значительно увеличилось число аварийных ситуаций, произошедших по вине человека, поэтому уменьшение их числа является одной из важнейших проблем. Решить данную задачу можно путем повышения профессионального уровня обслуживающего персонала, с помощью проведения тренингов по отработке совместных действий для предупреждения, обнаружения и локализации аварийной ситуации. Наиболее доступный и недорогой метод проведения таких тренировок – использование интерактивных тренажерных комплексов, которые имеют возможность моделировать широкий спектр возможных внештатных ситуаций.

Краснянский Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, ректор ТамбГТУ; Дедов Денис Леонидович – кандидат технических наук, директор центра трансфера технологий, e-mail: hammer68@mail.ru; Обухов Артём Дмитриевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; Архипов Алексей Евгеньевич – студент, ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

Для повышения уровня подготовки персонала необходимо проводить своевременное и систематическое обучение действиям в условиях чрезвычайных ситуаций. Наиболее эффективным способом подготовки считается обучение на адаптивных тренажерных комплексах (АТК), которое является экономически выгодным и безопасным, а также обеспечивает возможность моделирования пожароопасных условий, что невозможно в реальном производстве.

Выработка практических навыков действий во внештатных ситуациях напрямую зависит от степени погружения в виртуальную реальность в процессе тренинга в АТК, поэтому актуальной задачей при разработке АТК является достоверная и качественная визуализация процесса распространения пожара с учетом индивидуальных особенностей производственного процесса предприятия. Помимо непосредственно визуализации, корректное компьютерное моделирование распространения пожаров позволяет решать сопутствующие задачи. Среди них следует отметить определение времени эвакуации при пожарах и негативного воздействия на человека [2 – 4], вопросы эффективной борьбы с лесными пожарами.

Тренажерный комплекс представляет собой интерактивную трехмерную модель производственного объекта с возможностью моделирования производственного процесса и отработки совместных действий обслуживающего персонала. Тренажерный комплекс поддерживает два режима функционирования: штатный и аварийный. Штатный режим служит для обучения регламента производственного процесса, аварийный – обучения правилам действия при возникновении внештатной ситуации.

Работа тренажерного комплекса в штатном режиме осуществляется по математической модели действия персонала, представленной, например, в виде графа, вершины которого – состояния системы в определенный момент времени, дуги – действия, которые необходимо совершить для перехода системы из одного состояния в другое. Таким образом, граф описывает весь производственный процесс создания готового продукта. Действия обучаемого отслеживаются системой и сравниваются с техническим регламентом. В случае ошибки оператора система выдаст предупреждение или перейдет в работу в аварийном режиме [5].

Реализация внештатных ситуаций в тренажерных системах требует особого подхода. Рассмотрим это на примере разработанного модуля пожарной безопасности. С его помощью можно обучать персонал предприятия первичным навыкам действия при возникновении возгорания и распространении огня по помещению.

Для реализации распространения пожара разработана математическая модель, формализующая два основных направления: отслеживание распространения огня по всему техническому объекту и каждому конкретному элементу на производственной площади.

Для начала проведем анализ процесса распространения огня при возникновении пожара в контексте виртуальной реальности. Математическая модель должна учитывать свойства различных материалов и их расположение на производственной площади относительно друг друга [6]. Пожа-

роопасные свойства материалов, встречающихся на производственных объектах, включают:

- горючесть;
- скорость воспламенения;
- скорость распространения пламени по площади;
- дымообразующую способность;
- токсичность продуктов горения.

Горючесть определяет возможность материала к возгоранию в диапазоне от 0 до 1. Например, бетон будет относиться к негорючим (значение параметра горючести – 0), керосин – горючим (значение параметра горючести – 1). При этом необходимо учитывать, что распространение огня не может происходить сквозь негорючий материал.

Скорость воспламенения – параметр, отвечающий за скорость появления открытого пламени после начала воздействия повышенной температуры, в нормированном виде меняется от 0 до 1. В адаптивных тренажерных комплексах данный параметр влияет на визуализацию начальной стадии горения. Примером может являться анимация воспламенения древесины (рис. 1). Если скорость воспламенения близка к 1, то объект «взрывается».

Скорость распространения пламени по площади – параметр, отвечающий за скорость распространения множества анимаций огня в пределах одного объекта, принимает значения на отрезке от 0 до 1. Например, анимация горения деревянного поддона будет реализовываться несколькими последовательно возникающими очагами открытого пламени.

Радиус зоны возможного воспламенения – параметр, зависящий от качественных свойств материала и влияющий на возможность воспламенения объекта в заданном размере поля отслеживания открытого пламени. Например, зона возможного воспламенения открытого бензинового пятна будет значительно больше, чем у предмета из дерева (рис. 2).

Развитие пожара происходит от очага открытого пламени. Каждый материал обладает собственными параметрами горения, визуализация которых реализуется при помощи определенного набора анимации дыма и пламени, а также изменения цвета материала объекта (см. рис. 1, в).

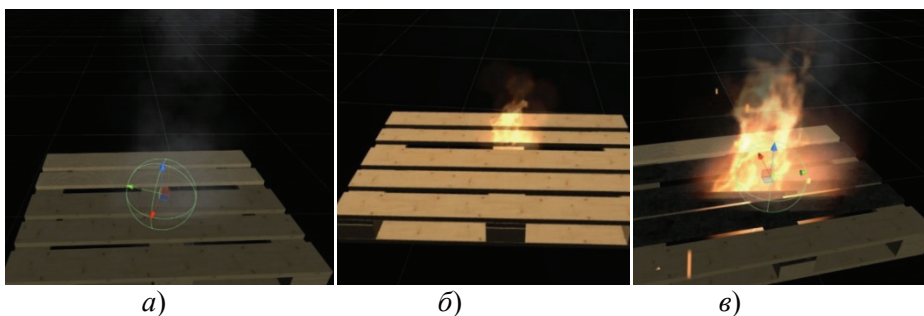


Рис. 1. Визуализация развития пожара при различных состояниях:

а – тления; *б* – состояние возгорания;
в – горения и изменения цвета объекта

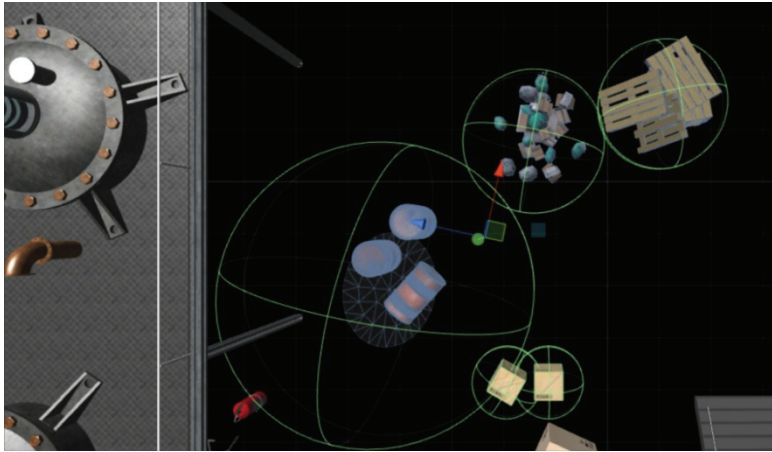


Рис. 2. Радиусы зон возможного воспламенения

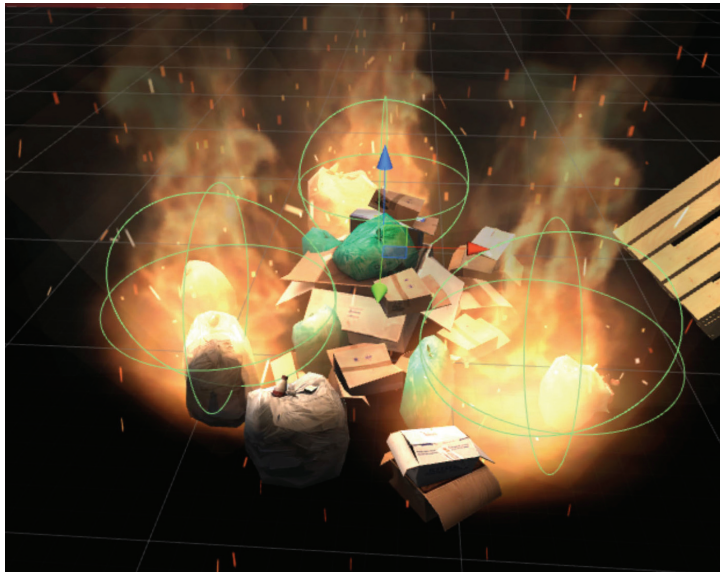


Рис. 3. Очаги открытого пламени

Для каждого объекта возможно существование одного или нескольких очагов открытого пламени. Прежде всего, это связано со скоростью распространения пламени по площади, влияющей на количество очагов открытого пламени (рис. 3).

Дымообразующая способность – параметр, отвечающий за цвет и интенсивность анимации моделирования задымленности. Например, количество и насыщенность дыма при горении резины больше, чем при горении бумаги (рис. 4).

Токсичность продуктов горения – параметр, отвечающий за степень негативного воздействия на человека при отсутствии специальных средств индивидуальной защиты. Например, при нахождении обучаемого в зоне воздействия угарного газа без противогаса наступает нарушение дыхания, ухудшение зрения и скорый летальный исход. Таким образом, при



Рис. 4. Различные виды дыма



Рис. 5. Вид из противогаза

возникновении на промышленном объекте пожара, сопровождающегося выделением токсичных веществ, в АТК предусмотрены режимы использования соответствующих средств индивидуальной защиты. Использование противогазов снижает угол обзора, что влияет на эффективность действий персонала. На рисунке 5 представлена визуализация использования противогаза.

На основе представленных свойств материалов осуществляется формализация основных объектов и процессов распространения пожаров в виртуальной среде АТК, после чего строится математическая модель, используемая непосредственно на этапах проектирования и реализации процессов возгорания, тушения, дымообразования и токсичности в АТК.

В дальнейшем планируется исследование процессов разгерметизации, взрывов, поломок в оборудовании и разработка соответствующих математических моделей и программного обеспечения для АТК.

В статье рассмотрены возможности применения средств виртуальной реальности для моделирования распространения пожаров в АТК. На основе проведенного анализа предметной области выделены и описаны основные параметры, влияющие на скорость распространения огня, дымообра-

зование и токсичность. Их формализация в виде математической модели распространения пожара в АТК позволит упростить их программную реализацию в АТК, рассчитать такие параметры, как возможность возгорания материалов, скорость распространения пламени по объектам, степень горения, дымообразование, токсичности и т.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части (проект 8.2906.2017/ПЧ).

Список литературы

1. Проектирование информационных систем управления документооборотом научно-образовательных учреждений : монография / М. Н. Краснянский [и др.]. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 216 с.
2. Kuligowsky, E. D. A Review of Evacuation Models : Technical note / E. D. Kuligowsky, R. D. Peacock. – National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce, 2005.
3. Rushmeier, H.E. Case Study: Volume Rendering of Pool Fire Data / H. E. Rushmeier, A. Hamins, M. Y. Choi // IEEE Comput. Graph. Applications. – 1994. – Vol. 4, No. 15. – P. 382 – 385.
4. Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications / A. Schadschneider [et al.] // Encyclopedia of Complexity and Systems Science. – New York, NY: Springer New York, 2009. – P. 3142 – 3176. doi: 10.1016/j.ssci.2011.12.024
5. Интеграция виртуальных тренажеров в процесс обучения операторов технических систем с использованием интернет-технологий / М. Н. Краснянский [и др.] // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2010. – № 7. – С. 38 – 49.
6. Design of Simulators for Automated Information Systems of Engineers' Training / M. N. Krasnyanskiy [et al.] // Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 14. – P. 2674 – 2684. doi: 10.3923/jas.2014.2674.2684

References

1. Krasnyanskii M.N., Karpushkin S.V., Ostroukh A.V., Obukhov A.D., Kasatonov I.S., Bukreev D.V., Karpov S.V., Dedov D.L. *Proektirovanie informatsionnykh sistem upravleniya dokumentooborotom nauchno-obrazovatel'nykh uchrezhdenii* [Designing information management systems for document management of scientific and educational institutions], Tambov: Izdatel'stvo FGBOU VPO "TGTU", 2015, 216 p. (In Russ.)
2. Kuligowski E.D., Peacock R.D. *Review of building evacuation models*, National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce, Technical note 1471, 2005.
3. Rushmeier H.E., Hamins A., Choi M.Y. Case Study: Volume Rendering of Pool Fire Data, *IEEE Comput. Graph. Applications*, 1994, vol. 4, no. 15, pp. 382-385.
4. Schadschneider A., Klingsch W., Klüpfel H., Kretz T., Rogsch Ch., Seyfried A. Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications, *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, New York, NY: Springer New York, 2009, pp. 3142-3176, doi: 10.1016/j.ssci.2011.12.024
5. Krasnyanskii M.N., Karpushkin S.V., Dedov D.L., Ostroukh A.V. [Integration of virtual simulators in the process of training operators of technical systems using Internet technologies], *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie* [Remote and virtual training], 2010, no. 7, pp. 38-49. (In Russ.)

6. Krasnyanskiy M.N, Ostroukh A.V., Karpushkin S.V., Dedov D.L., Obukhov A.D. Design of Simulators for Automated Information Systems of Engineers' Training, *Journal of Applied Sciences*, 2014, vol. 14, pp. 2674-2684, doi: 10.3923/jas.2014.2674.2684

Development of Customized Training Systems for Professional Purposes for Simulation of the Fire Propagation Process

**M. N. Krasnyansky, D. L. Dedov,
A. D. Obukhov, A. E. Arkhipov**

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Keywords: customized training systems; fires; mathematical modeling; visualization.

Abstract: The paper explores the development of customized training systems, approaches to constructing a mathematical model for visualization of the spread of fires at industrial facilities with regard to the accompanying processes of smoke formation, the release of toxic combustion products and their influence on people.

© М. Н. Краснянский, Д. Л. Дедов,
А. Д. Обухов, А. Е. Архипов, 2017