

ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕШЕХОДНОЙ ЛОГИСТИКИ МУЗЕЯ

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

Введение

Объектом исследования, приведенного в данной статье, являются процессы формирования и прибытия различных потоков посетителей, а также организация и технологии их обслуживания в Павильоне атомной энергии на территории АО «ВДНХ» (далее Объект) [1].

Основными задачами исследования являются:

- проверка возможности функционирования Объекта при проектном максимуме интенсивности потоков посетителей и определенной проектом технологии обслуживания;
- нахождение максимума пропускной способности Объекта при выполнении заданных ограничений по загрузке оборудования, использованию персонала, размерам возникающих очередей;
- оптимизация инфраструктуры обслуживания при поэтапном наращивании интенсивности прибытия потока посетителей на Объект.

Для реализации цели и задач исследования была разработана цифровая имитационная модель поведения посетителей, так как в силу сложности системы и требуемого уровня детализации создание аналитической модели невозможно.

Имитационная модель разработана с использованием платформ программирования Unity и C# в комбинированной парадигме дискретно-событийного и агентного моделирования [2], [3]. В модели использованы вероятностные методы и подходы при учете исходных данных, реализации алгоритмов прибытия, обслуживания, взаимодействия и поведения посетителей (агентов).

Формальное и укрупненное представление модели в виде «черного ящика», показано на рис. 1.

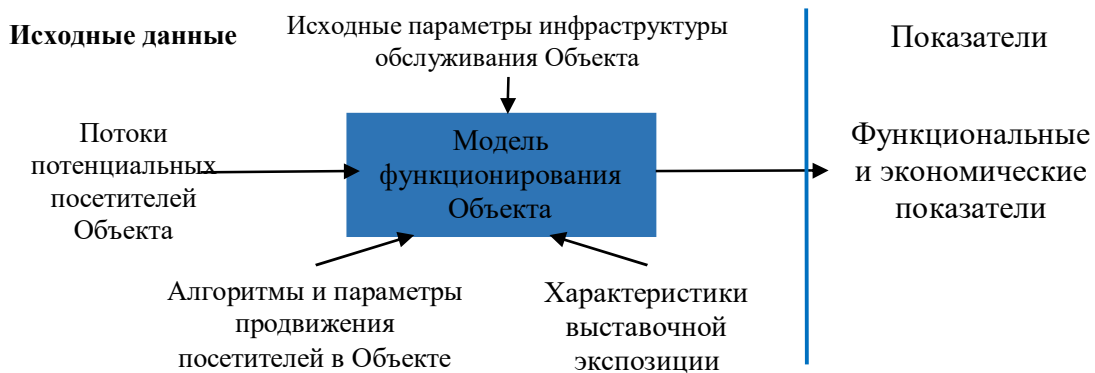


Рис. 1. Модель функционирования Объекта в виде «черного ящика»

Инфраструктура обслуживания и передвижения потока посетителей рассматривается, как множество обслуживающих СМО и включает:

- оборудование для учета и регламентации входа (турникеты);
- помещения и услуги по приему, хранению и выдаче верхней одежды (гардеробы);
- элементы экспозиции (экспонаты и др.);
- входные и выходные группы (двери, лестницы и эскалаторы) между этажами;
- лифты для вертикального перемещения между этажами;

- точки обеспечения потребностей посетителей (пункты питания, сувенирные киоски, зоны отдыха, туалеты и др.).

Постановка задачи и сценарии исследования

Целью имитационного исследования была проверка правильности проектных решений и технологий по организации пропуски и обслуживания посетителей в музее, а также проверка проектного максимума по пропускной способности и оптимизация используемой инфраструктуры логистики.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- формализация процессов поступления посетителей в музей и разработка их статистических моделей в соответствии с профилем (по времени, по возрасту, по мероприятию и т.д.);

- разработка алгоритмов и технологии их обслуживания в рамках следующей инфраструктуры: досмотр, кассы, гардероб, турникеты, точки питания, сувенирные лавки, лифты, лекторий, ресторан и др. точек притяжения;

- оценка загрузки помещений, залов и инфраструктуры обслуживания при различной интенсивности потоков посетителей и в различные периоды времени;

- анализ возникновения очередей на устройствах обслуживания: определение средней длины, среднего и максимального времени пребывания в очереди;

- проверка достаточности оборудования для прохождения и перемещения посетителей (эскалаторы, лифты и лестничные проемы);

- расчет интегральной пропускной способности музея (в час, в сутки и т.д.) в зависимости от изменения потоков и количества обслуживающего оборудования;

- оценка влияния изменения маршрутов на интегральную пропускную способность;

- выработка рекомендаций Заказчику по результатам исследований.

Для решения этих задач и в соответствии с методологией [4] в процессе имитационных исследований были сформулированы и реализованы три группы сценариев:

- поиск максимума пропускной способности Объекта посредством поэтапного наращивания интенсивности потока посетителей;

- влияние изменения границ пропускной способности отдельных элементов на загрузку всего Объекта в целом;

- оценка вариации количества и параметров обслуживающих устройств в допустимых по проекту пределах на эффективность функционирования Объекта.

Фиксированные исходные данные

В качестве не изменяемых при экспериментах с цифровой имитационной моделью параметров модели были использованы:

- строительные решения и планировки, заданные в BIM модели Объекта, представленной Заказчиком;

- ключевые и габаритные экспонаты, местоположение которых не будет изменяться при исследовании. Например, Царь-бомба, атомная подводная лодка и др.;

- определенные заказчиком рабочие зоны и зоны, которые не используются для представления экспозиции и обслуживания посетителей; т.е. те зоны, в которые посетитель не может войти в процессе осмотра экспозиции;

- инфраструктура перемещения посетителей между этажами в виде лестниц и эскалаторов; пропускная способность каждого эскалатора – 4500 чел/час;

- количественные параметры систем перемещения между этажами с помощью лифтов (размерность посадочных площадок, время входа в лифт, время поездки и время выхода из лифта);

- факт обязательного наличия в модели следующей инфраструктуры обслуживания посетителей: досмотр, кассы, гардероб, турникеты, точки питания, сувенирные лавки, лифты и др. точки притяжения.

Для адекватного представления моделируемой системы в данной модели были реализованы и зафиксированы следующие алгоритмы динамики продвижения посетителей и поведения их на этаже:

- алгоритм входа посетителей: проход через досмотр, приобретение билета, услуги гардероба, сбор группы, проход через турникет по билету, следование к первой точке экспозиции в зависимости от профиля посетителя;

- алгоритмы движения посетителей по этажу для каждого профиля в соответствии с определенным маршрутом – от одного экспоната к другому с некоторой временной задержкой около экспоната;

- алгоритм проведения событийного мероприятия: вход посетителей мероприятия в павильон (досмотр, билеты, гардероб, турникеты), следование к месту проведения мероприятия, задержка на мероприятии в соответствии с его графиком, для посетителей ресторана и слушателей лектория выход из павильона.

Варьируемые параметры модели

Для обеспечения гибкости и глубины исследования в цифровой имитационной модели пользователю предоставляется возможность варьировать достаточно большое множество параметров. В частности, статистические профили посетителей: размеры, время прихода и интенсивность организованных и случайных групп посетителей. Вариация данных параметров производится перед экспериментом в специальном статистическом модуле потока посетителей. Ниже, на рис.2, приведено изображение диалога определения статистических характеристик профиля.

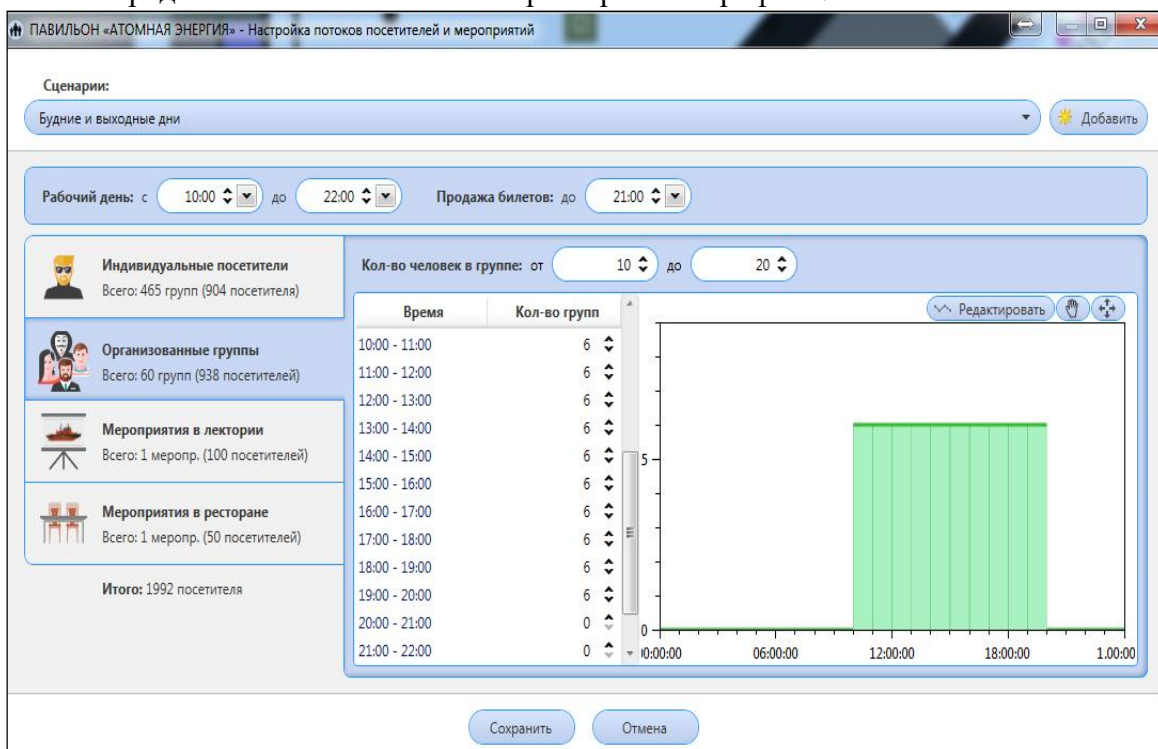


Рис. 2. Пример ввода статистического профиля посетителя

Также в модели варьируется количество систем обслуживания и их параметры в инфраструктуре Объекта: досмотровые рамки при входах, кассы, кассы-автоматы, гардероб, турникеты для входа по билету, выдача аудиогидов. Аналитик определяет их в файлах настройки конфигурации перед экспериментом. Другими изменяемыми

параметрами являются: количество временных экспонатов по этажам, место их размещения и среднее время задержки около них.

Кроме посещения музея посетители приходят и на специально организованные мероприятия в лектории и ресторан. Пользователь может задать в экспериментах параметры этих мероприятий: добавить новое событийное мероприятие, назначить время проведения мероприятия (начало и завершение), определить количество участников, задать интервал времени прибытия участников перед мероприятием. Все эти данные вводятся в специальном статистическом модуле потока посетителей. Пример задания мероприятия в лектории показан на рис. 3.

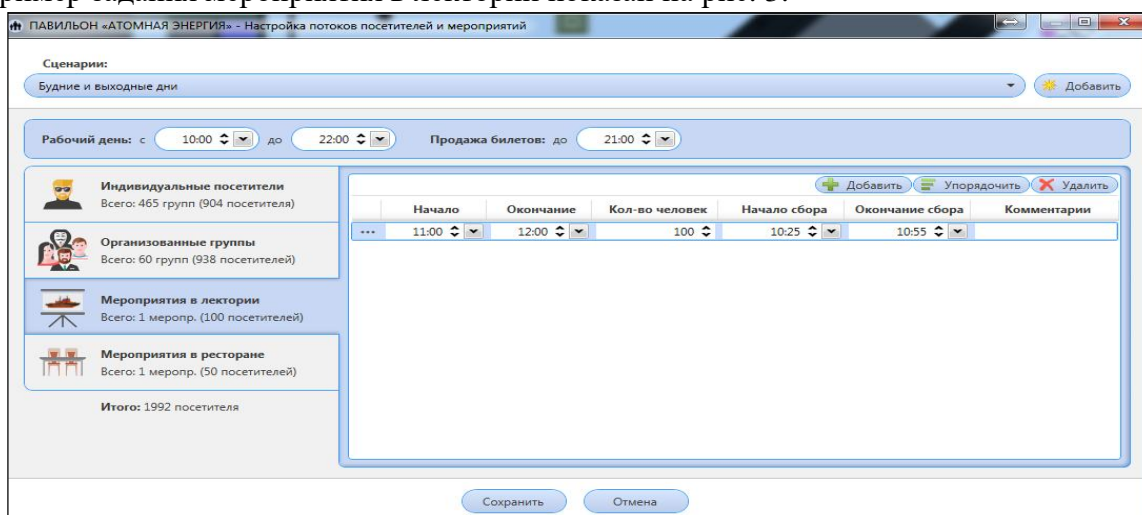


Рис. 3. Задание параметров мероприятия

Также в модели варьировалось количество и параметры основных обслуживающих посетителей устройств. Например, изменялось количество турникетов, касс, гардеробов, гидов и т.д.

Имитационное исследование

В силу ограничений в размерах статьи далее приведены результаты исследования только по одному из сценариев.

При реализации первого сценария определялось: «Сможет ли Объект при планируемой структуре и временам обслуживания достичь проектной пропускной способности?» и, наоборот – «Может ли Объект выдержать планируемую собственником экспозиционную и событийную активность?»

Согласно проектным решениям и расчетам максимально возможное количество посетителей в день, которое может быть обслужено, составляет 4500 человек. Оно неравномерно распределено в течение дня, но должно выполняться условие, что максимально возможное количество посетителей, которое может находиться в текущий момент в здании, составляет 2100 человек.

При планировании экспериментов в рамках данного сценария в экспериментах поэтапно наращивался поток посетителей, прибывающих в музей, от 2000 человек до 5000 человек в день.

Для визуального представления результатов в модели использовалась BIM (Building Information Modeling) модель Объекта. Она была создана в системе автоматизации Revit и предоставлена Заказчиком в виде 3D модели. Для обеспечения необходимого быстродействия при моделировании она была обработана (убран ряд слоев) и стала основой для 2D и 3D анимации. Наличие BIM модели у Заказчика существенно упростило работы по анимации.

Пример фрагмента анимации в 2D проекции одного из этажей Объекта, приведен на рис. 4.

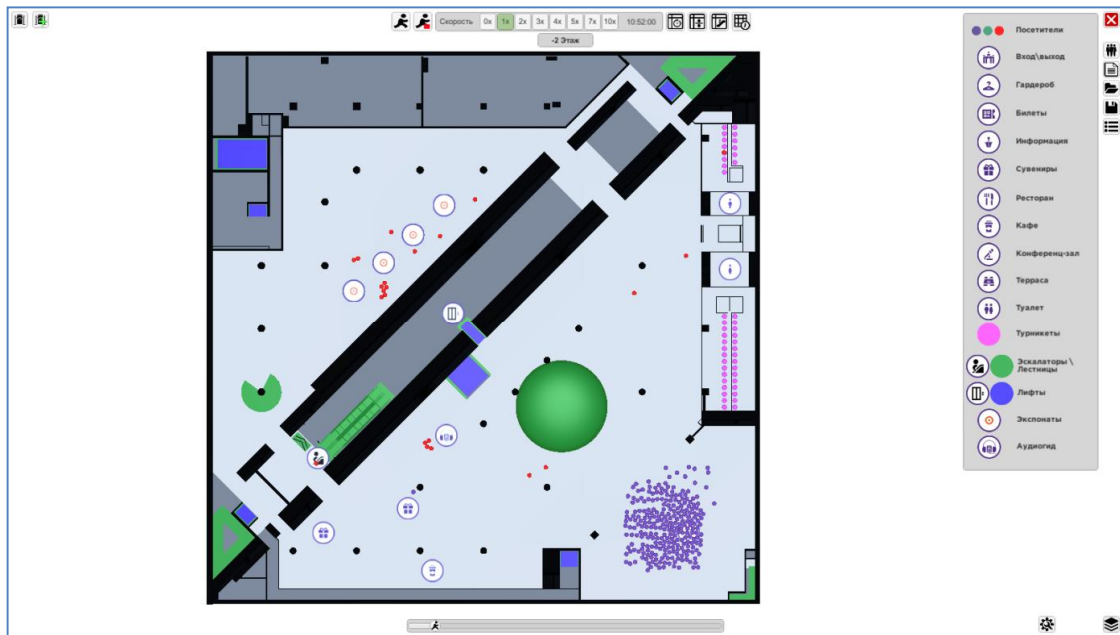


Рис. 4. Этаж «-2» - Экспозиция и лекторий

Просматривая данную анимацию можно обнаружить моменты образования «узких» мест, с большим скоплением посетителей. Затем, в рамках этих периодов можно детально изучить динамику движения посетителей, с использованием статистических окон по обслуживающим устройствам и очередям, доступных в процессе анимации. Кроме этого, можно детально изучить изменение динамики загрузки Объекта в итоговом отчете, формируемом в формате MS Excel. Примеры реализации этих двух возможностей, приведены на рис. 5 и 6.

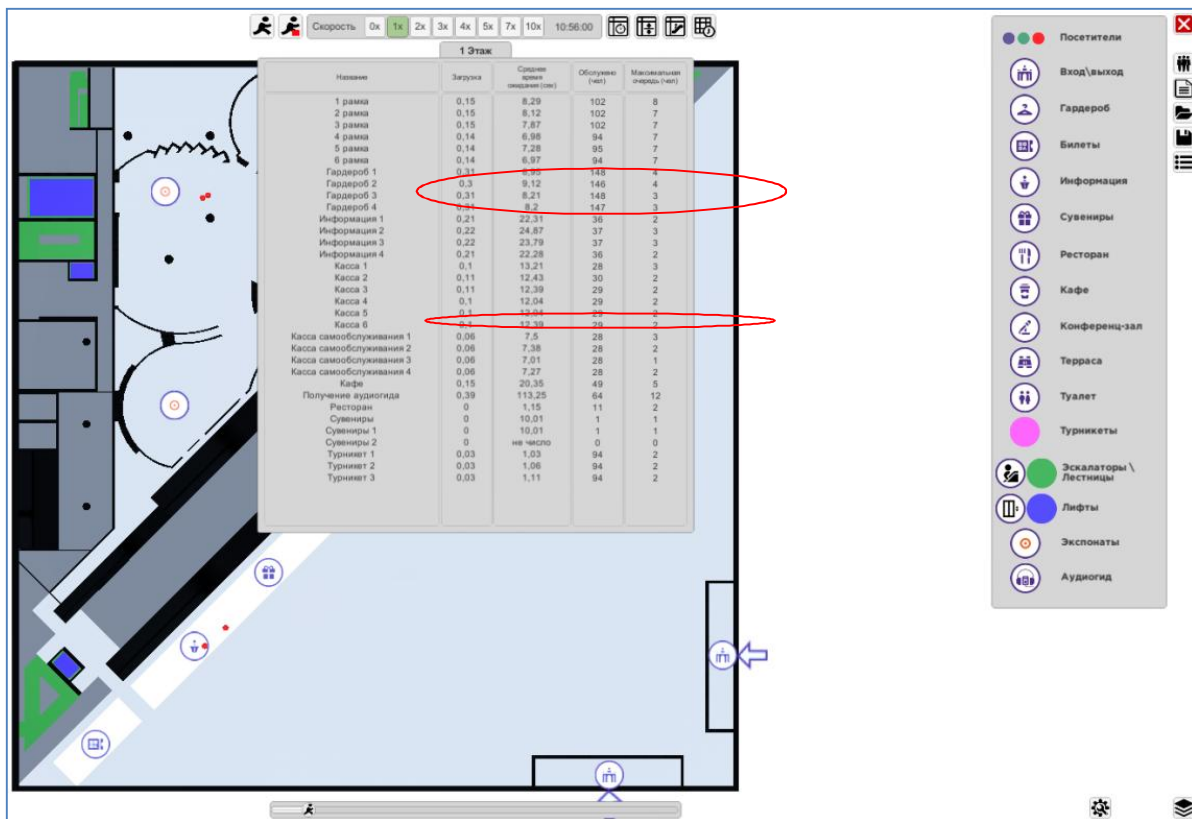


Рис. 5. Динамическая статистика по обслуживающим устройствам

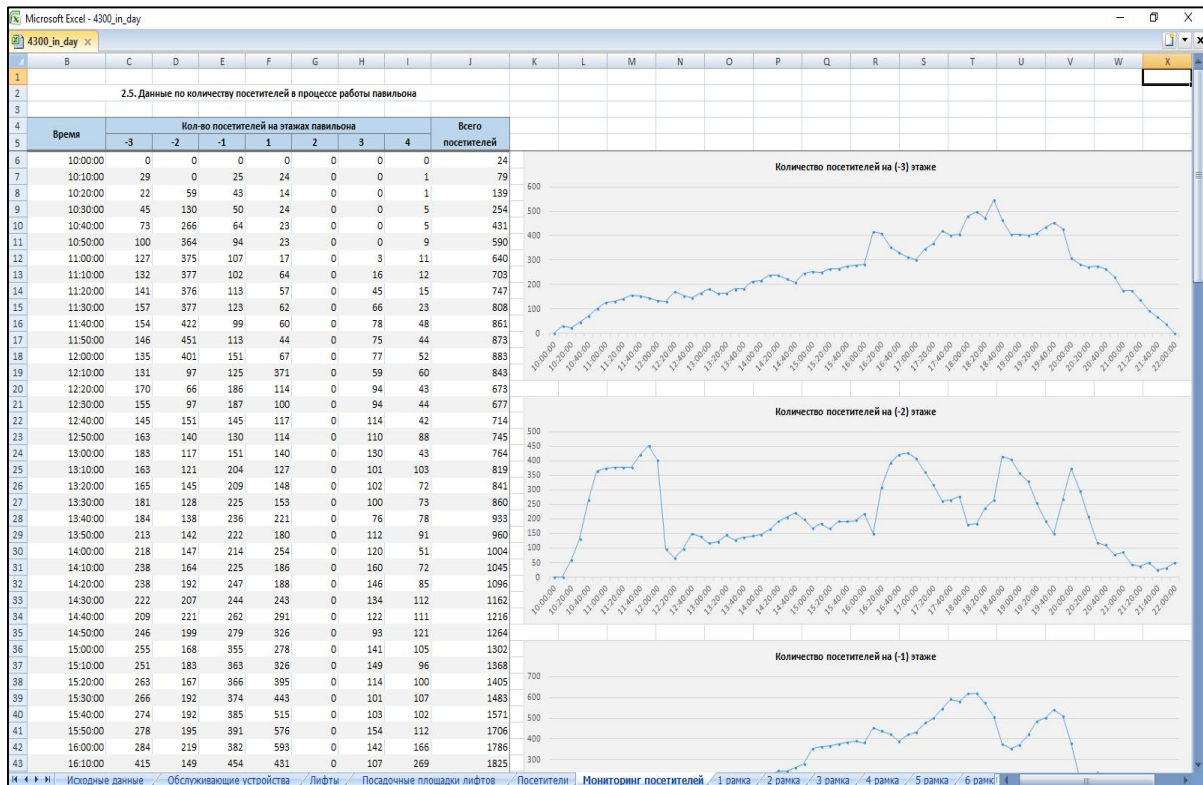


Рис. 6. Статистика о динамике движения посетителей

Эксперименты в рамках первой группы сценариев показали правильность проектных решений. Был подтвержден определенный запас прочности (порядка 20%) в виде возможности доведения суточного количества посетителей с 4500 чел. по проекту до 5500 человек – по результатам моделирования. Но при этом возникает высокая нагрузка ряда обслуживающих устройств (коэффициент превышает значение 0,7).

Результаты реализации второй и третьей группы сценариев, позволили сформулировать рекомендации Заказчику по количеству достаточного обслуживающего оборудования на каждом этапе (табл. 1).

Таблица 1. Этапы наращивания интенсивности потока посетителей и рекомендации

Сценарные этапы наращивания потока	Средний поток посетителей в день (человек)	Поток посетителей в год (человек)		Количество варьируемых в исследовании обслуживающих систем	
		При плановом графике работы (311 дней)	При ежедневной работе (365 дней)	Доступное	Рекомендуемое
1-й этап	2000	622000	730000	6 рамок досмотра 6 обычных касс 4 кассы самообслуживания, 4 гардероба	2 рамки досмотра 1 обычная касса 1 касса самообслуживания 1 гардероб

Сценарные этапы наращивания потока	Средний поток посетителей в день (человек)	Поток посетителей в год (человек)		Количество варьируемых в исследовании обслуживающих систем	
		При плановом графике работы (311 дней)	При ежедневной работе (365 дней)	Доступное	Рекомендуемое
2-й этап	2800	870800	1022000	6 рамок досмотра 6 обычных касс 4 кассы самообслуживания, 4 гардероба	2 рамки досмотра 1 обычная касса 1 касса самообслуживания 1 гардероб
3-й этап	3400	1057400	1241000		2 рамки досмотра 1 обычная касса 1 касса самообслуживания 2 гардероба
4-й этап	4300	1337300	1569500		2 рамки досмотра 2 обычные кассы 2 кассы самообслуживания 3 гардероба
5-й этап	5500	1710500	2007500		Необходимо использовать все системы обслуживания

В целом по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Количественно подтверждены проектные решения по пропускной способности Объекта.

2. В некоторых точках процесса обслуживания посетителей наблюдаются симптомы потенциально возможного «узкого места»: высокая загрузка в гардеробе (до 0,9 в периоды проведения дополнительных мероприятий); постоянная загрузка пункта выдачи аудиогидов (коэффициент загрузки 0,8).

3. Хотя количество обычных касс и касс самообслуживания по результатам экспериментов может быть снижено, рекомендуется всегда иметь еще одну кассу (из числа доступных) для недопущения очередей при массовом прибытии посетителей.

4. Эксперименты по оптимизации систем обслуживания показали возможность значительного снижения количества обслуживающих устройств и персонала, особенно на первых этапах наращивания потока.

5. Анализ качества обслуживания посетителей показал, что при количестве организованных групп свыше семи время пребывания в очередях превышает психологически комфортный уровень.

Заключение

Данное исследование показало, что имитационное моделирование совместно с BIM моделью позволяет оценить на стадии проекта динамику функционирования будущей системы, выявить недочеты в проекте и предложить способы их устранения. В плане последующего развития моделей данного направления видится создание дополнительного модуля эвакуации из здания при чрезвычайных ситуациях, а представленная в статье модель может служить источником исходных данных по количеству и местам расположения людей в любой произвольный момент.

Литература

1. Официальный сайт АО ВДНХ [Электронный ресурс]. – URL: <https://vdnh.ru/places/pavilon-19-muzey-atomnoy-energii/> (дата обращения 21 сентября 2021 г.).
2. **Хокинг Д.** Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. 2-е межд. изд. СПб.: Питер, 2019. 352 с.
3. **Рид Ф.** Официальный учебный курс AUTODESK REVIT ARCHITECTURE. – М.: ДМК-Пресс, 2016. 312 с.
4. **Девятков В.В.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013. 448 с.