

УДК 681.5:519.819:331.45

А.А. ПЕТРИКИН

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Рассмотрена роль информационной системы в обеспечении пожарной безопасности образовательного учреждения. Предложена модель пространственного распространения пожара на основе метода Монте-Карло. Приведен пример программной реализации данной модели.

Ключевые слова: информационная система, пожарная безопасность, образовательное учреждение, имитационное моделирование, вероятностное моделирование, метод Монте-Карло.

Введение. Проблема обеспечения безопасности учебных учреждений особенно актуальна в контексте общего износа основных фондов (зданий, сооружений, оборудования и бытовых коммуникаций), недостаточного финансирования мероприятий, направленных на повышение пожарной безопасности и ослабления контроля со стороны ответственных руководителей. Усугубляет ситуацию и недостаточный общий уровень информированности учащихся и кадрового состава в сфере противопожарных знаний и умения действовать в чрезвычайных ситуациях (ЧС) [1].

Для устранения недостатков, связанных с информационным обеспечением действий во время ЧС, необходимо использовать средства компьютерного моделирования и визуализации динамики развития пожаров, как одной из наиболее распространенных и разрушительных ЧС.

Применение моделирующих систем позволяет отразить всю совокупность сложных процессов и явлений, сопровождающих горение, прогнозировать ущерб, нанесенный пожаром, сократить сроки обучения и повысить уровень информированности учащихся и персонала о действиях во время пожара. Необходимость их внедрения в процесс профессиональной подготовки специалистов противопожарной службы отражена в работах Н.Н. Брушлинского, А.Н. Денисова, В.В. Кафидова, Ю.И. Коломийца, Н.С. Мисюкевича, В.Л. Семикова, Н.Н. Соболева и др.

Однако современные модели пожаров, большой вклад в развитие которых внесли И.Ф. Астахова, Ю.А. Кошмаров, С.В. Пузач, А.М. Рыжов и др., и имитационные системы на их основе не предназначены для обучения. Они направлены на решение конкретных практических задач пожарной безопасности, отражают частные случаи горения веществ и материалов в помещениях определенной формы. При этом для их функционирования требуется значительное время из-за большого объема вычислений. А разработанные до настоящего времени имитационные системы развития пожаров в большинстве случаев не содержат в своей основе достаточно адекватных моделей пожаров. Они отражают развитие пожара дискретно (выполнены в виде светового табло), либо изменение оперативной обстановки в них запрограммировано заранее, в качестве сценария деловой игры (компьютерная программа-симулятор «Emergency 4: Global Fighters for Life» и др.). Это не позволяет использовать их для исследования всей совокупности процессов, протекающих при пожаре, изменять исходные данные, изучать влияние действий обучаемого на процесс тушения пожара и т.д., что в целом существенно ограничивает область их применения и снижает эффективность использования для повышения пожарной безопасности образовательного учреждения.

В связи с этим решение научной задачи по созданию компьютерной моделирующей системы является актуальной проблемой.

Повышение противопожарной безопасности образовательного учреждения с использованием компьютерного моделирования. При возникновении пожара действия персонала строго регламентированы должностными инструкциями, однако распространение опасных факторов пожара (ОФП) вносит свои корректировки в эти регламенты. Заранее трудно предсказать время, за которое ОФП достигнут предельной концентрации на пути эвакуации, и влияние действий

персонала на распространение пожара. Поскольку натурные испытания провести невозможно, то на помощь приходят методы компьютерного моделирования. Использование компьютерных моделей позволяет:

- построить распространение полей ОФП;
- определить необходимое время эвакуации;
- оценить эффективность применения средств пожаротушения и противопожарных мероприятий;
- прогнозировать наиболее опасные или вероятные сценарии развития пожара;
- проводить тренировки персонала, совершенствуя навыки противопожарной защиты;
- отбатывать практические навыки взаимодействия с учебно-тренировочными стендами (пульт дежурного, пожарный извещатель и пр.).

Таким образом, модель – это специально создаваемый объект, на котором воспроизводятся определенные характеристики реального объекта в целях его изучения. Моделирование является важнейшим инструментом научной абстракции, позволяющим выделить, обосновать характеристики исследуемого реального объекта: свойства, взаимосвязи, структурные и функциональные параметры и др. То есть, можно сказать, что моделирование – это изучение объекта посредством построения и исследования его модели, осуществляемое с определенной целью: заменить эксперимент с оригиналом экспериментом на модели.

Имитационный подход для моделирования основных закономерностей пожара. Для моделирования пожара использован имитационный подход на основе метода Монте-Карло. Суть метода: задают исходные координаты очага возгорания. При этом считается, что вначале загорается только один кубик, соответствующий заданной точке. Далее огонь распространяется на близлежащие кубики с некоторой долей вероятности. Последняя зависит от некоторой случайной величины, линейной скорости распространения пламени, температуры и концентрации кислорода. На основании свойств материала для каждого объекта рассчитывается, какая масса выгорит в кубике за одну итерацию и сколько итераций будет гореть кубик. Далее рассчитывают выделение отравляющих газов, потребление кислорода и изменение температуры.

Одним из сложных моментов имитационного моделирования пожара является то, что при задании низкого значения масштаба L приходится формировать большое количество кубов. Это делает вычислительные затраты слишком высокими. Например, при задании $L=0,01$ м в 1 м³ необходимо формировать один миллион кубов. Учитывая загруженность пространства в таких помещениях, как серверные, приходится формировать несколько десятков миллионов кубиков, а затем проводить их обработку. В итоге вычисления при моделировании занимают десятки часов.

Обойти данную сложность позволяет следующее: при визуализации пожара в 3D-модели не происходит разрушения объектов в помещении. То есть огонь показывается только на поверхностях объектов (кроме нижней). Следовательно, можно формировать для макрообъектов не все кубики из множества $\mathbb{X}$, а только кубики из множества $\mathbb{X}_s$. При этом необходимо сосредоточить всю массу макрообъекта в кубиках множества $\mathbb{X}_s$.

Обозначим символом C_i соотношение общего числа кубиков и числа кубиков на поверхностях макрообъекта:

$$C_i = |\mathbb{X}_i|/|\mathbb{X}_s|.$$

Условная масса кубиков из множества $\mathbb{X}_i$ рассчитывается по формуле:

$$m_i = L^3 \rho_i C_i,$$

где ρ_i – плотность объекта.

Масса, выгорающая в кубике за одну итерацию, определяется по формуле:

$$f_i = L^2 \Psi_i k_s,$$

где Ψ_i – удельная массовая скорость выгорания материала, из которого состоит макрообъект; k_s – масштаб времени; k_s – поправочный коэффициент, определяющий сколько поверхностей кубика в среднем могут одновременно гореть ($1 \leq k_s \leq 5$).

Количество итераций, в течение которых выгорает кубик, вычисляется по формуле:

$$I_i = m_i / f_i.$$

Сформулируем вероятностную функцию, определяющую передачу пламени от соседнего горящего кубика. Для каждого кубика определим множество соседей – кубиков, координаты которых отличаются от его координат на единицу:

$$S_i = \{ p_j / x_j = x_i + 1, y_j = y_i, z_j = z_i \mid x_j = x_i - 1, y_j = y_i, z_j = z_i \mid x_j = x_i, y_j = y_i + 1, z_j = z_i \mid \\ x_j = x_i, y_j = y_i - 1, z_j = z_i \mid x_j = x_i, y_j = y_i, z_j = z_i + 1 \mid x_j = x_i, y_j = y_i, z_j = z_i - 1 \mid \\ x_j = x_i - 1, y_j = y_i + 1, z_j = z_i - 1 \mid x_j = x_i + 1, y_j = y_i + 1, z_j = z_i - 1 \mid \\ x_j = x_i - 1, y_j = y_i + 1, z_j = z_i + 1 \mid x_j = x_i + 1, y_j = y_i + 1, z_j = z_i + 1 \mid \\ x_j = x_i - 1, y_j = y_i - 1, z_j = z_i - 1 \mid x_j = x_i + 1, y_j = y_i - 1, z_j = z_i - 1 \mid \\ x_j = x_i - 1, y_j = y_i - 1, z_j = z_i + 1 \mid x_j = x_i + 1, y_j = y_i - 1, z_j = z_i + 1 \}.$$

Здесь p_j – точка, задающая расположение объекта в пространстве; x, y, z – координаты соседних кубиков.

Данное определение множества соседей позволяет распространяться моделируемому пожару во всех направлениях и переходить с одного макрообъекта на другие.

Пороговая функция имеет следующий вид:

$$R_i = (k_1 v_i + Rnd)(O/Vk_2) + T \cdot k_3,$$

где k_1 – относительный вес линейной скорости распространения пламени (по результатам испытаний принято $k_1 = 5$); v_i – линейная скорость распространения пламени; Rnd – случайная величина ($0 \leq Rnd \leq 1$); O – масса кислорода в помещении на данный момент времени; V – объем свободного пространства в помещении; k_2 – относительный вес концентрации кислорода (по результатам испытаний принято $k_2 = 1,65$); T – температура в данный момент времени; k_3 – относительный вес температуры (по результатам испытаний принято $k_3 = 0,0005$).

Кубик загорается, если пороговая функция принимает значение не меньше 0,5. Испытания показали, что при вышеуказанных значениях весовых коэффициентов шанс загореться у кубика составляет примерно 1/3.

На каждой итерации процесса моделирования рассчитываются изменения следующих параметров среды: массы кислорода, углекислого газа, угарного газа, хлористого водорода, задымления и температуры. Расчет последних двух параметров ведется грубо, исходя из предположения, что температура одинаково изменяется во всем помещении, а дым равномерно распределяется по всему свободному пространству.

Для расчета изменения параметров используются следующие формулы:

$$O_t = O_{t-1} + \sum_{i=1}^{i=n} L_{O_{2i}} f_i R_i,$$

где O_t – масса кислорода в помещении на текущий момент; O_{t-1} – масса кислорода в помещении в предыдущей итерации; n – количество макрообъектов в модели; $L_{O_{2i}}$ – потребление кислорода, определенное для материала i -го макрообъекта; f_i – масса, выгорающая в кубике i -го макрообъекта за одну итерацию; R_i – количество кубиков i -го макрообъекта, горящих в данной итерации.

$$CO_{2t} = CO_{2t-1} + \sum_{i=1}^{i=n} L_{CO_{2i}} f_i R_i,$$

где CO_{2t} – масса углекислого газа в помещении на текущий момент; CO_{2t-1} – масса углекислого газа в помещении в предыдущей итерации; n – количество макрообъектов в модели; $L_{CO_{2i}}$ – выделение углекислого газа, определенное для материала i -го макрообъекта;

f_i – масса выгорающая в кубике i -го макрообъекта за одну итерацию; R_i – количество кубиков i -го макрообъекта, горящих в данной итерации.

$$CO_t = CO_{t-1} + \sum_{i=1}^{i=n} L_{CO_i} f_i R_i,$$

где CO_t – масса угарного газа в помещении на текущий момент; CO_{t-1} – масса угарного газа в помещении в предыдущей итерации; n – количество макрообъектов в модели; L_{CO_i} – выделение угарного газа, определенное для материала i -го макрообъекта; f_i – масса выгорающая в кубике i -го макрообъекта за одну итерацию; R_i – количество кубиков i -го макрообъекта, горящих в данной итерации.

$$HCl_t = HCl_{t-1} + \sum_{i=1}^{i=n} L_{HCl_i} f_i R_i,$$

где HCl_t – масса хлористого водорода в помещении на текущий момент; HCl_{t-1} – масса хлористого водорода в помещении в предыдущей итерации; n – количество макрообъектов в модели; L_{HCl_i} – выделение хлористого водорода, определенное для материала i -го макрообъекта; f_i – масса выгорающая в кубике i -го макрообъекта за одну итерацию; R_i – количество кубиков i -го макрообъекта, горящих в данной итерации.

$$H_t = H_{t-1} + \sum_{i=1}^{i=n} HR_i L^2 R_i,$$

где H_t – количество тепла, выделившегося в помещении на текущий момент; H_{t-1} – количество тепла, выделившегося в помещении в предыдущей итерации; n – количество макрообъектов в модели; HR_i – мощность тепловыделения с одного квадратного метра источника, определенная для материала i -го макрообъекта; L – масштаб модели; R_i – количество кубиков i -го макрообъекта, горящих в данной итерации.

$$D_t = D_{t-1} + \sum_{i=1}^{i=n} Dm_i f_i R_i / V,$$

где D_t – оптическое количество дыма в помещении на текущий момент; D_{t-1} – оптическое количество дыма в помещении в предыдущей итерации; n – количество макрообъектов в модели; Dm_i – дымообразующая способность, определенная для материала i -го макрообъекта; f_i – масса, выгорающая в кубике i -го макрообъекта за одну итерацию; R_i – количество кубиков i -го макрообъекта, горящих в данной итерации.

$$T_t = T_{t-1} + (H_t - H_{t-1}) \cdot 3600 / (5.8 \cdot 31.1 \cdot 29 \cdot V),$$

где T_t – температура в помещении на текущий момент; T_{t-1} – температура в помещении в предыдущей итерации; V – объем свободного пространства в помещении.

Пространство моделируется в трехмерной координатной сетке. Объекты реального мира (стены, пол, потолок, мебель, компьютерная техника и т.д.) отображаются в пространстве с помощью макрообъектов. Макрообъекты имеют форму прямоугольного параллелепипеда. Таким образом, для задания макрообъекта в пространстве достаточно указать координаты двух углов расположенных на одной диагонали. Каждый макрообъект связан строго с одним материалом и имеет заданную плотность. Плотность макрообъекта определяется на основе свойств материала и с учетом пустот, имеющих в моделируемом объекте реального мира или на основе его фактической массы.

Программная реализация имитационного моделирования. Поскольку вычисления в процессе моделирования характеризуются высокой емкостью, решено использовать клиент-серверную архитектуру (рис.1). В качестве сервера выбрана система управления базами данных Oracle Database 11g. Данный сервер выбран потому, что он обеспечивает наиболее высокую производительность обработки данных среди промышленных систем. Кроме того, в Oracle Database реализованы наиболее современные технологии защиты данных. Программное обеспечение на серверной стороне построено так, что при необходимости коммерческий Oracle Database 11g можно заменить на свободно распространяемый Oracle Express Database. Но при этом придется ограничить масштабы моделирования.

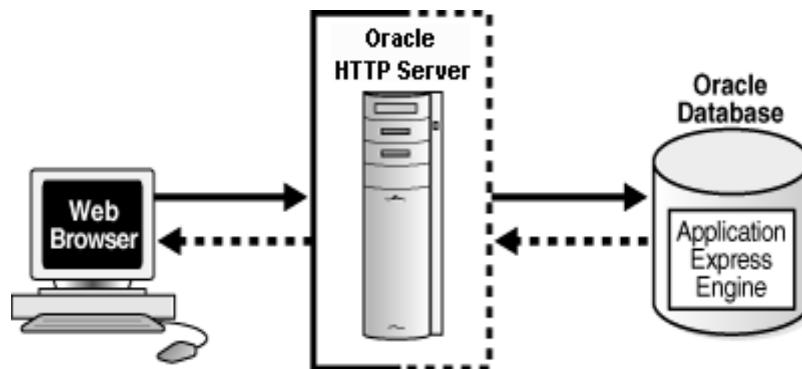


Рис.1. Состав программных компонентов

На стороне пользователя работает тонкий браузерный клиент, разработанный по технологии Oracle Application Express 3.2. Связь с сервером осуществляется через Oracle HTTP Server.

3D-модель пожара отображается с помощью Adobe Flash Player 10.1. Использование данного инструмента позволяет отображать трехмерные сцены в окне браузера и не требует дополнительных расходов на приобретение программного обеспечения.

Схема базы данных показана на рис.2. В схему включены следующие сущности:

- «Проект» (PROJECT) содержит основные параметры моделирования (масштаб координатной сетки, время моделирования и длительность итераций, статус системы пожаротушения и координаты очага возгорания). Также в сущности представлены атрибуты, определяющие начальные значения параметров окружающей среды (температура, содержание кислорода);
- «Макрообъект» (MACRO_OBJECT) содержит координаты макрообъектов, ссылки на материал и проект. Здесь определяется плотность материала и содержатся расчетные данные параметров горения, определяемые на начальном этапе моделирования;
- «Материал» (MATERIAL) содержит характеристики материалов, которые необходимо учитывать при моделировании пожара;
- «Система пожаротушения» (FIRE_SYSTEM) содержит данные о температуре срабатывания или уставочной концентрации дыма, а также данные о времени срабатывания;
- «Куб» (CUBE_) содержит координаты кубиков и их состояния. Данная сущность реализована посредством временной таблицы, которая уничтожается после завершения сессии. Такое решение позволяет более быстро формировать кубики и оперировать ими.

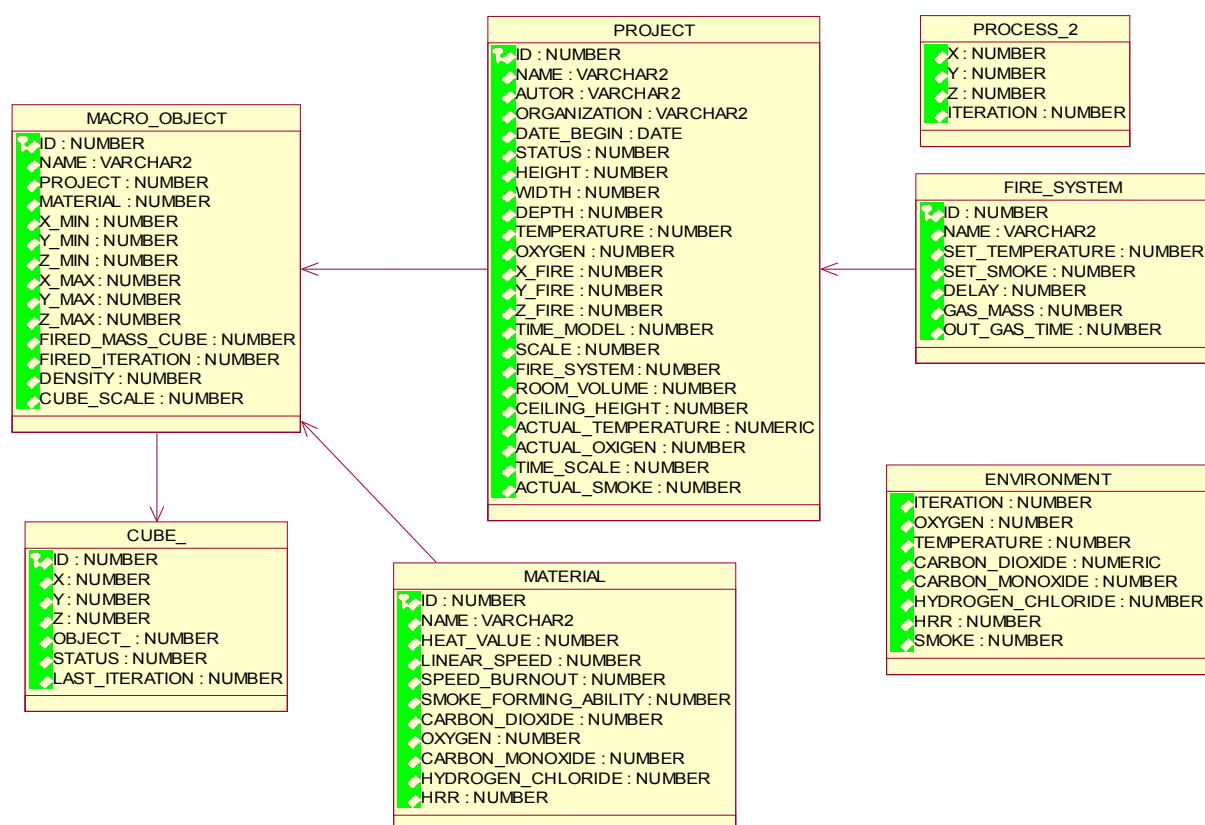


Рис.2. Схема базы данных

– «Контур пламени» (PROCESS_2) содержит данные о контуре пламени на каждой моделируемой итерации. Данная таблица используется для визуализации процесса горения;

– «Окружающая среда» (ENVIRONMENT) для каждой итерации содержит значения параметров окружающей среды (массы кислорода, углекислого газа, угарного газа, хлористого водорода, температуры и задымленности).

Формирование трех последних таблиц происходит в процессе моделирования пожара. Кубы формируются на начальном этапе моделирования. Затем, по мере моделирования итераций, производится заполнение таблиц, описывающих контур пламени и параметры окружающей среды.

Данные таблицы PROCESS_2 передаются посредством Demand-процесса, и могут быть использованы для построения 3D-модели в любом программном компоненте, имеющем доступ к интерфейсу этого процесса.

Взаимодействие программных компонентов моделирующего комплекса показано на рис.3.

Диаграмма компонентов серверной части системы представлена на рис. 4.

Кратко опишем функционал представленных процедур и функций.

1. Процедура P_RUN_PROJECT производит чистку таблиц с результатами моделирования, устанавливает начальные параметры окружающей среды, производит запуск процесса формирования кубиков и запуск процесса моделирования пожара.

2. Процедура P_FULL_MACRO формирует кубики для макрообъектов и производит расчет массы горения и числа итераций горения.

3. Процедура P_START_FIRE осуществляет запуск процесса моделирования пожара, запуск модели системы пожаротушения, заполняет данные для 3D-моделирования.

4. Процедура P_ALL_FIRE моделирует распространение огня от всех горящих кубиков, запуская процедуру расчета параметров среды на текущей итерации.

5. Процедура P_CHANGE_ENVIRONMENT рассчитывает параметры окружающей среды: изменение температуры, концентрации кислорода и отравляющих газов на каждой итерации, записывает расчетные данные для построения диаграмм.

6. Процедура P_GET_FIRE моделирует распространение огня от конкретного горящего кубика.

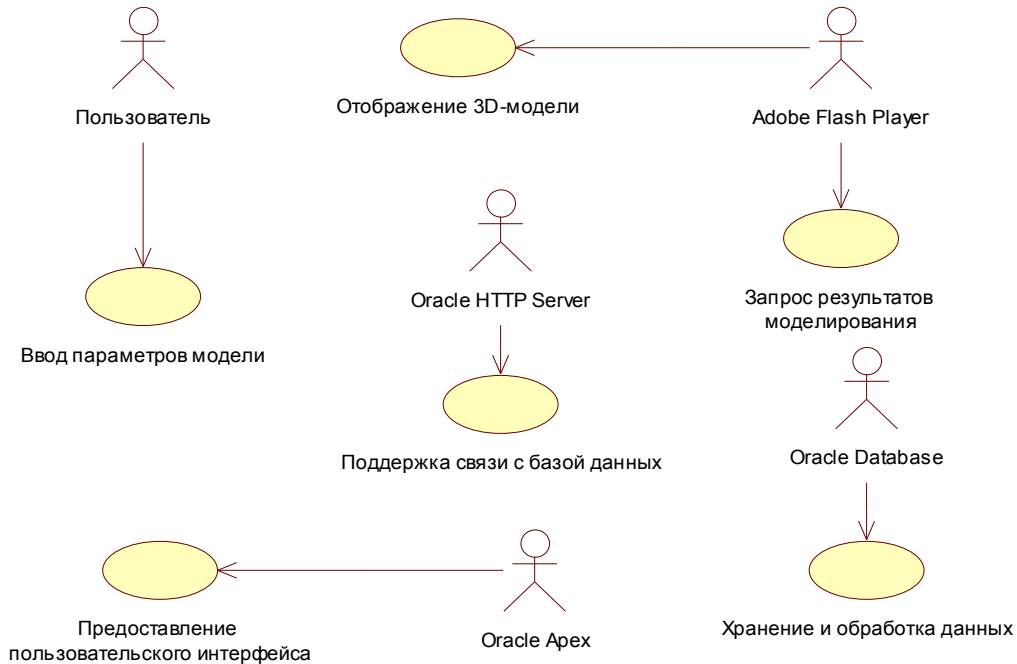


Рис. 3. Диаграмма вариантов использования моделирующего комплекса

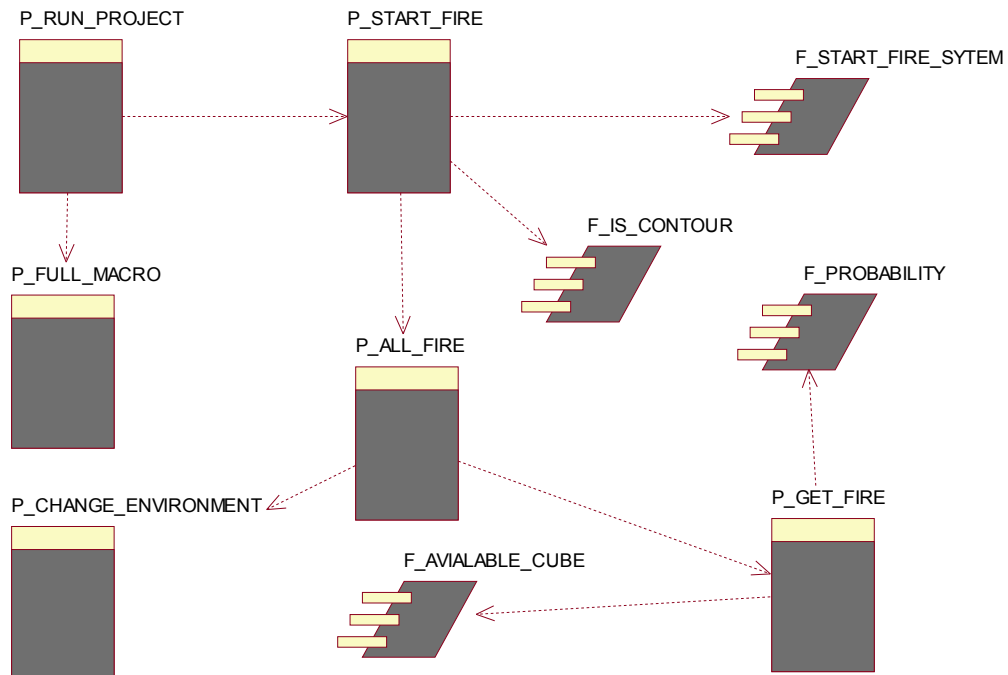


Рис.4. Диаграмма компонентов серверной части

7. Функция F_START_FIRE_SYTEM осуществляет запуск системы пожаротушения, если таковая предусмотрена в процессе моделирования.

8. Функция F_PROBABILITY осуществляет расчет вероятностной функции воспламенения кубика.

9. Функция F_IS_CONTOUR определяет, образует ли кубик контур огня или находится внутри него.

10. Функция F_AVIALABLE_CUBE определяет, может ли кубик быть зажжен.

Структура компонентов пользовательского интерфейса представлена на рис.5.

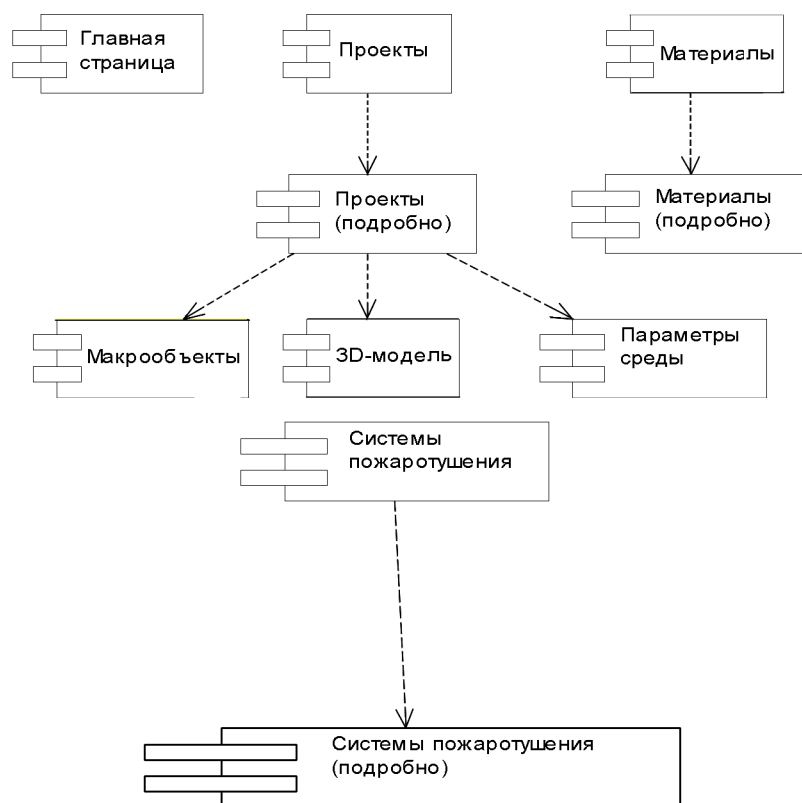


Рис.5. Диаграмма компонентов пользовательского интерфейса

Заключение. Применение технологий компьютерного имитационного моделирования при создании моделирующих систем значительно расширяет их возможности в описании и визуальном представлении исследуемых процессов горения и пространственного развития пожара.

Разработанный моделирующий комплекс использует имитационную модель, которая хотя и уступает в точности полевой или интегрированной модели, однако существенно снижает вычислительную сложность моделирования. Также реализованная модель обладает высокой гибкостью изменения начальных параметров и возможностью быстрой проверки и изменения различных настроек системы пожаротушения.

Библиографический список

1. Компьютерная энциклопедия «Пожарная безопасность образовательного учреждения» [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fire.mchs.gov.ru/files/enciklopedia.rar>
2. Ольховик О.В. Концепция разработки системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайной ситуации / О.В. Ольховик, А.А. Петрикин, И.В. Богуславский // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т.10, №3(46). – С. 350-360.

Материал поступил в редакцию 03.11.10.

References

1. Komp'yuternaya enciklopediya «Pojarnaya bezopasnost' obrazovatel'nogo uchrejdeniya» [Elektron. resurs]. – Rejim dostupa: <http://www.fire.mchs.gov.ru/files/enciklopedia.rar> – In Russian.
2. Ol'hovik O.V. Konceptiya razrabotki sistemy podderjki prinyatiya reshenii v usloviyah chrezvychainoi situacii / O.V. Ol'hovik, A.A. Petrikin, I.V. Boguslavskii //Vestn. Donsk. gos. tehn. un-ta. – 2010. – T.10, №3(46). – S. 350-360. – In Russian.

A.A. PETRIKIN

INFORMATION SYSTEM OF FIRE SAFETY IN EDUCATIONAL INSTITUTION

The information system role in the fire safety structure of the educational institution is considered. A model of spatial fire spread according to Monte Carlo method is offered. An example of the software implementation of this model is given.

Key words: *information system, fire safety, educational institution, simulation modeling, probabilistic modeling, Monte Carlo method.*

ПЕТРИКИН Андрей Александрович (р. 1987), ведущий программист сектора мультимедийных технологий ИВЦ ДГТУ. Окончил Донской государственный технический университет (2009).

Область научных интересов: автоматизированные системы управления, методы трехмерной визуализации.

Автор 5 научных работ.

apetrikin@mail.ru

Andrey A. PETRIKIN (1987), Senior programmer of the Multimedia Technologies Sector, Information Computer Centre, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2009).

Research interests: automated control systems, methods of three-dimensional visualization.

Author of 5 publications.