

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ВИЗУАЛИЗАЦИЙ BIM-МОДЕЛЕЙ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Ю. Н. Згода, К. А. Шумилов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается реализация программно-аппаратного комплекса (ПАК), полностью автоматизирующего процесс построения интерактивных визуализаций для BIM-пакетов Autodesk Revit и Renga с использованием технологии виртуальной реальности. Описываются преимущества интерактивной визуализации перед визуализацией на основе трассировки лучей. Рассматриваются уже существующие решения по автоматизированному построению интерактивных визуализаций, их преимущества и недостатки. Предлагается архитектура ПАК, включающая в себя расширения для BIM-пакетов Revit и Renga, реализующие сбор данных о BIM-модели, а также приложение для интерактивной визуализации экспортированной модели. Проводится тестирование разработанных модулей на ряде BIM-моделей. Оцениваются такие критерии эффективности ПАК как скорость экспорта данных, объем памяти, требуемый для хранения экспортированной модели, а также частота обновления кадров в модуле интерактивной визуализации. Приведены выводы об эффективности разработанного ПАК.

Ключевые слова: интерактивная визуализация, BIM, виртуальная реальность, Revit, Renga.

AUTOMATIZATION OF BIM-MODEL INTERACTIVE VISUALIZATION GENERATION PROCESS

I. N. Zgoda, K.A. Shumilov

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

The article describes the implementation of a hardware-software complex (HSC) that fully automates the process of constructing interactive visualizations of BIM-models designed in BIM software Autodesk Revit and Renga with the use of virtual reality technology. The advantages of interactive visualization over visualization based on raytracing are described. Examples of existing solutions for the automated interactive visualizations generation are given, their advantages and disadvantages are described. The HSC architecture is proposed, which includes an extension for Revit and Renga BIM software packages that implements data collection on the BIM model, as well as interactive visualization of the exported model. Testing of export and interactive visualization modules on BIM-models of varying degrees of complexity was carried out. Such criterias for the effectiveness as the duration of the export of BIM model data, the amount of memory required to store the exported model, and the frame refresh rate in the interactive visualization module were evaluated. In conclusion, the effectiveness of the developed HSC was demonstrated.

Keywords: interactive visualization, BIM, virtual reality, Revit, Renga.

Введение

Информационное моделирование зданий (англ. Building Information Modeling – BIM) – это одно из наиболее актуальных направлений в строительстве и архитектуре. BIM-технологии активно внедряются в России – подтверждением этого является «Приказ об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования» [1]. Более того, согласно поручению Президента Российской Федерации В. В. Путина [2], к 1 июля 2019 года должно быть завершено внедрение технологий информационного моделирования. Группа компаний «Эталон», фокусирующаяся на жилой недвижимости в Санкт-Петербурге, использует BIM-технологии при реализации своих проектов с 2012 года [3]. В настоящее время обсуждаются и готовятся к публикации требования экспертных органов (головное учреждение – Мосгорэкспертиза) к представляемым информационным моделям. Таким образом, технологии информационного моделирования зданий и сооружений являются реализацией цифровой экономики в строительной области и области управления недвижимостью [4].

Данная работа посвящена визуализации BIM-моделей. Очевидно, встроенные в BIM-пакеты средства визуализации не позволяют достичь высокой реалистичности изображения. Например, отечественный BIM-пакет Renga позволяет

выполнить рендеринг только в монохромном режиме или с цветной заливкой, при этом отсутствуют возможности по заданию текстур или каких-либо дополнительных параметров визуализации кроме цвета материала. Зарубежные BIM-пакеты предоставляют более широкие возможности по визуализации BIM-моделей, но их также недостаточно для подготовки качественной и реалистичной визуализации.

Разработчики Renga рекомендуют использовать для визуализации BIM-моделей инструмент Artisan Rendering [5]. Данное решение не требует от пользователя навыков 3D-моделирования и предоставляет простой пользовательский интерфейс. С другой стороны, по качеству визуализации Artisan значительно уступает таким решениям, как Mental Ray, Corona или V-Ray, позволяющим достичь уровня визуализации, близкого к фотореалистичному.

Таким образом, в большинстве случаев возникает необходимость экспорта BIM-модели в ПО для 3D-моделирования (например, 3ds Max, Cinema 4D, Twinmotion или Blender) с целью построения реалистичной визуализации. Зачастую, процесс экспорта из одного программного комплекса в другой сопровождается ошибками (неправильное направление нормалей, z-fighting и т. д.), в связи с чем модель требует дополнительной промежуточной обработки в 3D-редакторе [6]. Но обработка 3D-моделей не

является основной деятельностью архитектора или инженера, т. е. требует участия специалиста по 3D-графике. Во многих случаях, компании, занимающиеся проектированием, могут передать необходимые данные компании, специализирующейся на визуализации (примером такой компании является Wight&Co), что приводит к дополнительным затратам.

После того, как модель была полностью подготовлена для визуализации в 3D-редакторе, необходимо выполнить рендеринг этой модели. Наиболее распространен рендеринг с использованием технологии трассировки лучей (англ. raytracing) с заданной глубиной отражений (отскоков). Суть метода заключается в моделировании миллиардов лучей, собирающих информацию об освещении и отражениях. Данная технология позволяет получить степень реалистичности визуализации, близкую к фотореализму, т.к. принцип трассировки лучей во многом повторяет физические законы перемещения фотонов от источника света к объективу камеры. Однако трассировка лучей является крайне требовательной к ресурсам: на построение одного кадра в разрешении 4K может уйти несколько часов вычислений на графической станции.

Следовательно, для того чтобы получить один кадр, специалисту потребуется потратить большое количество времени на промежуточную обработку модели в 3D-редакторе, ее оптимизацию, расстановку источников света, назначение материалов. Затем необходимо выполнить рендеринг длительностью в несколько часов. Если понадобится изменить местоположение одного из источников освещения или изменить материал у одного из объектов, рендеринг будет необходимо начать заново.

Возможным решением данной проблемы могут быть графические процессоры с аппаратным ускорением трассировки лучей от компании NVIDIA, позволяющие частично использовать технологию трассировки лучей в реальном времени [7]. Их мощностей недостаточно для построения кадра целиком на основе трассировки лучей, но они позволяют повысить реалистичность таких составляющих изображения, как отражения и непрямоe освещение. С другой стороны, относительно недавно были продемонстрированы решения, позволяющие выполнять визуализацию с использованием трассировки лучей без какого-либо аппаратного ускорения [8]. Однако на данный момент подобные технологии еще не обрели достаточного распространения.

В настоящее время все большее распространение обретают технологии визуализации в реальном времени (real-time rendering). В отличие от трассировки лучей, опирающейся на физические законы распространения света, технологии

визуализации в реальном времени используют кардинально иные по принципу построения изображения алгоритмы растеризации, требующие значительно меньшего количества времени и ресурсов для построения одного кадра. Более того, современные технологии рендеринга в реальном времени позволяют достичь качества визуализации, близкого к трассировке лучей.

Максимально раскрыть возможности интерактивной визуализации в области BIM-моделирования позволяют технологии виртуальной и дополненной реальности [9]. Архитектор может использовать интерактивную визуализацию BIM-модели в виртуальной реальности для того, чтобы изучить интерьер и экстерьер проектируемого здания еще до его возведения. Конструкторы могут использовать виртуальную реальность для более наглядной визуализации расчетов строительных конструкций. Имеются сценарии использования виртуальной реальности для презентации 4D BIM-моделей [10] или в ходе виртуальной реконструкции [11]. Работа [12] описывает основные подходы к повышению производительности интерактивной визуализации в виртуальной реальности, а [13] включает в себя разносторонний обзор используемых на данный момент технологий построения интерактивных визуализаций в системах виртуальной и дополненной реальности и статистические данные, подтверждающие актуальность технологий интерактивной визуализации в сфере BIM. Также, использование виртуальной реальности в образовательном процессе студентов строительных специальностей позволяет значительно повысить эффективность обучения [14].

С другой стороны, реализация интерактивных составляющих требует от пользователя навыков программирования, а также владения одним из графических API (таких как OpenGL/DirectX/Vulkan) или одним из движков (Unity 2019/ Unreal Engine 4) для реализации интерактивных составляющих. Создание интерактивной визуализации с помощью движка по-прежнему требует от пользователя экспорта и промежуточной обработки BIM-модели в 3D-редакторе, что делает подготовку интерактивной визуализации более трудоемкой, чем подготовку обычной визуализации. Стоит отметить, что подготовка интерактивной визуализации с использованием технологий виртуальной реальности требует тщательной промежуточной обработки BIM-модели и ее оптимизации в связи с высокой вычислительной сложностью стерео-рендеринга [15]. Таким образом, для подготовки интерактивной визуализации высокого качества требуется не только высокий уровень владения BIM-пакетом, но и умение обработки и оптимизации 3D-моделей, а также навыки программирования.

На данный момент, существует ряд решений для BIM-пакетов (Enscape, Engra, Lumion, Twinmotion), автоматизирующих процесс построения интерактивной визуализации. При этом от пользователя не требуется дополнительных действий по обработке модели или написанию программной логики, что позволяет значительно ускорить процесс подготовки интерактивной визуализации. Однако, данные решения работают только с ограниченным набором BIM-пакетов (или только с одним BIM-пакетом). И в случае перехода на другой BIM-пакет возникает необходимость в освоении нового приложения для интерактивной визуализации. При этом, представленные выше решения являются платными, что повышает расходы на проектирование. И, как уже упоминалось ранее, единственным решением в области визуализации для отечественного ПО Renga является Artisan, функциональность которого крайне ограничена.

1. Цели и задачи

Целью данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса (ПАК), полностью автоматизирующего процесс построения интерактивной визуализации BIM-модели в виртуальной реальности. Данный ПАК должен поддерживать наиболее распространенные зарубежные и отечественные BIM-пакеты, при этом обладать гибкой архитектурой, позволяющей разработчикам BIM-пакетов реализовать поддержку своих продуктов.

В данной работе были поставлены следующие задачи: исследование API различных BIM-пакетов на наличие общих черт (т. е. абстракций, являющихся универсальными для разных BIM-пакетов) и различий (требующих реализации уникальной программной логики в ходе работы с моделью). Результатом данного исследования должна стать архитектура программного комплекса, обеспечивающая максимально простое взаимодействие с различными BIM-пакетами.

Модуль интерактивной визуализации BIM-модели должен обеспечивать высокое качество рендеринга и предоставлять пользователям обширный набор интерактивных составляющих (таких как различные варианты навигации по модели, возможность задания времени суток

для управления атмосферными явлениями и наружным освещением, изменение материалов модели в реальном времени и т.д.).

Отдельное внимание следует уделить вопросам производительности. Процесс экспорта/импорта должен проходить максимально быстро. Частота кадров при интерактивной визуализации должна быть стабильно высокой (в том числе при использовании технологии виртуальной реальности).

В ходе разработки и тестирования данного ПАК были использованы следующие технические средства: компьютер с Intel core i7-4770, 16 GB ОЗУ и видеокартой Nvidia GTX 980, а также шлем виртуальной реальности Oculus Rift DK2.

По завершении этапа разработки программной составляющей ПАК было выполнено его тестирование посредством построения интерактивных визуализаций различных BIM-моделей. Были измерены такие характеристики, как длительность экспорта модели и объем памяти, занимаемый экспортированной BIM-моделью. Для определения эффективности модуля интерактивной визуализации, была измерена средняя частота кадров в секунду в процессе визуализации. Полученные результаты были сопоставлены с соответствующими характеристиками встроженных средств экспорта Renga и Revit.

2. Выбор средств разработки

В качестве средств разработки для модуля интерактивной визуализации был выбран движок Unreal Engine 4, как один из лидирующих на данный момент движков по уровню рендеринга. Большая часть программной логики модуля интерактивной визуализации реализована на языке программирования C++, логика пользовательского интерфейса реализована средствами визуального языка программирования Blueprints. Для разработки модуля экспорта был выбран язык программирования C#, используемый для разработки расширений большинства BIM-пакетов.

3. Структура программно-аппаратного комплекса

Общая схема программной составляющей ПАК приведена на рис. 1.



Рис. 1. Программная составляющая ПАК

Модуль экспорта отвечает за сбор информации о модели, упаковку данных и их передачу в модуль интерактивной визуализации. Из этой архитектуры следует, что единственный компонент, зависящий от конкретного API –

это блок сбора информации о модели. Остальные компоненты (компоновка элементов модели и передача в модуль интерактивной визуализации) не зависят от конкретного API.

Внутреннее устройство модуля экспорта представлено на рис. 2.

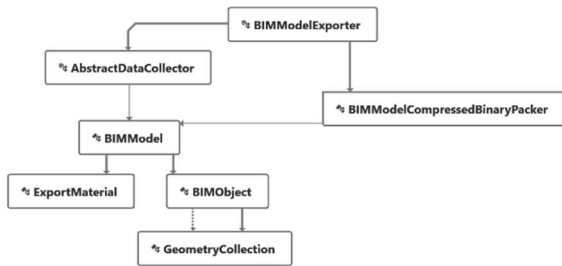


Рис. 2. Dependencies Graph для модуля экспорта

Модуль экспорта устроен следующим образом. Для каждого конкретного BIM-пакета необходима реализация наследника класса BIMModelExporter. Реализация этого абстрактного класса заключается в реализации наследника класса AbstractDataCollector.

AbstractDataCollector – это абстрактный класс, наследники которого выполняют сбор информации о BIM-модели средствами API BIM-пакета. Каждый API предоставляет информацию о внутреннем устройстве BIM-модели используя собственные структуры данных, наследники DataCollector преобразуют эти структуры к виду, с которым умеет работать BIMModelExporter, т.е. в виде экземпляров класса BIMModel. На данный момент, этот класс включает в себя данные о геометрии и сведения об используемых в модели материалах.

Благодаря подобной реализации, имеется возможность учесть специфику конкретного API различных BIM-пакетов. Ранее упоминалось, что Renga не позволяет задать каких-либо параметров визуализации кроме цвета геометрии. Поэтому, в рамках работы над расширением для Renga была реализована возможность задания в процессе экспорта дополнительных параметров для каждого из материалов. Таким образом, подобная архитектура позволяет не только эффективно собирать данные о BIM-модели, но и вносить дополнительную информацию.

Заключительным этапом является запись собранной в объекте BIMModel информации в файл. В рамках этого процесса, выполняется представление всей собранной информации в бинарном виде и последующее сжатие. Затем информация о BIM-модели в сжатом виде записывается на жесткий диск во временный файл для последующего чтения модулем интерактивной визуализации. Эти действия реализуются классом BIMModelCompressedBinaryWriter.

Модуль интерактивной визуализации включает в себя логику импорта, обеспечивает реалистичную визуализацию BIM-модели, а также предоставляет пользователю различные интерактивные компоненты, такие как управление окружающей средой (задание времени суток и

параметров небосвода), настройки рендеринга (дальность отрисовки, детализацию растительности и ландшафта, разрешение экрана и т.д.) и назначение материалов из встроенной библиотеки материалов.

4. Апробация ПАК

По окончании разработки ПАК, была выполнена его апробация на ряде моделей, как входящих в примеры проектов для соответствующего BIM-пакета, так и созданных самостоятельно. Все использованные модели из пакетов Renga и Revit приведены на рис. 3.



Рис. 3. Проекты Renga (сверху) и проекты Revit (снизу) в порядке возрастания сложности (слева направо)

Для каждой из тестовых моделей модуль интерактивной визуализации обеспечивал стабильно высокую частоту кадров около 80-100 FPS. Результат работы модуля визуализации для одной из моделей Renga приведен на рис. 4.



Рис. 4. Сравнение визуализации в Renga (слева) и в модуле интерактивной визуализации (справа)

Для каждой из моделей была выполнена оценка производительности на основе длительности экспорта. В таблицах используются следующие обозначения: А – для наиболее простой (по количеству полигонов), В – для средней и С – для наиболее сложной из трех моделей. Полученные результаты приведены для моделей, экспортированных из Renga (табл. 1) и Revit (табл. 2).

Таблица 1

Длительность экспорта моделей в Renga

Параметр	А	В	С
Количество вершин	10 218	101 596	3 250 334
Количество треугольников	20 432	223 546	5 637 518
Количество отдельных компонентов	-	-	-

Продолжение таблицы 1

Параметр	A	B	C
Сбор данных (мс)	50	934	13 212
Бинарный поток (мс)	7	119	3 741
Сжатие данных (мс)	188	1 468	41 966
Запись данных (мс)	0	1	480
Итого (мс)	247	2 546	59 402
Длительность экспорта в формате OBJ	700	4 100	63 400

Таблица 2

Длительность экспорта моделей в Revit

Параметр	A	B	C
Количество вершин	6 293	245 006	752 517
Количество треугольников	12 102	409 357	1 369 799
Количество отдельных компонентов	312	485	5 894
Сбор данных (мс)	595	2 682	10 290
Бинарный поток (мс)	28	323	691
Сжатие данных (мс)	193	3 676	12 933
Запись данных (мс)	0	1	4
Итого (мс)	816	6 682	23 918
Длительность экспорта в формате FBX	950	7 187	13 677

Из полученных таблиц можно сделать вывод, что экспорт через разработанное расширение в большинстве случаев превосходит по скорости встроенные средства экспорта BIM-пакетов. Для модели C-Revit наблюдается замедление экспорта, связанное с тем, что сжатие столь сложной модели занимает значительный промежуток времени.

С точки зрения используемой памяти, разработанное расширение также оказалось достаточно эффективным. Для модели C-Renga, сгенерированный встроенными средствами файл формата OBJ оказался на 350% больше размера исходного файла, в то время как файл,

полученный через разработанный модуль экспорта имел размер на 10% меньше исходного файла. Аналогичный результат наблюдается и на остальных двух моделях.

В случае с моделью C-Revit (Autodesk Advanced Sample) размер модели в формате FBX составляет 43 МБ, в то время как размер модели, полученной в результате работы модуля экспорта, составляет около 12 МБ. Это может быть крайне важным в дальнейших исследованиях, например при реализации модуля интерактивной визуализации для мобильных устройств.

Заключение

Таким образом, разработан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий эффективное построение интерактивных визуализаций в виртуальной реальности. Реализован экспорт из программных комплексов BIM-моделирования Autodesk Revit и Renga, при этом архитектура ПАК позволяет реализовать поддержку и других BIM-пакетов.

ПАК за минимальный промежуток времени позволяет выполнять построение интерактивной визуализации, задавать различные параметры виртуальной среды, управлять материалами визуализируемой модели. Данное решение является эффективным средством визуализации, позволяющим выполнить полностью автоматизированное построение интерактивной визуализации в виртуальной реальности для BIM-моделей, спроектированных в Autodesk Revit и Renga. Разработанные модули обладают высокой производительностью как по скорости работы, так и по используемой памяти.

Список литературы

1. Приказ №926/пр от 29 декабря 2014 года Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства.
2. Поручение Президента Российской Федерации В. В. Путина от 19 июля 2018 года № Пр-1235.
3. Группа «Эталон» делится опытом применения BIM-технологий: Эталон-инвест. [Электронный ресурс]. 2019. URL: https://www.etalon-invest.com/about/news/gruppa_etalon_delitsya_opytom_primeneniya_bim_tekhnologiy/ (дата обращения: 20.09.2019).
4. Шахраманьян М.А., Осипов А.Н., Король М.Г. Дорожная карта российского BIM-бездорожья // Отраслевой журнал «Строительство». 2016. №12. С. 70-73.
5. Artisan Rendering – приложение для создания фотореалистичных изображений в Renga: Renga Software. [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://rengabim.com/application/artisan-rendering/> (дата обращения: 20.09.2019).
6. Згода Ю.Н. Особенности создания интерактивной визуализации BIM-модели в виртуальной и дополненной реальности // Всероссийская научно-практическая конференция «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры». СПб : СПбГАСУ, 2018. С. 139-144.
7. Видеокарты серии Geforce RTX 20 | NVIDIA Geforce: NVIDIA. [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/geforce/20-series/> (дата обращения: 20.09.2019).
8. How we made Neon Noir – Ray Traced Reflections in CRYENGINE and more!: CRYENGINE. [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.cryengine.com/news/how-we-made-neon-noir-ray-traced-reflections-in-cryengine-and-more/> (дата обращения: 20.09.2019).
9. Чистяков А.В. Интерактивное виртуальное прототипирование в архитектурном проектировании. Вестник ЮУрГУ. Серия "Строительство и архитектура". 2017. №4. Т. 17, С. 74–78. doi: 10.14529/build170411.
10. Boton C. Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation // Automation in Construction. 2018. Vol. 96. P. 1–15. doi: 10.1016/j.autcon.2018.08.020.
11. Бородкин Л.И., Валетов Т.Я., Жеребятьев Д.И., Мироненко М.С., Моор В.В. Репрезентация и визуализация в онлайн-результатах виртуальной реконструкции // Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании. 2015. № 3-4 (13-14). С. 3–18.
12. Chung D.H.J, Kiang T.B. Optimising Real-Time Virtual Reality Architecture Presentation // Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia. 2007. P. 599-606.
13. Wang P., Wu P., Wang J., Chi H.-L., Wang X. A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training. // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018. Vol. 15. Issue 6. 1204. 18 P. doi: 10.3390/ijerph15061204.

14. Sun C., Hu W., Xu D. Navigation modes, operation methods, observation scales and background options in UI design for high learning performance in VR-based architectural applications // Journal of Computational Design and Engineering. 2019. Vol. 6. No. 2. – P. 189-196.

15. Johansson M. Efficient stereoscopic rendering of building information models (BIM) // Journal of Computer Graphics Techniques (JCGT). 2016. Vol. 5. No. 3. P. 1-17.

© Ю. Н. Згода, К. А. Шумилова

Ссылка для цитирования:

Ю. Н. Згода, К. А. Шумилова. Автоматизированное построение интерактивных визуализаций BIM-моделей в виртуальной реальности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 113–118.

УДК 007.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ

Т. У. Есмагамбетов¹, О. М. Шиккульская²

¹*Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, г. Караганда, Республика Казахстан*

²*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*

На основе анализа статистической информации показано, наиболее часто гибель людей происходит в первые минуты пожара до прибытия пожарных, и гибель людей на пожаре чаще всего возникает от отравления продуктами горения. Поэтому успешность операции экстренного реагирования во многом зависит от оперативности прибытия служб на место вызова. На основе графической модели развития и тушения пожара разработана функциональная модель операции тушения пожара для выявления «узких мест операции». С целью выявления причин, влияющих на время прибытия сил экстренного реагирования к месту вызова и резервов его сокращения, была разработана модель формирования маршрута прибытия сил экстренного реагирования на место вызова. Для выявления степени влияния ухудшения состояния ресурсов на степень выполнения задачи экстренного реагирования разработана диаграмма дерева отказов процесса прибытия формирований на место вызова. Диаграмма SwimLane процесса «Формирование маршрута» показывает распределение функций анализа и управления по уровням управления. Применение разработанных моделей позволит сократить время прибытия экстренных служб на место вызова за счет обоснованного формирования оптимального маршрута на различных этапах управления системой экстренного реагирования.

Ключевые слова: процесс экстренного реагирования; ситуационный центр; чрезвычайная ситуация; пожар; экстренное реагирование; модель; декомпозиция; дерево отказов; диаграмма SwimLane.

SIMULATION OF THREE-LEVEL EMERGENCY RESPONSE PROCESS MANAGEMENT SYSTEM

T. U. Esmagambetov¹, O. M. Shikulskaya²

¹*Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Republic of Kazakhstan*

²*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia*

Based on the analysis of statistical information, the most common deaths occur in the first minutes of a fire before firefighters arrive, and fire deaths are most often caused by combustion poisoning. Therefore, the success of an emergency response depends to a large extent on the speed with which services arrive at the call site. On the basis of the graphical model of fire fighting and development, a functional model of fire fighting operation has been developed to detect "bottlenecks of the operation." In order to identify the causes affecting the time of arrival of emergency response forces at the place of call and the reserves of its reduction, a model for the formation of a route for emergency response forces at the place of call was developed. In order to identify the impact of resource degradation on the emergency response task, a diagram of the failure tree of the formation arrival process on the call site has been developed. The Route Generation process SwimLane diagram shows the distribution of analysis and control functions by management level. The application of the developed methods will allow to reduce the time of emergency services arrival at the place of call due to skewed formation of the optimal route at various stages of emergency response system management.

Keywords: emergency response process; A situation centre; an emergency situation; fire; Emergency response; model; decomposition; Fault tree; Dia gram of SwimLane.

Пожар является одним из самых распространенных видов чрезвычайных ситуаций сегодня. Пожары уносят жизни людей и наносят большой ущерб, а в отдельных случаях приводят к масштабным авариям. Согласно статистическим данным [1] в 2018 году на территории Российской Федерации произошло 131690 пожаров, прямой ущерб от них составил 13,931 млрд рублей. 7891 человек погибло на пожарах (в т.ч. 437 детей), 9563 – получили травмы. По сравнению с аналогичным периодом 2017 года количество пожаров снизилось на 0,9 %, но в результате произошедших пожаров число погибших увеличи-

лось на 1 %, травмированных – на 2,2 %. Количество погибших на пожарах детей увеличилось 22,1 %. Материальный ущерб вырос на 1,2 %.

1. Постановка задачи

По статистике наиболее часто гибель людей происходит в первые минуты пожара до прибытия пожарных. Статистические данные о распределении жертв пожара на момент смерти отражены в диаграмме (рис. 1).

Распределение основных причин смерти на пожаре представлено на рисунке 2. Одна из основных причин смерти людей – воздействие опасных факторов пожара. Время смерти зависит