

УДК 004.94; 614.88

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СРЕДЕ FLEXSIM HC ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

**Цебровская Е.А., Теплов В.М., Клюковкин К.С., Прасол Д.М.,  
Багненко С.Ф. (Санкт-Петербург)**

### **Введение**

Проблема готовности медицинских учреждений к приему большого числа больных и пострадавших в XXI веке становится все более актуальной. Первыми отделениями, которые должны быть готовы к решению подобных проблем в стационарном периоде оказания скорой медицинской помощи, являются отделения, осуществляющие прием пациентов. В нашей стране в последние десятилетия на смену приемных отделений приходят стационарные отделения скорой медицинской помощи (СтОСМП) [1]. Это структурное подразделение занимает достаточно большую площадь (1000–2500 м<sup>2</sup>) и должно быть оснащено всем необходимым для оказания медицинской помощи по экстренным и неотложным показаниям. В структуру отделения входит зал ожидания со смотровыми помещениями для осмотра пациентов (зеленая зона), палата динамического наблюдения (желтая зона), палата интенсивной терапии и противошоковая операционная (красная зона) [2, 3]. Количество коек палаты динамического наблюдения и интенсивной терапии варьируется в зависимости от входящего потока пациентов конкретного стационара. На территории СтОСМП располагаются диагностические подразделения, позволяющие в кратчайшие сроки провести весь спектр необходимых обследований, такие как ультразвуковое исследование, рентгенография, мультиспиральная компьютерная томография, магниторезонансная томография, эндоскопия.

Эти отделения идентичны отделениям экстренной медицины (Emergency Department), которые широко распространены в мире. Согласно многочисленным публикациям основной проблемой таких структурных подразделений является их перегруженность даже в повседневной деятельности. Для поиска решения этой задачи активно применяется имитационное моделирование.

### **Материал и методы**

Для моделирования нами была выбрана программа Flexsim HealthCare [4], которая была разработана в 2003 году компанией FlexsimSoftwareProducts Inc. специально для дискретно-событийного моделирования в сфере здравоохранения. Исследование включало все основные этапы моделирования: абстракцию и формализацию, подготовку исходных данных, создание концептуальной модели в виде диаграммы, трансляцию модели, оценка адекватности модели, тактическое и стратегическое планирование экспериментов, проведение эксперимента, интерпретация результатов, а также документирование и реализацию модели.

Объектами моделей были СтОСМП различных медицинских учреждений, отличавшиеся по численности входящего потока пациентов и штатному расписанию, которое было сформировано исходя из нормативов для круглосуточной работы дежурной службы, с учетом профильности больницы и фактической нагрузки: ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова г. Санкт-Петербург (далее Модель-1), ГУЗ «Городская

клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград (далее Модель-2) и ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург (далее Модель – 3) (Табл. 1).

Таблица 1

## Отличие моделей по штатному расписанию и входящему потоку пациентов

	Суточное штатное расписание	Входящий поток пациентов в сутки (человек)
Модель – 1	2 врача 3 мед. сестер 1 санитар 1 мед. регистратор	До 50
Модель – 2	8 врачей 8 мед. сестер 5 санитаров 3 мед. регистраторами	150-200
Модель – 3	8 врачей 8 мед. сестер 5 санитаров 3 мед. регистраторами	До 150

Предметом исследования модели был процесс медицинской сортировки, маршрутизации пациентов внутри отделений и оказания им скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи в повседневной деятельности и при условиях чрезвычайных ситуациях биолого-социального и техногенного характера. В качестве исходных данных о поступающем потоке в повседневной деятельности были использованы данные, полученные из медицинских информационных систем, отчетных форм (Сведения о медицинской организации (форма № 30 (годовая)) и Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях (Форма № 14 (годовая)) и реестров выставленных счетов, специально разработанных карт учета данных.

В программе Flexsim HealthCare создавались виртуальные версии СтОСМП, которые по своему внешнему виду и функционалу полностью соответствовали реально существующим отделениям. Построение модели в программе проводилось на основе загруженного файла AutoCAD, в который верхним слоем были нанесены все основные элементы и границы отделения. Затем на 3D-модели были обозначены основные типы объектов: элементы потока (пациенты, документы т.д.), фиксированные ресурсы (источник, очередь, местоположения, кровати, диагностические кабинеты и т.д.) и исполнители задач (объекты, которые перемещаются на модели по назначению выполняемых задач между элементами потока и фиксированными ресурсами) [4, 5]. После обозначения объектов было проведено их соединение в единую логическую систему, которая отражала основные процессы модели, включающие события, состояния и триггеры. Далее было установлено 3 входящих потока пациентов согласно тяжести их состояния, обозначен способ их транспортировки внутри отделения, определены параметры медицинской сортировки, установлены пути следования, а также приоритеты и частота проводимых обследований пациентам. В дальнейшем прописывались так называемые «треки» для пациентов, которые отображали все возможные пути следования на модели, вероятность событий, их приоритеты, а также взаимодействие с медицинским персоналом на основе подготовленных исходных данных модели. Затем было проведено тестирование моделей и оценка их адекватности.

### Результаты

Наиболее ярким примером практического применения имитационного моделирования был проведенный организационный эксперимент с массовым поступлением пациентов в условиях перепрофилирования отделения под прием пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 [6], выполненный на Модели-1 (рис. 1). Этот эксперимент проводился в период пандемии COVID-19. В апреле 2020 г. согласно распоряжения Правительства Российской Федерации №844-р от 2 апреля 2020 г. «Об утверждении перечней организаций и их структурных подразделений, осуществляющих медицинскую деятельность, подведомственных федеральным органам исполнительной власти, и частных медицинских организаций, которые перепрофилируются для оказания медицинской помощи пациентам с подтвержденным диагнозом новой коронавирусной инфекции COVID-19 или с подозрением на новую коронавирусную инфекцию COVID-19 в стационарных условиях» на базе ФГБОУ ВО ПСПБГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России планировалось создать Центр для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 (Центр) на 250 инфекционных коек.

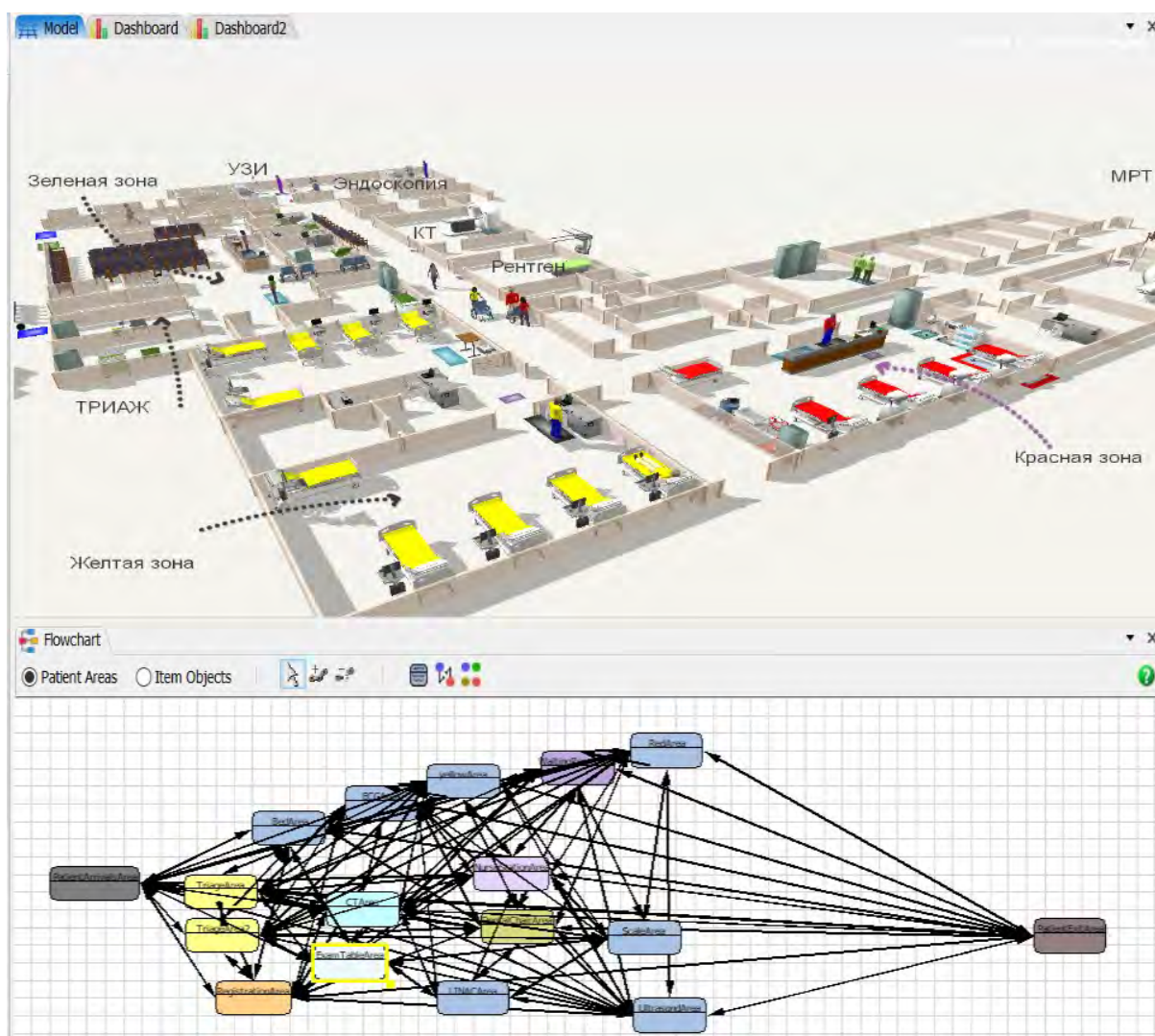


Рис. 1. Скан программы Flexsim HealthCare Модель-1 СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПБГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России

СтОСМП университетской клиники планировалось перепрофилировать под приемное отделение данного Центра. Из имеющихся на то время данных основная нагрузка на новые перепрофилированные лечебные учреждения приходилась на первые 2-е суток с момента открытия, а ключевой проблемой, которая была широко освещена средствами массовой информации – были многочасовые очереди из машин скорой медицинской помощи возле приемных отделений. В рамках подготовки к открытию нового Центра был проведен эксперимент, направленный на оптимизацию работы отделения в условиях чрезвычайных ситуаций биолого-социального характера с ожидаемым входящим потоком до 150 поступлений пациентов в сутки. Из имеющихся на то время данных, распределение потока пациентов по тяжести состояния осуществлялось из расчета: 10% – в тяжелом состоянии, требующих реанимации, 70% – в средней степени тяжести и 20% – с легкими симптомами.

Согласно действующим на то время Временным рекомендациям по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 и опубликованному мировому опыту приема, обследования и лечения пациентов с подозрением на COVID-19 [7], нами был разработан алгоритм маршрутизации пациента, поступающего с подозрением на новую коронавирусную инфекцию (рис. 2).

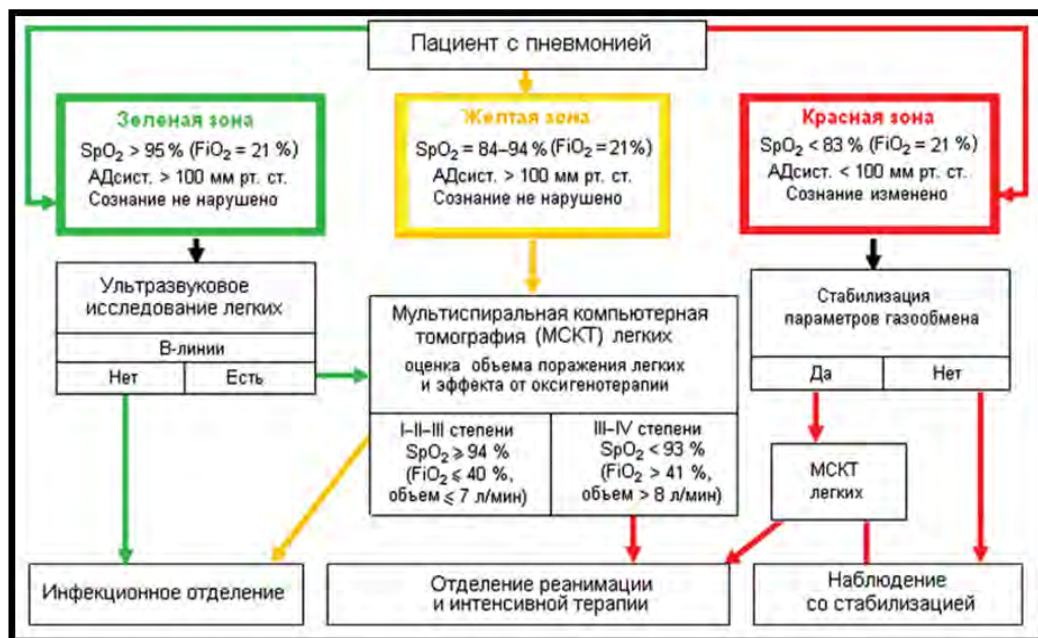


Рис. 2. Алгоритм приема пациента в СтОСМП с подозрением на новую коронавирусную инфекцию (COVID-19) в ФГБОУ ВО ПСПБГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России

Данный алгоритм был использован в логистике имитационной модели, при этом штатное расписание и коечный фонд оставались прежним. В ходе эксперимента ключевыми параметрами были время пребывания пациентов в отделении и длительность ожидания передачи пациента от сотрудников скорой медицинской помощи врачам отделения. В результате многочисленных итераций время нахождения в отделении пациентов составляло в пределах до  $135 \pm 4,6$  минут, а длительность ожидания передачи пациента бригадой скорой медицинской помощи достигала до  $43 \pm 3,6$  минут, визуальное на модели формировались очереди в моменте медицинской сортировки. Для оптимизации работы был увеличен врачебно-сестринский состав до 4-х врачебно-сестринских бригад, увеличено количество медицинских регистраторов до 3, а также дополнительно была выделена сортировочная медицинская сестра. После

внесения изменений на модели удалось полностью ликвидировать очереди из машин скорой медицинской помощи. При этом время ожидания передачи пациента бригадой скорой медицинской помощи на модели снизилось до  $5,8 \pm 0,3$  мин, а также было достоверно ( $p < 0,05$ ) снижено время пребывания больных в отделении, которое составило  $110,6 \pm 4,6$  минут. Полученные результаты были апробированы и внедрены в работу Центра. При ретроспективном анализе работы Центра длительность пребывания пациентов в отделении и время ожидания передачи пациентов в отделения существенно не отличались от расчетных данных проводимого эксперимента на имитационной модели [6].

Следующим примером практического применения имитационного моделирования был организационный эксперимент работы СтОСМП неперепрофилированного многопрофильного стационара при оказании медицинской помощи в экстренной и неотложной форме в условиях пандемии на Модели-2 (рис. 3).

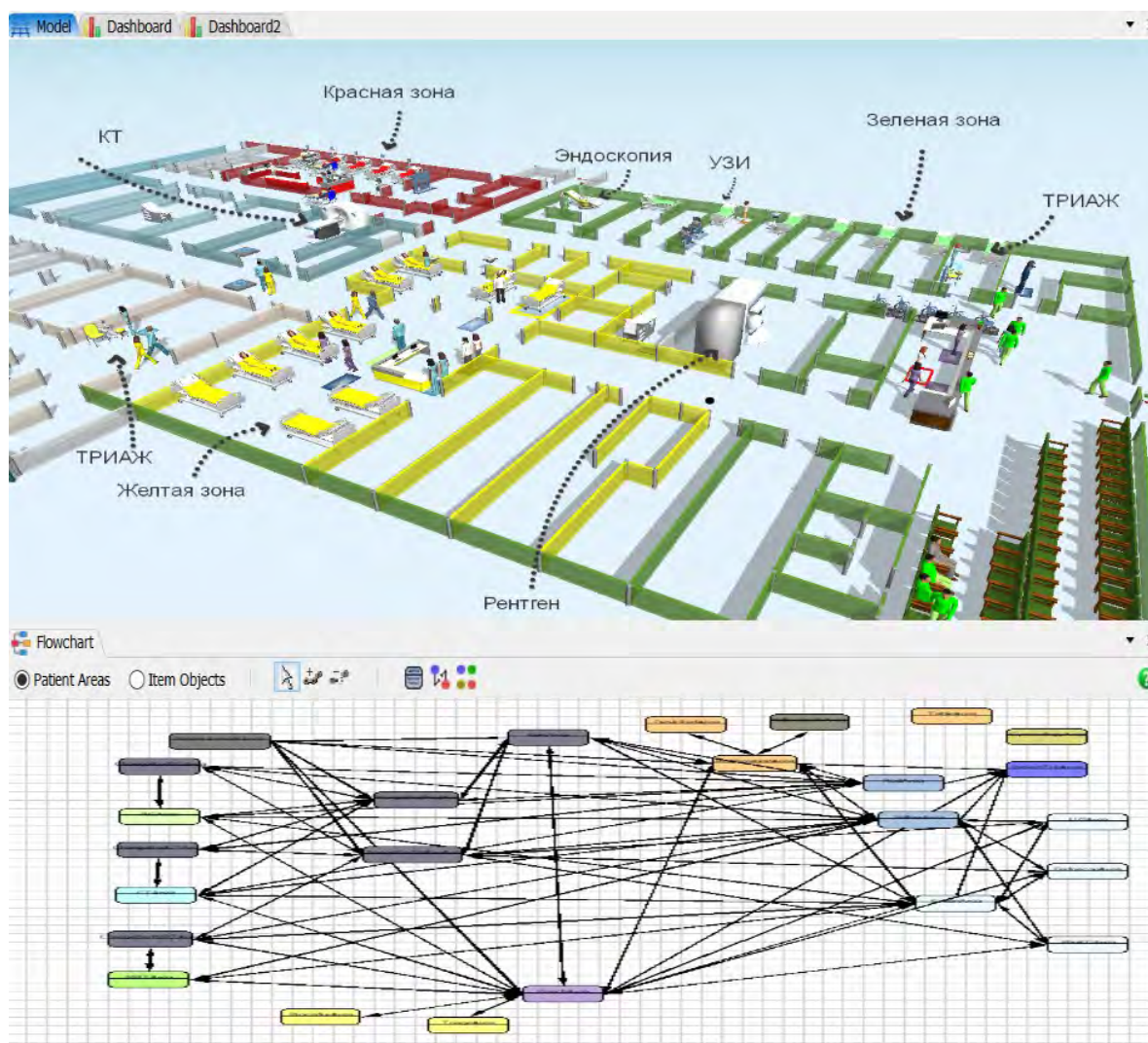


Рис. 3. Скан программы Flexsim HealthCare Модель-2 СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгограда

Эксперимент был направлен на определение оптимального числа коек observationalного отделения с учетом необходимости изоляции от 4 до 8 часов до момента получения результатов ПЦР на SARS-COV-2 5% от всего входящего потока пациентов, у которых подозревалась новая коронавирусная инфекция. В ходе данного

эксперимента на модели опытным путем было установлено, что оптимальное число коек для обсервации должно быть не менее 20. Эти данные были применены на практике и, при ретроспективном анализе деятельности обсервационных коек в период с мая по ноябрь 2020 г., были полностью подтверждены.

С Моделью-3 (рис. 4) также был проведен ряд экспериментов, направленных на определение эффективности работы СтОСМП в условиях массового поступления пострадавших при террористическом акте [8, 9, 10].

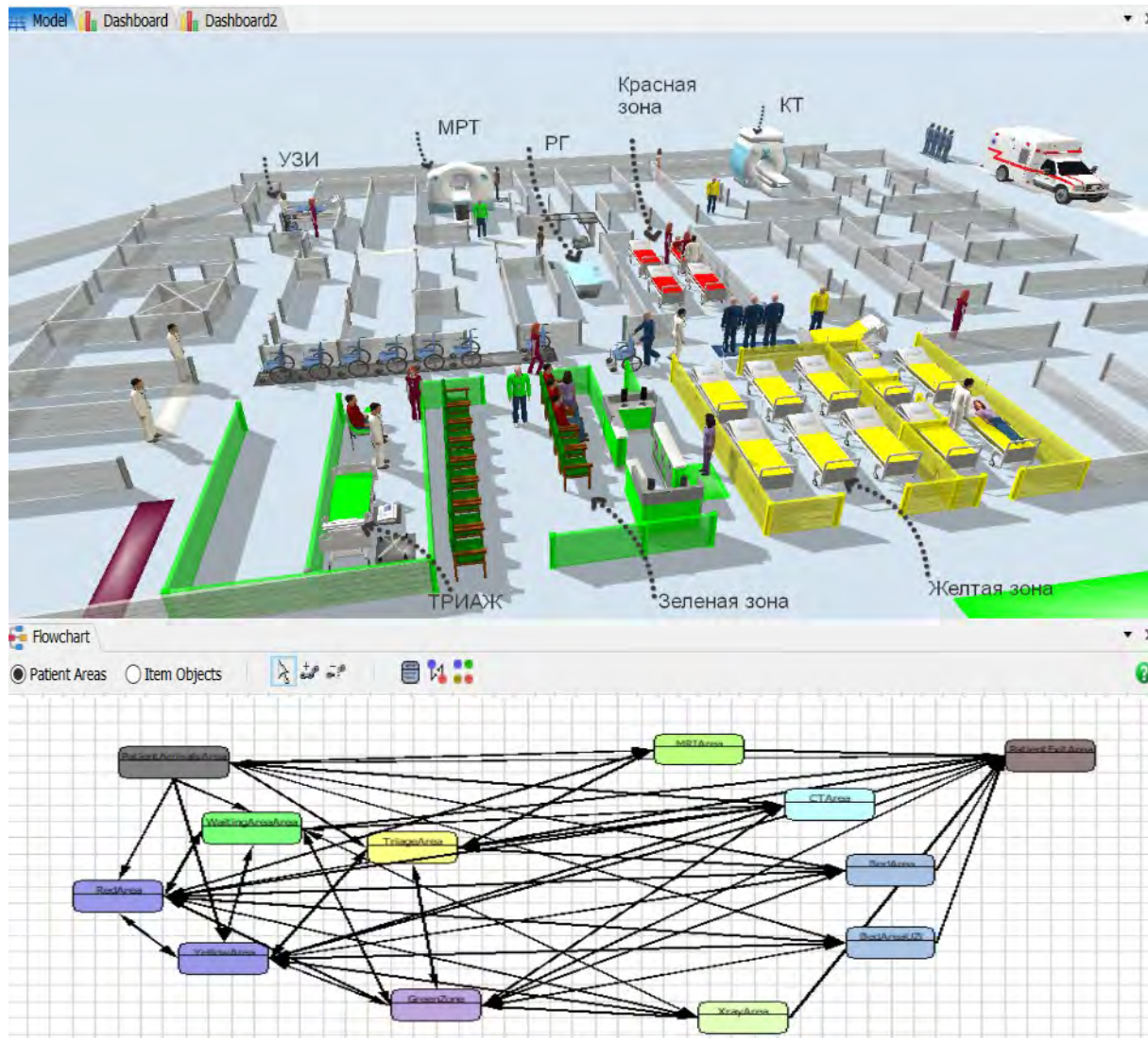


Рис. 4. Скан программы Flexsim HealthCare Модель-3 СтОСМП ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербурга

Исследование осуществлялось на основе ретроспективных данных об оказании медицинской помощи при теракте в метрополитене г. Санкт-Петербурга 3 апреля 2017 г. [10]. Согласно предоставленным данным, приемное отделение приняло 14 пострадавших, большая часть из них поступили в течение первых часов с момента теракта. На этот случай в каждом стационаре прописан особый алгоритм маршрутизации пациентов и организации работы специалистов на месте. По данным медицинских карт время нахождения пострадавших в приемном отделении составляло  $148 \pm 3$  минут, а часть из пациентов переводились в реанимации сразу из машин скорой медицинской помощи. Штатное расписание, коечный фонд, данные о поступающих

пациентах и время на их обследование были внесены на имитационную модель СтОСМП. В течение 2 часов модельного времени на Модели-3 отделение также приняло 14 пациентов соблюдением тех же объемов обследования и лечения. При этом длительность нахождения пациентов внутри составила  $107,4 \pm 5,2$  минут, что достоверно меньше ( $p < 0,05$ ), чем в ретроспективных данных, что, по нашему мнению, свидетельствуют об более эффективной работе СтОСМП в условиях массового поступления пациентов в сравнении с приемным отделением.

#### Заключение

Программа FlexSim Healthcare предоставляет возможность эффективно выполнять имитационное моделирование работы СтОСМП, что имеет важное значение при планировании работы подобных отделений в условиях массового поступления пострадавших. Возможность трехмерной виртуальной реальности повышает наглядность исследования.

Применение имитационного моделирования в рамках подготовки работы СтОСМП в условиях чрезвычайных ситуаций биолого-социального характера позволяет заблаговременно спланировать необходимые изменения штатного расписания и маршрутизации пациентов в стационаре, что на практике существенно сокращает длительность нахождения пациентов в подобных отделениях и предотвращает формирование очередей в условиях массового поступления. В случае вынужденной изоляции пациентов для предупреждения дальнейшего распространения инфекции, организационные эксперименты на имитационных моделях позволяют рассчитать оптимальное число коек обсервационного отделения с учетом всех необходимых условий для продолжения работы стационара в штатном режиме. Кроме того, применение имитационного моделирования дает возможность прогнозировать функционирование СтОСМП в случае массового поступления. Организационные эксперименты с переносом ретроспективных данных на модель функционирующего отделения позволяет изучить прошлый опыт и подготовить участников будущих событий.

#### Литература

1. Багненко С.Ф. и др. Организация работы стационарного отделения скорой медицинской помощи: методические рекомендации. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 64 с.
2. Емельянов О.В. Обоснование планирования, организации и ресурсного обеспечения стационарной медицинской помощи крупного города в современных условиях: дис. СПбГМУ им. И. П. Павлова. СПб., 2006. 308 с.
3. Анализ коечного фонда коек скорой медицинской помощи суточного пребывания стационарных отделений скорой медицинской помощи в Российской Федерации / И.М. Барсукова, В.В. Хоминец, Н.Н. Лукогорская и др. // Проблемы городского здравоохранения: сборник научных трудов. СПб.: Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, 2022. С. 51–56.
4. Flexsim Software. URL: <https://healthcare.flexsim.com> (дата обращения: 08.11.2017).
5. Мизинов А.А., Трухачева К.Г., Уряшева А.М., Курзаева Л.В. Имитационное 3D моделирование в среде Flexsim // Современная техника и технологии. 2017. № 1. URL: <http://technology.snauka.ru/2017/01/11620>
6. Теплов В.М., Цебровская Е.А. и др. Применение имитационного моделирования для оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в многопрофильном стационаре в условиях перепрофилирования

медицинского учреждения на прием пациентов с новой коронавирусной инфекцией // Скорая медицинская помощь. 2020. Т. 21, № 4. С. 11–16.

7. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) / Е.Г. Камкин, Н.А. Костенко, Е.В. Каракулина и др. Временные методические рекомендации. Версия 5. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2020. 121 с.

8. Сценарное моделирование чрезвычайной ситуации социального характера – террористического акта / Р.Н. Лемешкин, С.Г. Григорьев, И.Ф. Савченко и др. // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2017. № 2(58). С. 156–166.

9. Гончаров С.Ф., Бобий Б.В., Титов И.Г., Акиншин А.В., Самойлова М.С. Некоторые вопросы оптимизации управленческой деятельности при организации оказания медицинской помощи пострадавшим в результате террористических актов // Медицина катастроф. 2021. №2. С. 29–34. URL: <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-2-29-34> (дата обращения: 16.04.2022 г.)

10. Тулупов А.Н., Кажанов И.В., Мануковский В.А., Никитин А.В. Особенности лечения пострадавших в террористическом акте в Санкт-Петербургском метрополитене (03.04.2017 г.) с тяжелыми минно-взрывными повреждениями // Мед. -биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2018. № 4. С. 47–58.