

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СОТРУДНИКОВ И ПОСЕТИТЕЛЕЙ В БИЗНЕС-ЦЕНТРЕ

В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов (Казань)

### Введение

В последние годы все больше появляется крупных бизнес-центров, в которых работают тысячи человек, где для встреч и переговоров приходит множество посетителей, а в течение дня проводятся массовые мероприятия (конгрессы, конференции, семинары и т.д.). Все это ставит перед администрацией центров достаточно серьезные задачи минимизации очередей и значительных задержек при входе и выходе. Также важна правильная логистика и внутри здания, т.е. движение во время обеденных перерывов, на мероприятие, переговоры и т.д. Для этого необходимо учитывать алгоритмы движения и общие объекты инфраструктуры здания для перемещения: лестничные проемы, коридоры, лифты, эскалаторы. Более остро данная проблема встает в бизнес-центрах с ограничением входа (по пропускам), когда необходимо создавать различного рода организационные и технические системы контроля доступа: рамки, сканеры, турникеты, бюро пропусков, камера хранения и т.д.

Объектом исследования, представленного в данной статье, являются процессы формирования, алгоритмы прибытия и передвижения различных пешеходных потоков в многофункциональном комплексе зданий Национального космического центра (далее Объект) [1]. Данный Объект находился в процессе проектирования и нужно было найти «узкие» места в планируемой организации передвижений людей перед Объектом и внутри него. Необходимость проведения подобного исследования вызвана отсутствием в стандартных процедурах проектирования зданий и сооружений методик прогнозной проверки динамики их функционирования. В связи с введением нормы обязательного использования BIM моделей (Building Information Modeling) [2], повышением производительности вычислений и появлением новых информационных технологий, стала доступна возможность количественной оценки правильности проектных решений в части пропускной способности и загрузки инфраструктуры с использованием метода имитационного моделирования.

### Постановка задачи

Сначала Объект рассматривался как система массового обслуживания (далее СМО) – в виде потоков посетителей, совокупности обслуживающих устройств и очередей к ним. А затем строилась имитационная модель. Концепция создания и использования комбинированной имитационной модели показана на рис. 1.

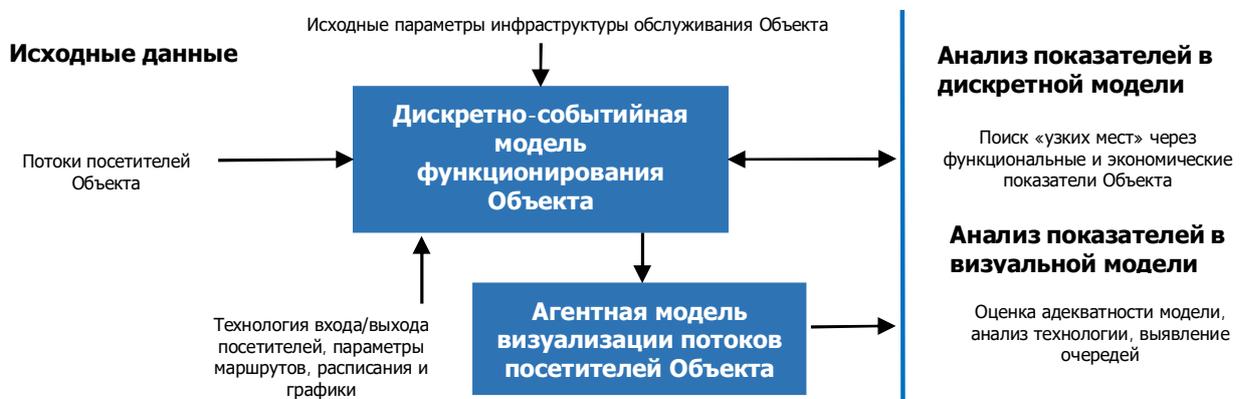


Рис. 1. Концепция создания и использования модели

В части дискретно-событийной модели инфраструктура обслуживания и передвижения потока посетителей представляет собой множество одно- и многоканальных обслуживающих устройств в СМО и включает:

- входные и выходные револьверные двери;
- оборудование для контроля доступа (рамки досмотра и сканеры);
- оборудование для учета и регламентации входа (турникеты);
- помещения и услуги по приему, хранению багажа (камеры хранения);
- помещения и услуги по дополнительному досмотру (досмотровые);
- лифты для вертикального перемещения между этажами;
- объекты общественного питания (ресторан, фудкорт и столовые);
- место для проведения массовых мероприятий (конгресс-зал).

Выбор траектории движения сотрудников, персонала и посетителей между элементами СМО определяется маршрутами движения: на вход в здание, проход в организацию, на обед, на мероприятие, на выход и т.д. Причем, в некоторых случаях этот выбор носит стохастический характер и определяется вероятностями выбора направления. Например, процент посетителей, которые подвергаются дополнительному досмотру. Пример формализации описания части системы приведен на рис. 2.

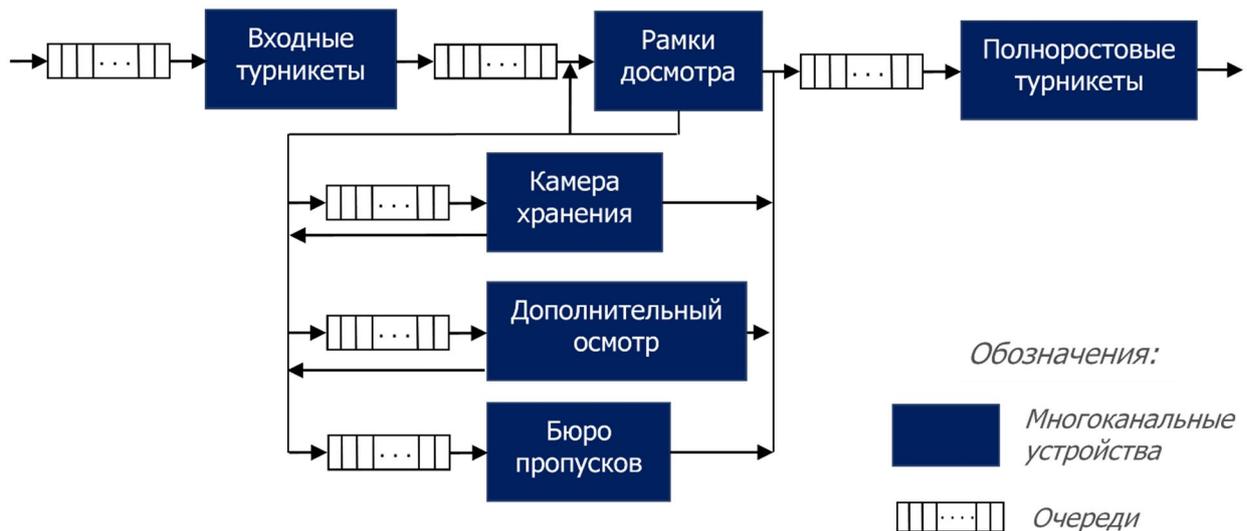


Рис. 2. Фрагмент организации системы контроля доступа

Можно видеть, что даже один фрагмент это сложная СМО. А учитывая большое количество таких фрагментов, вероятностный характер времени обслуживания, вероятности переходов при альтернативных выходах – решить такую задачу аналитически невозможно. Поэтому, выбор ИМ как метода исследования является безальтернативным.

#### **Разработка модели и приложения**

Перед разработкой любой модели сначала необходимо определиться с данными. От этого зависит уровень детализации и адекватность модели.

На наличие каких данных можно рассчитывать? Какие из них являются неизменяемыми во время всех экспериментов? И, наоборот, какие данные должны иметь возможность изменения в экспериментах и в каких диапазонах?

#### **Неизменяемые исходные данные**

В качестве неизменяемых исходных данных при экспериментах с приложениями были использованы:

- строительные решения и планировки, заданные в 3D модели Объекта;

- назначение помещений, которые используются для реализации технологии допуска на Объект;
- определенные заказчиком рабочие зоны и зоны, которые не используются для пропуска и обслуживания посетителей; в анимации допуск посетителей в эти зоны блокирован;
- инфраструктура перемещения посетителей между этажами в виде лестниц и лифтов; количественные параметры систем перемещения между этажами с помощью лифтов (вместимость, размерность посадочных площадок, время входа в лифт, время поездки и время выхода из лифта) соответствуют паспортным данным оборудования и методикам расчета от производителей оборудования;
- факт обязательного наличия в модели следующей инфраструктуры обслуживания посетителей: револьверные двери, рамки досмотра, электромагнитные сканеры, ростовые турникеты, лестничные проемы, лифты, помещения для досмотра, бюро пропусков, камера хранения, пункты питания и конгресс-центр; в общей 3D модели Объекта недостающая инфраструктура дополнена новыми моделями устройств, внешне приближенными к реально планируемыми к установке устройствам;
- маршруты (последовательность) движения посетителей по объекту в пиковые периоды: утром от входа в здание до работы и вечером назад, а также передвижение во время обеденных перерывов и проведения мероприятий.

#### **Варьируемые исходные данные**

Для обеспечения гибкости, глубины и разной направленности исследования в данном приложении пользователю предоставляется возможность варьировать в экспериментах достаточно большим множеством параметров и факторов. Приведем для примера некоторые из них:

- задание параметров интенсивности потока сотрудников и посетителей для каждой организации, которые приходят в течение рабочего дня;
- конфигурации всех систем обслуживания (количество устройств, времена обслуживания, вероятности переходов) и другие параметры, связанные с производительностью систем обслуживания Объекта;
- расписания работы организаций и проведения мероприятий

#### **Алгоритмы работы системы**

Для адекватного представления моделируемой системы недостаточно зафиксировать только статику и описание системы в виде строительных планировок, инфраструктуры обслуживания, необходимо также правильно реализовать динамику передвижения посетителей по Объекту. В созданных моделях были реализованы алгоритмы динамики продвижения посетителей и поведения их на этажах: входа и выхода посетителей, движения посетителей до организации, работы лифтов, проведения событийного мероприятия, организации обеденного перерыва.

Разработка имитационной модели как дискретно-событийной модели проводилась на языке GPSS World, моделирующим ядром отечественной среды моделирования GPSS Studio [3]. Выбор языка обусловлен его функциональными возможностями, скоростью выполнения экспериментов для моделей повышенной размерности, современными средствами проведения имитационного исследования. В рамках среды GPSS Studio имеется возможность формирования Log журнала событий и траектории движения транзактов в модели, который может использоваться любой доступной пользователю системе 3D визуализации в качестве входных данных.

Для 3D визуализации всех пешеходных процессов в данном проекте была разработана агентная модель с использованием возможностей платформы Unity [4], которая вместе с дискретной моделью составили единое имитационное приложение.

Примеры изображений модуля анимации представлены на рис. 3 и 4.



Рис. 3. Визуальный анализ очередей в камеру хранения и бюро пропусков



Рис. 4. Оценка системы контроля доступа на мероприятие

Первоначальный визуальный анализ результатов эксперимента позволяет найти «узкое» место в виде очереди и зафиксировать время ее возникновения. Более точный количественный анализ и выявление закономерностей производится в дискретно-событийной модели, посредством исследования динамических таблиц и графиков эксперимента.

Примеры вывода количественных результатов дискретно-событийной модели о загрузке обеденных мест и длин очередей в различные кассы и на раздачу в столовой показаны на рис. 5 и 6.

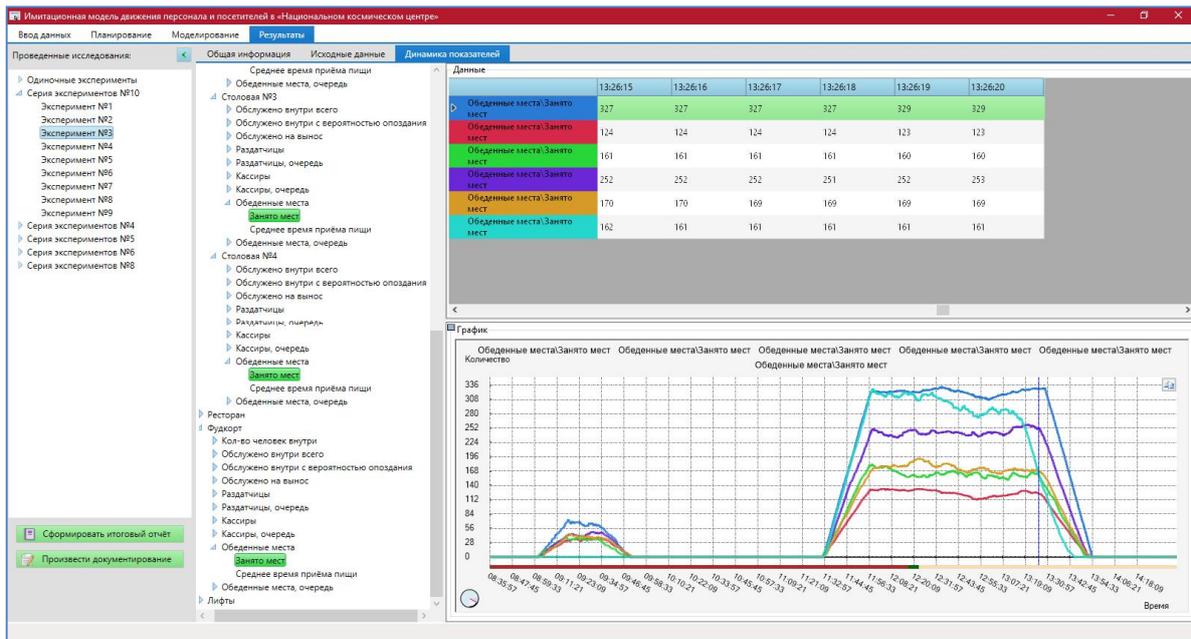


Рис. 5. Сравнение загрузки различных зон питания

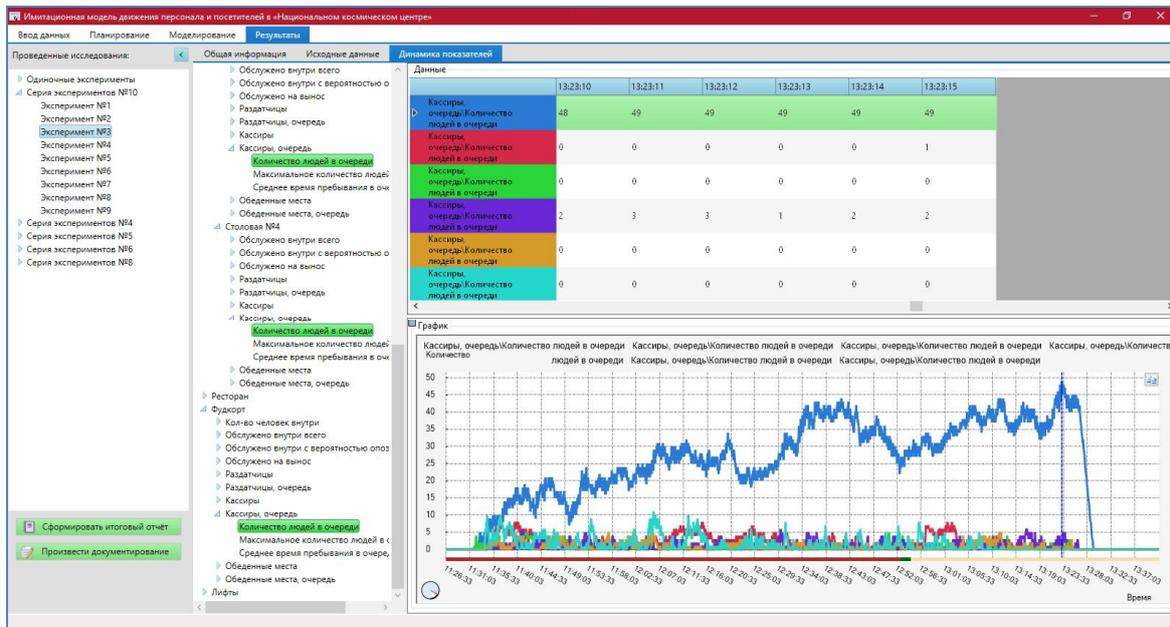


Рис. 6. Сравнение очередей на обед в различных зонах питания

### Имитационное исследование

С использованием созданного приложения было проведено детальное имитационное исследование Объекта. При реализации различных сценариев были получены следующие основные результаты:

1. В условиях начальной нагрузки (13379 человек) и при максимальной конфигурации групп входа/выхода, система полностью (и даже с существенным резервом) справляется с нагрузкой. Очереди минимальны, инфраструктура не перегружена, сотрудники организаций не опаздывают на работу и без больших очередей выходят после завершения работы.

2. При увеличении потока сотрудников и посетителей свыше 16 тысяч человек, выявилось «узкое место» – пропускная способность револьверных дверей справа. Образуются очереди недопустимой длины. Эксперимент по замене типа револьверных

дверей на устройство с большей производительностью (до 6 человек) показал, что данная проблема устраняется.

3. Дальнейшее наращивание потока до 22000 человек показало, что все очереди небольшие, опозданий на работу нет. Т.е. объект без проблем обслуживает максимальное по проекту число вошедших в здание, которое было определено проектом.

4. Максимальная конфигурация общих групп входа/выхода при текущей нагрузке избыточна. Ее можно уменьшить до 10, как по рамкам, так и по турникетам, до одного досмотрового пункта, одной камеры хранения и двух окон в бюро пропусков.

5. При заданной максимальной по числу участников (1400 человек и 8 турникетов) конфигурации мероприятия, группы входа/выхода «Конгресс-центра» и общие группы входа/выхода в здании справляются успешно. При входе на мероприятие скапливаются очереди, в среднем по 228 человек на 8 турникетов, на каждый примерно по 29 человек. Максимальное время пребывания в очереди 55 секунд.

6. Объекты общественного питания обеспечивают проведение завтрака в штатном режиме, никаких значительных очередей и задержек при этом не возникает.

7. Рекомендация комплексирования двух технологий обслуживания – «традиционной» и «на вынос» (с 0% до 30%) показала высокую эффективность такого подхода. При 20% заказов «на вынос» максимальная очередь немного превышала 5 минут, а при 30 % это значение уже составило меньше минуты.

#### **Заключение**

Разработка и исследование имитационного приложения показало высокую эффективность совместного использования BIM модели и имитационной модели. Для строителей ИМ – это дополнительная проверка работы Объекта в динамике и важнейшие количественные оценки перед проведением экспертиз. Для специалистов по моделированию BIM модели – это источник проверенных и надежных исходных данных и готовое 3D пространство Объекта для анимации.

В целом исследование показало, что инфраструктура Объекта в части пропускной способности работает нормально, возникающие проблемы удалось локализовать и рекомендовать меры по их устранению.

#### **Литература**

1. Официальный сайт комплекса градостроительной политики и строительства города Москвы. [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroi.mos.ru/natsional-nyi-kosmichieskii-tsientr> (дата обращения: 21 сентября 2021 г.
2. Постановление правительства № 311 от 5 марта 2021 года «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций и (или) лицом ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства обеспечиваются формирование и ведение информационной модели капитального строительства». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026> (дата обращения: 12.08.2021)
3. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. 283 с.
4. Хокинг Д. Unity — в действии. Мультиплатформенная разработка на C#: [рус.]. — 2-е изд. СПб: Питер, 2016. 336 с.