

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный
медицинский университет имени академика И.П.Павлова»
Минздрава России**

На правах рукописи

**Цебровская
Екатерина Андреевна**

**Возможности имитационного моделирования в оптимизации
работы стационарного отделения скорой медицинской помощи
в чрезвычайных ситуациях.**

3.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Диссертация
на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук доцент
Теплов В.М.

Санкт-Петербург – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	2
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. СОВРМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ПЕРИОДА СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ПОВСЕДНЕНВЫХ УСЛОВИЯХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	14
1.1. История имитационного моделирования.	14
1.2. Обзор программного обеспечения, используемого для имитационного моделирования.....	17
1.3. Мировой опыт использования имитационного моделирования в здравоохранении.....	19
1.4. Стационарное отделение скорой медицинской помощи и его роль в оказании скорой специализированной медицинской помощи.....	21
1.5. Влияние ЧС на работу стационарного отделения скорой медицинской помощи.....	24
1.5.1. Особенности работы медицинских организаций при чрезвычайных ситуациях биолого-социального характера	24
1.5.2. Особенности работы медицинских организаций при чрезвычайных ситуациях техногенного характера и террористских актах	29
1.6 Резюме.....	33
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В РАБОТЕ.....	35
2.1. Программное обеспечение для проведения организационного эксперимента.....	42
2.2. Методы статистической обработки.....	54
ГЛАВА 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ	

В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ БИОЛОГО-СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА.....	59
3.1. Моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи университетской клиники.....	59
3.1.1. Создание модели и оценка ее адекватности.....	59
3.1.2. Имитационный эксперимент работы стационарного отделения скорой медицинской помощи университетской клиники в условиях перепрофилирования под приём пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19.....	64
3.2. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи многопрофильного стационара.....	69
3.2.1. Создание модели и оценка ее адекватности.....	69
3.2.2. Имитационное моделирование работы СтОСМП многопрофильного стационара при оказании медицинской помощи в экстренной форме в условиях пандемии.....	72
3.3. Резюме.....	76
ГЛАВА 4. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ МАССОВОМ ПОСТУПЛЕНИИ ПОСТРАДАВШИХ.....	78
4.1. Имитационное моделирование стационарного отделения скорой медицинской помощи СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больницы» в режиме повседневной деятельности.....	78
4.2. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи при террористическом акте.....	84
4.3. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях техногенного характера.....	86
4.3.1. Анализ чрезвычайных ситуаций, сопровождавшихся массовым поступлением пострадавших в медицинские организации, в субъектах РФ	88

4.3.2. Имитационное моделирование работы СтОСМП СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больницы» при чрезвычайных ситуациях техногенного характера	90
4.4 Резюме.....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
ВЫВОДЫ.....	95
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	98
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	101
Приложение А.....	127
Приложение Б.....	130
Приложение В.....	131
Приложение Г.....	132
Приложение Д.....	139
Приложение Е.....	140
Приложение Ж.....	142

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ED - Emergency Department

СтОСМП - стационарное отделение скорой медицинской помощи

СМП – скорой медицинской помощи

ЧС – чрезвычайные ситуации

FlexSimHC - FlexSim HealthCare

РФ – Российская Федерация

СМО - система массового обслуживания

ТОФМС – территориальный фонд обязательного медицинского страхования

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Последние годы проблема готовности медицинских организаций к работе при различных чрезвычайных ситуациях (далее – ЧС) приобретает всё большее значение. Эпидемии, катастрофы, военные операции вынуждают учреждения работать в совершенно новых условиях, что требует предварительного расчета сил и средств, необходимых для приема существенно большего потока пациентов, в том числе с нетипичной нозологией (Алексанин С.С. с соавт., 2016; Баранова Н. Н., Гончаров С. Ф. с соавт., 2020, 2021; Барачевский Ю.Е. с соавт., 2020). Первым структурным подразделением госпитального периода, которое должно быть готово к решению таких задач, является отделение, осуществляющее прием пациентов. В нашей стране в последнее десятилетие происходит постепенная замена приемных отделений крупных многопрофильных стационаров на стационарные отделения скорой медицинской помощи (далее – СтОСМП), деятельность которых регламентируется приказом Минздрава России от 20 июня 2013 г. № 388н «Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи» (далее – Приказ Минздрава 388н). Эти отделения являются аналогом зарубежных отделений экстренной медицины (далее – Emergency Department), которые доказали свою эффективность в различных условиях (Zhu N, Zhang D et al., 2020; Dan Lantsman C, Barash Y, Klang E et al., 2022; Joseph JW, Leventhal EL, E et al., 2022). В то же время одной из ведущих проблем таких структурных подразделений является их перегруженность даже в режиме повседневной деятельности, что также требует осуществлять планирование логистики передвижения больных внутри отделения, рациональное использование коечного фонда и диагностических служб еще на этапе строительного проекта. В условиях ЧС нагрузка на стационарный период оказания скорой, в том числе специализированной, медицинской помощи может существенно возрастать, что также повышает значимость СтОСМП (Багненко С.Ф.,

Теплов В.М. с соавт., 2020). Предварительный научно обоснованный расчет сил и средств для таких событий позволит заблаговременно спрогнозировать особенности маршрутизации пострадавших, объем и сроки оказываемой медицинской помощи, что, в конечном итоге, приведет к улучшению результатов лечения.

В период чрезвычайной ситуации биолого-социального характера, которой стала пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19, в нашей стране большое число медицинских организаций было вынуждено перепрофилировано в инфекционные (Бояринцев В.В. с соавт., 2020, 2021; Багненко С.Ф. с соавт. 2020, 2021). Эта ситуация также продемонстрировала актуальность планирования работы СтОСМП в новых условиях (Беляков Н. А. с соавт., 2020 г., Багненко С.Ф., Теплов В.М. с соавт., 2021).

Для проектирования работы медицинской организации и решения логистических задач в последние годы в мире активно применяется имитационное моделирование (Lynch C. et al., 2014; Sorokin D.E. et al., 2017; Xiao Lu et al., 2020). Многочисленные публикации свидетельствуют о целесообразности выполнения виртуальных экспериментов для планирования работы, в том числе при ЧС (Mackay M. et al., 2013; Liao X., Wang, et al., 2020). Преимуществом данного метода планирования является возможность решения сложных математических задач, возникающая при анализе системы массового обслуживания. В этом случае создается имитационная модель реального объекта в виртуальной среде, а цифровая платформа позволяет прорабатывать бизнес-процесс, проводить потенциальные эксперименты, оптимизировать и прогнозировать работу в будущем. Методика позволяет анализировать функционирование медицинской организации целиком или отдельных ее частей в повседневной жизни, а также прогнозировать деятельность при возникновении чрезвычайных ситуаций, что является крайне актуальной проблемой (Алексанин С.С., Евдокимов В.И., Рыбников В.Ю. с соавт., 2019; Гончаров С.Ф. с соавт., 2021).

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на увеличение числа новых СтОСМП в настоящее время в нашей стране, а также регулярное возникновение в последние несколько лет событий, которые могут быть отнесены к ЧС биолого-социального и техногенного характера, информация о работе таких структурных подразделений в экстремальных условиях носит разрозненный и несистематизированный характер (Багненко С.Ф. с соавт., 2018; Мирошниченко А.Г. с соавт., 2019). В ряде случаев отделения открываются в уже построенных корпусах, на площадях, которые не пригодны для их полноценного функционирования, а у персонала нет четкого понимания о действиях при массовом поступлении пациентов (Теплов В.М. с соавт., 2022). Пандемия новой коронавирусной инфекции лишь подчеркнула данную проблему, что проявилось многочасовыми очередями из автомобилей скорой медицинской помощи возле приемных отделений стационаров (Беляков Н.А., Алексанин С.С., Багненко С.Ф. с соавт., 2020). Одновременно с этим, несмотря на эффективность применения имитационного для планирования работы медицинских организаций, в Российской Федерации на сегодняшний день эта тема широко не раскрыта и нуждается в научно-практической разработке, особенно в области организации и планирования оказания скорой специализированной медицинской помощи в повседневной работе и при ЧС различного характера.

Таким образом, была определена **цель исследования:** обосновать возможность применения имитационного моделирования для планирования деятельности стационарного отделения скорой медицинской помощи в повседневных условиях и при ЧС техногенного и биолого-социального характера.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. С помощью имитационного моделирования определить необходимые изменения в работе стационарного отделения скорой медицинской помощи,

требуемые для его эффективного функционирования при перепрофилировании в приемное отделение инфекционного стационара, в условиях чрезвычайной ситуации биолого-социального характера.

2. Выявить и обосновать условия, необходимые для продолжения оказания медицинской помощи в экстренной и неотложной формах в стационарном отделении скорой медицинской помощи многопрофильного стационара при пандемии новой коронавирусной инфекции.

3. Изучить преимущество стационарного отделения скорой медицинской помощи в сравнении с приемным отделением многопрофильного стационара в условиях массового поступления пострадавших при террористическом акте.

4. Используя имитационное моделирование изучить изменение нагрузки на медицинскую организацию, оказывающую медицинскую помощь в стационарных условиях, при массовом поступлении пострадавших с механическими повреждениями при чрезвычайных ситуациях техногенного характера.

Научная новизна результатов и теоретическая значимость

Впервые изучена возможность применения имитационного моделирования для планирования работы СтОСМП в повседневных условиях и чрезвычайных ситуациях, включая работу такого отделения в чрезвычайных ситуациях биолого-социального характера при различных вариантах функционирования медицинской организации, а также при чрезвычайных ситуациях при террористических актах. В ходе исследования на основании прогнозируемых и реальных данных были созданы и изучены имитационные модели СтОСМП различных многопрофильных медицинских организаций. Впервые для объективизации компьютерной модели были использованы данные реестров выставленных счетов пролеченных больных, что обеспечило персонифицирование маршрутизации пациентов в процессе моделирования. Разработка и обоснование основных положений диссертационного исследования позволили доказать возможность

применения расчетных данных имитационных моделей для определения сил и средств, необходимых для обеспечения приёма пациентов в условиях массового поступления в СтОСМП при ЧС биолого-социального, техногенного характера. Продемонстрирована эффективность применения компьютерных сред процессного моделирования для планирования работы СтОСМП в повседневных условиях и различных чрезвычайных ситуациях.

Практическая значимость исследования

В ходе исследования обоснована эффективность метода имитационного моделирования при проведении организационных экспериментов для расчета штатного расписания и коечного фонда на случай массового поступления больных и пострадавших. Кроме этого, доказана необходимость формирования в структуре СтОСМП резервных площадей, которые могут быть востребованы под развертывание обсервационных коек в условиях пандемии или для создания приемно-сортировочной площадки в условиях ЧС биолого-социального и техногенного характера, что целесообразно учитывать на этапе проектирования.

Методология и методы исследования.

Объект, предметы, единицы исследования, этапы его организации, методы сбора и обработки первичных данных, интерпретация результатов и основные направления их практической реализации, а также формулирование выводов были определены исходя из поставленной цели и задач диссертационного исследования.

Объектом исследования были выбраны СтОСМП различных медицинских организаций. Предметом исследования был процесс медицинской сортировки, маршрутизации и оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи в условиях ЧС биолого-социального и техногенного характера. При анализе маршрутизации пациентов и оказания медицинской помощи им в условиях СтОСМП единицами наблюдения были: «Карта исходных данных», «Карты пациента», «Карты сценариев», разработанные на основании выгрузки из медицинских

информационных систем (электронных журналов). При изучении работы врачей СтОСМП стационара единицей наблюдения являлись «Карты концептуальной модели», «Карты Тайм-менеджмента», «Карта данных реестра выставленных счетов», после запуска первоначальной модели проводилась оценка ее адекватности с помощью «Карты тестирования модели».

Исследование выполнено в течение 2017-2022 гг. на базе ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова г. Санкт-Петербург, ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград и ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург.

Комплексная методология исследования включала в себя главным образом организационный эксперимент, а также историко-аналитический, контент-анализ и статистический метод анализа данных. Для проведения организационного эксперимента применялось имитационное моделирование. Большая часть эмпирической информации собрана с помощью сплошных методов наблюдений, а меньшая часть - выборочных методов. Общее количество изученных единиц наблюдения – 32542.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи, включающее разработку модели, оценку ее адекватности и имитационный эксперимент, доказывает его эффективность и предусматривает обязательную трансформацию коечного фонда и штатного расписания для организации работы отделения в условиях чрезвычайной ситуации биолого-социального характера.

2. Организация работы стационарного отделения скорой медицинской помощи при массовом поступлении пострадавших при террористическом акте и чрезвычайных ситуациях техногенного характера на основе имитационного моделирования определяет необходимость на этапе проектного решения выделить сортировочной площадки, отвечающей

специальным требованиям по площади, оснащению, месту развертывания, маршрутизации пострадавших.

Апробация работы и внедрение:

Результаты исследования были доложены на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Скорая медицинская помощь – 2018», Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Скорая медицинская помощь – 2019», Научно-практической конференции с международным участием «Медицина катастроф — 2022» и на XVII Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы организации экстренной медицинской помощи «ИННОВАЦИИ В ЭКСТРЕННОЙ МЕДИЦИНЕ» в Республике Узбекистан, г. Наманган в 2022 г.

Внедрение результатов.

Результаты апробированы и внедрены при планировании и последующем строительстве СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, а также во время перепрофилирования клиники Университета под приём пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 в период пандемии. Также в период пандемии полученные данные использовались при планировании деятельности ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгограда. Произведенные расчеты были применены для оптимизации деятельности ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербурга. Результаты проведённых организационных экспериментов послужили основой для второго издания методических рекомендаций «Организация стационарного отделения скорой медицинской помощи», опубликованных под редакцией академика РАН С.Ф. Багненко в 2018 г. Также они используются в учебных программах кафедры скорой медицинской помощи и хирургии повреждений ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России при подготовке студентов 5-6 курса и ординаторов по специальности 31.08.48 «скорая медицинская помощь».

По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 4 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Личное участие автора в получении результатов:

Автор предложил идею применения имитационного моделирования работы госпитального периода оказания скорой специализированной медицинской помощи медицинских организаций разной пропускной способности для оценки и планирования их функционирования при чрезвычайных ситуациях биолого-социального и техногенного характера. Автором проводилось планирование диссертационного исследования, формирование рабочих гипотез, выполнялась формализация исходных данных, создавались имитационные модели, проводилась оценка адекватности моделей, осуществлялись организационные эксперименты и интерпретация полученных результатов исследования. Доля участия автора в сборе первичного материала и обработке информации, наборе фактического материала, подготовке его к статистической обработке — более 96%, в обобщении материала — 100%.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Научные положения соответствуют паспорту специальности 3.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях по пунктам 1, 2, 4, 5.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения и 4 глав, которые отображают результаты собственных наблюдений, заключения, выводов, практических рекомендаций, приложений, списка литературы, включающего 192 источников, из них 98 источника отечественной литературы и 94 – зарубежной. Она изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 6 таблицы, 7 приложений, иллюстрирована 24 рисунками.

ГЛАВА 1.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ПЕРИОДА СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ПОВСЕДНЕВНЫХ УСЛОВИЯХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. История имитационного моделирования

Основной целью моделирования является отражение проблемы из реального мира в мире проектов (процесс абстракции), анализ проблемы, поиска решения проблемы в эксперименте, оптимизацию её, а затем перенос готового решения обратно в реальный мир [20, 21, 22, 23, 24].

Слово «модель», произошедшее от латинского значения «modulus», обозначает - образец, мера, мерило [20, 37, 40, 42, 47]. Процесс создания и проведения на ней ряда экспериментов принято называть моделированием. Существуют различные классификации моделей, такие как по области применения моделей, по способам их создания и по выполняемым задачам. Если разделить их по форме ее представлению, то среди них различают: словесные, логические, математические, геометрические, а также специальные (среди которых являются - ноты, химические формулы и прочее) [20, 59, 62, 69, 70]. По виду представления информации подразделяют на информационные (нематериальные, абстрактные) и материальные. К первым относятся образованные в виде совокупности полученной информации, которые характеризуют свойства и состояние объекта, какого-либо процесса или явления. Вторые являются копией оригинала. В свою очередь, имитационные подразделяют на знаковые и вербальные. Вербальные представляют в виде мысленной или разговорной форме. Знаковые модели выражается посредством любого формального языка. Среди последних различают компьютерные и некомпьютерные модели [20, 65, 69, 70, 71, 73, 74].

История моделирования берет своё начало с древнего мира, когда появились наскальные рисунки. Это пример графической модели, которая

иллюстрируют события античного мира. К примерам физических моделей можно отнести скульптуры античной эпохи [20, 65, 86]. Со временем модели развивались, расширялось их применение, а сами они усложнялись. Уже в эпоху древнего Рима и даже ранее люди создавали так называемые динамические модели, в которых отрабатывали полученный военный опыт для формирования наилучшей тактики в военных действиях. Примерами могут служить тренировки воинов на деревянных мечах, иллюстрированные карты местности с деревянными, и, уже позднее каменными фигурками, на которых обыгрывался план будущего сражения. В то время основной задачей моделирования был поиск выгодного эффекта от будущих событий [20, 22, 23, 25, 26, 28, 81]. В последующие века моделирование носило ментальный, физический и графический характер, выполняя перед собой поставленные задачи. Совершенно новым этапом для развития явилось открытие теории дифференциальных уравнений в 1676 году, разработанной Лейбницем Г.В. и Ньютоном И. [20, 26, 28, 39, 40, 41, 42, 54, 73]. С этого момента в мире появляются математические модели динамических процессов. Среди них было принято различать: линейные и нелинейные, сосредоточенные и распределённые системы, детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные и непрерывные [6, 42, 44, 57, 58, 69, 70, 73, 79, 174, 187]. Первоначально основной областью их применения было в разделе механики. С помощью уравнений определяли координаты тел, их скорости и ускорения, рассматриваемые как функции времени при различных воздействиях. В дальнейшем они стали применяться повсеместно. Следующим прорывом стало появление электронных вычислительных устройств, а в частности компьютерного (имитационного) моделирования, которое было способно имитировать исследуемые процессы в различных масштабах времени [27, 39, 42, 59, 62, 63, 69, 72, 73, 79, 129].

В середине XX века появилось понятие «системная динамика», основоположником которого был Дж. Форрестер, основанное на математических моделях, но выполнялись с помощью вычислительной

техники [20, 95, 114, 137, 190]. Системно-динамическая модель состоит из ряда абстрактных элементов, представляющих некие свойства моделируемой системы, таких как уровни, потоки, функции решений, каналы информации, линии запаздывания и вспомогательные элементы [22, 24, 28, 99, 114, 115, 140]. Одним из ярких примеров было изучение колебаний числа рабочих на одном из заводов в Кентукки в течение трёх лет. Согласно расчётам, включавшим алгоритм принятия решений о найме и увольнении работников, была выявлена нестабильность числа рабочих, которая была определена проблемами внутренней системы фирмы и не была связана с какими-либо внешними факторами. В результате анализа данных, полученных в ходе эксперимента, была проведена оптимизация фирмы, что в свою очередь привело к стабилизации штатного расписания и работы фирмы в целом [118, 120, 121, 125, 129].

Следующим этапом развития стал 1960 г., когда Гордон Джеффри открывает миру такое понятие, как дискретно-событийное (процессное) моделирование [20, 28, 114, 129, 137]. Данный подход предполагает абстракцию и выделяет только основные события в проектируемой системе. В отличие от системной динамики, функционирование системы представляет собой хронологическую последовательность событий, которая происходит в определенный момент времени и отражает изменение состояния системы. В настоящее время процессное моделирование применяется для решения различных логистических задач во всех сферах деятельности человека, затрагивающих систему массового обслуживания [40, 42, 45, 47, 56, 58, 60, 83, 86, 109, 120, 125, 129], а также при решении вопросов среди функционирования транспортных и производственных систем. Он наиболее подходит для анализа производственных процессов («бизнес-процессов»), так как в отличие системной динамики переменные состояния имеют прямой «физический» смысл, а именно координаты и скорость [20, 21, 22, 24, 31, 48, 52, 84, 140, 151, 152, 166, 190].

В последнее десятилетие XX века появилось «агентное» моделирование, в котором под понятием «агент» могли выступать различные объекты, в том числе и сами люди. Область применения его направлена на исследования децентрализованных систем, динамика и функционирования которых определяется правилами и законами, сформированными в результате функционирования индивидуальных членов исследуемой группы [39, 42, 47, 50, 52, 113, 120, 121, 131, 154, 159, 160, 168, 173, 175].

Все вышеуказанные подходы к моделированию используются в настоящее время. Отдельные конкретные направления и их комбинации реализуются в разнообразных программных продуктах [28, 41, 42, 47, 50, 52, 84, 98, 111, 114, 120, 121, 168, 173, 175, 190]. Выбор нужного подхода зависит от постановки предварительных задач в выполняемой модели. И если изначально данные технологии использовались только в промышленных сферах, то начиная с 2009 г. появляются данные о применении имитационного моделирования в сфере здравоохранения [32, 37, 47, 48, 61, 71, 72, 97, 99, 102, 104, 105, 106, 108, 114, 113, 116].

1.2. Обзор программного обеспечения, используемого для имитационного моделирования

Исследования, посвященные эволюции программного обеспечения для имитационного моделирования, привели к определению шести поколений программ в данной области [99, 112, 115, 121, 137, 163, 165, 170, 173, 174, 175, 189, 190].

Первое поколение программных обеспечений для имитационного моделирования появились в 1950-е гг. Эти программы были с низкой степенью абстракции и давали возможность создавать модели в виде алгоритмов и формул с помощью универсальных языков программирования, таких как Algorithmic Language (Algol) или Formula Translator (Fortran). Данное поколение не приняло широкое распространение за счёт сложности выполнения и узкий спектр решения задач моделирования, однако они стали

основоположниками последующих поколений [20, 24, 39, 58, 69, 71, 72, 95, 114, 115].

Второе поколение программ для имитационного моделирования появляется в 1960 гг. на основе уже существующих программных обеспечений. Они уже включают в себя генераторы случайных чисел и специализированные языки программирования блочного типа для моделирования, такие как: транзакты (GPSS), процесса (SIMULA), событий (SIMSCRIPT), работ (CSL) и многие другие. Они были более гибкими и позволяли создавать более сложные модели [20, 24, 39, 58, 69, 71, 72, 95, 114, 115, 129, 152].

Третье поколение компьютерных сред для имитационного моделирования создавались в период с 1970г. по 1980 г., среди которых такие как Demos, Model-6 и другие. Отличительной чертой данного поколения было то, что они выполнялись с помощью объектно-ориентированных языков и обладали более высоким уровнем абстракции [20, 24, 39, 58, 69, 71, 72, 95, 114, 115, 129, 140, 162].

В период с 1980г. по 1990г. создается четвертое поколение программ (GPSS PC, PC model Simfactory), которые были разработаны с помощью визуальных сред программирования. Это были программы, которые позволяли создавать и редактировать модели на высоком уровне абстракции с использованием графических интерфейсов и библиотек готовых компонентов [7, 20, 37, 39, 57, 58, 69, 71, 72, 95, 114, 115, 129, 140, 162].

После 1990г. появляется пятое поколение программ для имитационного моделирования, которые позволяют создавать более сложные, глубокие и точные модели, интегрируя машинное обучение и анализ больших данных. Они могут использоваться для прогнозирования и оптимизации бизнес- и производственных процессов, а также для исследования сложных систем, включая экономические, финансовые, транспортные и логистические. Некоторые из таких программ включают AnyLogic, Flexsim и версии Arena [6, 20, 23, 63, 70, 71, 73, 74, 109, 112, 115, 121, 125, 137, 140].

Шестое поколение программ для имитационного моделирования включает методы, основанные на агентах и агентно-ориентированный подход, разработанный для описания и анализа систем, состоящих из множества взаимодействующих агентов. Эти программы позволяют создавать модели, которые могут быть использованы для анализа поведения и эффективности различных систем, в том числе компьютерных сетей, экономических систем и транспортных средств. Примерами таких программ являются NetLogo, Repast, Mason и AnyLogic [70, 73, 74, 79, 99, 111, 112, 114, 121, 125, 129, 135, 137, 151, 158, 163, 182].

Как уже отмечалось выше, с течением времени программное обеспечение для работы с моделями становится все более совершенным. Разработчики усложняют интерфейс и улучшают языки программирования [20, 70, 114, 115, 121, 125, 129, 134, 135, 137, 139, 146, 173, 175, 190].

На сегодняшний день имитационное моделирование используется повсеместно. Это технические и научные направления, а также социальные проекты, как например модели, основанные на системе массового обслуживания [40, 45, 55, 60, 78, 102, 106, 120, 121, 124, 129, 150, 156, 157, 189]. Выбор той или иной программы зависит от поставленных целей и области применения. В медицинской среде компьютерное моделирование на сегодняшний день используется в основном в Западных странах. В нашей стране до настоящего времени подобные программы использовались в единичных случаях, среди доступных такие программные обеспечения как FleximHC и Anylogic [31, 48, 62, 97, 98, 140].

1.3. Мировой опыт использования имитационного моделирования в здравоохранении

Имитационное моделирование является современным инструментом для планирования и решения стратегических задач в управленческой сфере, в том числе и в здравоохранении. В мире данная методика планирования работы лечебных учреждений уже получила широкое признание [100, 101,

104, 106, 108, 122, 123, 131, 153, 157, 160, 164, 165, 168, 169, 176, 177, 178, 179, 180, 183, 184, 185, 186]. Например, в Южной Флориде был создан проект оптимизации отделения неотложной помощи больницы Baptist Health для пациентов с низкой остротой зрения. В рамках экспериментов прорабатывался алгоритм, направленный на сокращение длительности ожидания осмотра врачом и сокращение пребывания данной группы пациентов в отделении. После ряда экспериментов удалось создать алгоритм, позволявший сократить время от момента обращения до осмотра врача на 8%, а продолжительность пребывания в отделении на 27%. В последующем был проведен эксперимент с добавлением врача-сортировщика на входе, что позволило сократить время пребывания в отделении на 46% [140, 144]. Данная клиника в последующем внедрила имитационную модель на постоянной основе для обрабатывания различных вопросов оптимизации.

Следующим ярким примером практического применения имитационного моделирования стал Центр протонной терапии онкологического центра доктора медицинских наук Андерсона. Основная задача в оптимизации данного проекта была направлена на определение помещения для установки протонного ускорителя в рамках расширения центра и присоединения пристройки. Основная проблема, изучаемая на модели, заключалась в том, что протонный ускоритель, линия луча и портал высотой в три этажа обеспечивают лечение всего в четырех комнатах, а луч может быть сфокусирован только в одном клиническом помещении одновременно. Предполагалось оптимизировать пространство между зданиями и ответить на важные вопросы об их возможностях и пропускной способности лечебных кабинетов. Для поиска решения этой проблемы были созданы компьютерные модели текущего и предлагаемого расширения центра. Для исходных данных был использован 10-тилетний опыт работы центра, который включал действующее штатное расписание, количество пациентов, длительность процедур и т.д. Архитектор пристройки первоначально предлагал создать шесть новых клинических кабинетов, но в

результате визуальных экспериментов выяснилось, что четырех будет более чем достаточно для такого количества пациентов. Это позволило избежать ненужных финансовых затрат на строительство. Кроме того, модель подтвердила, что в текущем здании будет достаточно места для ведения всей деятельности клиники. Данная клиника также оставила проект имитационной модели для решения текущих задач [137, 140, 145].

Проект Медицинского филиала Техасского университета также является примером успешного практического использования имитационного моделирования. В данном проекте рассматривалась возможность переезда отделений со 185 пациентами в новое здание университета. Ряд экспериментов позволил сократить время переезда до 6 часов, а также сократить нагрузку на персонал, участвующий в переезде [137, 140].

В мировой практике представлены проекты моделирования при чрезвычайных ситуациях, техногенного и биолого-социального генеза. Одним из примеров такого проекта является модель экстренной эвакуации из учреждения Воеводского центра наркологической терапии в Кракове, входящего в состав больницы доктора Юзефа Бабинского в Кракове (Польша). Использование моделирования привело к сокращению общего времени эвакуации почти на 50% [140,147].

Таким образом, опираясь на полученный мировой опыт, можно говорить об успешном применении данной технологии для решения стратегических и тактических задач при планировании работы лечебных учреждений.

1.4. Стационарное отделение скорой медицинской помощи и его роль в оказании скорой специализированной медицинской помощи

Согласно зарубежным источникам, трансформация приемных отделений в отделения экстренной медицины (ED - emergency department) началась в США в начале 60-х годов XX века [103, 138, 143, 148].

Предпосылкой для их появления стало значительное увеличение потока поступающих пациентов по экстренным и неотложным показаниям в многопрофильные медицинские учреждения. В России такие отделения стали создаваться сравнительно недавно [9, 32, 46, 90, 98], согласно Приказа Минздрава №388н от 20.06.2013 "Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи" (далее - Приказ 388н) они называются стационарные отделения скорой медицинской помощи.

СтОСМП представляет собой структурное подразделение медицинской организации, занимающее достаточно обширную территорию (1500-2500м²), оснащённое всем необходимым для оказания медицинской помощи по экстренным и неотложным показаниям. В структуру отделения входит зона ожидания со смотровыми для пациентов (зелёная зона), палата динамического наблюдения (жёлтая зона), палата интенсивной терапии и противошоковая операционная (красная зона). На территории СтОСМП располагаются диагностические подразделения, позволяющие в кратчайшие сроки провести весь спектр необходимых обследований (УЗИ, Рентген, Эндоскопия, МСКТ, МРТ и т.д.) [9, 90, 98].

Несмотря на незначительное количество (на сегодняшний день на территории РФ таких структурных подразделений создано всего лишь 26), отделения, которые функционируют на сегодняшний день на практике уже доказали своё преимущество перед привычным приёмным отделением [9, 88, 90, 97, 98]. Первое СтОСМП начало свою работу в 2011 г. в Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте скорой помощи им. И.И. Джанелидзе в 2011 г. [90]. Данное отделение явилось основоположником изменения оказания медицинской помощи при первичном контакте пациента с врачом на стационарном этапе. В январе 2014 года вступил в силу Приказ № 388н, который отражал порядок работы СтОСМП и являлся юридической базой для последующих преобразований. В дальнейшем подобные отделения открывались в стационарах Сочи, Казани,

Набережных Челнах, Волгограде и ряде других городов. В 2015 г. открылось СтОСМП на базе ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П.Павлова Минздрава России [9, 90].

Одним из преимуществ данных отделений перед уходящими в прошлое приёмными отделениями является их значительная площадь, позволяющая разместить большое количество пациентов и обеспечить медицинскую сортировку входящего потока больных и пострадавших, а также возможность осуществить мультидисциплинарный подход к их обследованию. Другим преимуществом является наличие в прямой доступности всех диагностических служб и возможность незамедлительного начала лечебных мероприятий одновременно с диагностическими исследованиями [9, 82, 85, 87, 88, 90, 97]. Всё вышеперечисленное существенно влияет на качество и своевременность оказания экстренной и неотложной формам медицинской помощи на стационарном этапе. Кроме того, как показала практика [90, 97, 98], наличие такого отделения позволяет избежать нецелесообразных госпитализаций. Поступающий поток пациентов проходит медицинскую сортировку, в ходе которой определяется тяжесть их состояния и возможное время ожидания врачебного осмотра, в дальнейшем проводится обследование, а при необходимости и лечения в соответствующих зонах самого отделения. По результатам проведенных лечебно-диагностических мероприятий пациент либо будет выписан на амбулаторное лечение в виду отсутствия показаний для экстренной госпитализации, либо будет оставлен под наблюдение в условиях краткосрочного пребывания, либо переведён на профильное отделение. В отличие от приёмного отделения, врач первичного контакта в СтОСМП является лечащим врачом, обладает навыками УЗ-скрининговых методов обследования и самостоятельно определяется объём диагностических исследований, за редким исключением. Все это ускоряет процесс диагностики, обеспечивает незамедлительное начало лечебных мероприятий, что существенно снижает риски развития осложнений заболеваний [9, 43, 90].

Кроме этого, СтОСМП многопрофильного стационара, являясь точкой первичного контакта пациента и медицинского работника, следует рассматривать как подразделение, которое должно находиться в режиме готовности к работе в условиях различных ЧС [4, 33, 34, 53, 98].

1.5. Влияние чрезвычайных ситуаций на госпитальный период оказания скорой специализированной медицинской помощи

1.5.1. Особенности работы медицинских организаций при чрезвычайных ситуациях биолого-социального характера

Пандемия новой коронавирусной инфекции оказалась серьезной проблемой для всего мирового сообщества, основная тяжесть легла на систему здравоохранения. Согласно данным мировой статистики, общая динамика ежедневного прироста числа новых случаев заражения демонстрировала повсеместное эпидемиологическое неблагополучие, в том числе и в так называемых развитых странах - США и Европейских странах. [139]. Число выявленных случаев было связано с развитием лабораторной диагностики, плотности населения, соблюдением мер профилактики, вакцинации, а также организации специализированной медицинской помощи в целом.

В декабре 2019 года в Китайской провинции Ухань было зарегистрировано сообщение о вспышке пневмонии неизвестного происхождения. В последующем было установлено, что данное заболевание вызвано новым коронавирусом (SARS-CoV-2), напоминающим вирус тяжелого острого респираторного синдрома [161, 171, 172, 188, 191, 192]. Вирус начал распространяться по всему миру и уже к 30 января 2020 г.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила ЧС в области общественного здравоохранения, а 11 марта 2020 года ситуация была

признана пандемией [29, 149, 150]. Превентивные меры, как “социальное дистанцирование”, проведение ПЦР-тестирования и изоляция пациентов, помогли сгладить эпидемиологическую картину [1, 2, 3, 49, 67, 76, 77, 80, 155], но, несмотря на это, пандемия принимала всё более обширное распространение и инфекционных стационаров оказалось недостаточно для оказания медицинской помощи всем нуждающимся. Сложившаяся ситуация потребовала изменить порядок работы в многопрофильных медицинских учреждениях (включая отделения интенсивной терапии), чтобы они могли принимать тяжелобольных пациентов с COVID-19. Проблемы, с которыми столкнулись многопрофильные стационары в основном включали необходимость: выделения места для развёртывания инфекционных коек, организации нового штатного персонала, изменения маршрутизации пациентов, обеспечения безопасности медицинского персонала в стационаре, а также необходимость сохранения чистых отделений или корпусов для неинфекционных пациентов и разработки алгоритмов диагностики и лечения больных с новой коронавирусной инфекцией COVID-19.

К середине апреля 2020 года в Ухане было зарегистрировано уже более 50 000 случаев COVID-19 [139]. Среди них 2579 пациентов скончались. Был отмечен рост тяжёлых случаев болезни, в 20% всех пациентов требовалось лечение в отделениях интенсивной терапии. Несмотря на организацию дополнительных 10 больниц для приёма пациентов с новой коронавирусной инфекцией к февралю 2020, сохранялся дефицит как коек в отделениях интенсивной терапии, так и медицинского персонала из-за постоянного роста числа пациентов. Приходилось преобразовывать палаты общего профиля в отделения интенсивной терапии. В связи с нарастающей нехваткой персонала в Ухань были привлечены к работе сотрудники из разных городов Китая. Так, например, медицинская бригада из второго филиала больницы Медицинского университета провинции Чжэцзян [161, 171, 188, 191, 192], в составе 120 медсестер и 42 врачей, 14 февраля 2020 г. восполнила дефицит кадров в одном из временных отделений интенсивной терапии в Ухане.

Среди них были четыре врача и пять медсестер из ED, которые осуществляли повседневное ведение пациентов с COVID-19, включая управление аппаратами искусственной вентиляции легких. Надо отметить, что в повседневной жизни стационары Китая содержат в своём структурном подразделении такие отделения, и поэтому врачи ED обладают основными навыками неотложной и интенсивной терапии, такими как управление аппаратом ИВЛ, гемодиализ, ЭКМО (экстракорпоральная мембранная оксигенация), ультразвуковое исследование и трахеотомия, которые были востребованы у критических пациентов с COVID-19. Это позволяло врачам ED выполнять функции реаниматологов без необходимости дополнительного обучения [161, 167, 171, 188, 191, 192].

В это же время в Пакистане начали зарываться стационары, оказывающие экстренную медицинскую помощь ввиду недостаточного количества специалистов, готовых работать в ED [139].

Помимо дефицита кадров и их возможного восполнения, возникали проблемы, связанные с необходимостью перепрофилирования стационаров в жатые сроки. Так, университетская клиника в Чандигарх (Индия), была вынуждена перепрофилироваться под приём пациентов с новой коронавирусной инфекцией за 2 недели. Данная клиника осуществляла приём небольшого количества стационарных пациентов и проводила амбулаторные консультации в плановом порядке. Развёртывание коечного фонда, с учётом всех рекомендаций по эпидемиологической ситуации также имело ряд проблем [139, 147, 172]. В первую очередь это касалось определения места для ведения пациентов с COVID-19. Опираясь на рекомендации, в идеальном варианте это должен был быть изолированный корпус стационара [147]. В случае университетской клиники Индии, это было новое пятиэтажное здание, рассчитанное на 200 (изу них 50 реанимационных) коек, спроектированное в виде шести прямоугольных блоков, соединённых, с одной стороны, общим коридором. Госпиталь столкнулся с проблемой переноса оборудования (такого как аппаратов для

ИВЛ, мониторов, дефибрилляторов и прочего) в здание новой клиники, а также необходимость их обработки. Потребовалось внедрение стандартных методов инфекционного контроля, включая использование отдельного стетоскопа, термометра, сфигмоманометра и других средств в местах ухода за пациентами [141, 147, 172]. Также возникала проблема передвижения пациентов и медицинских работников внутри стационара, которая была решена за счёт выделения «чистого» блока для персонала. Кроме этого, было выделена зона для обработки и переодевания путем преобразования четырех офисных помещений в раздевалки для мужского и женского персонала. Следующей проблемой был дефицит кадров. Изначально в новой клинике работала смена персонала из врачей терапевтов и пульмонологов на протяжении 7 дней с предоставлением жилья на территории больницы. Рабочая смена с пациентами составляла 6 часов. В последующем медицинский персонал стал выбывать в виду болезни. К ведению пациентов привлекались ординаторы и студенты, а контроль за лечением осуществлялся по системе видеонаблюдения в режиме реального времени [147]. Также для снижения риска распространения инфекции все заключения передавались по мессенджеру WhatsApp.

Во всех странах пандемия диктовала свои условия, в ряде случаев необходимость перепрофилирования стационаров возникала в ситуации, когда необходимо было продолжать лечебный процесс. С подобными проблемами столкнулись и в Кодоньо, небольшом городке на юго-западе Ломбардии (Италия), в конце февраля 2020 года, где находится одна из крупнейших учебных больниц на 1300 коек Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo [139, 142]. В данном стационаре до пандемии COVID-19 функционировало отделение инфекционных заболеваний, расположенных в отдельном четырехэтажном здании, и занимало только 2 этажа, оснащенное боксами на 44 койки. Остальная же территория корпуса представляла собой амбулаторию и клиничко-диагностический онкологический центр. Распространение инфекции в данной местности носило молниеносный

характер, вследствие чего инфекционные койки быстро заполнились, и амбулаторный приём был закрыт уже в первый день, а к исходу недели, в связи с ростом числа пациентов, корпус был полностью перепрофилирован под лечение пациентов с COVID-19. К 11 дню функционирования перепрофилированного корпуса количество коек было увеличено до 94, а на первых этажах в процессе работы было создано отделение интенсивной терапии на 16 коек [107, 142].

В Российской Федерации заболеваемость COVID-19 начала регистрироваться с января 2020 г. И если в начале отмечались единичные случаи в центральных регионах России, то со временем пандемия распространилась повсеместно. В разных регионах Российской Федерации время на подготовку к началу вспышки инфекции и организацию специализированной помощи варьировалось от нескольких дней до месяца [8]. Большим преимуществом было налаживание кратчайшие сроки производства тест-систем и значительному расширению лабораторной сети, благодаря чему РФ (надо либо везде РФ, либо Российская Федерация) в мировой статистике занимала лидирующие позиции по числу проведенных тестов не только в странах СНГ, но и в мире [139]. Основной проблемой, с которой пришлось столкнуться в нашей стране, стало массовое поступление пациентов в первые 2 дня открытия нового перепрофилированного стационара. Формирование очередей из машин СМП перед крупными стационарами города, в виду незначительных площадей приёмных отделений [67]. Стационары, имеющие в своей структуре СтОСМП, продемонстрировали преимущества при перепрофилировании многопрофильных стационаров под приём пациентов с подтверждённым COVID-19 [8]. Дефицит кадров по опыту зарубежных коллег был восполнен врачами-стажёрами и студентами медицинских университетов, а своевременное обновление временных рекомендаций по лечению и профилактики пациентов с новой коронавирусной инфекцией

[рекомендации] позволило прийти к единому пониманию и ведению пациентов данного профиля.

Таким образом, разные страны мира во время пандемии столкнулись с неожиданными, но достаточно типовыми проблемами в процессе организации оказания помощи. Ключевой из них стала необходимость изменения профиля медицинских организаций или их отдельных структурных подразделений в условиях дефицита времени. Для того, чтобы минимизировать трудности, возникающие в чрезвычайных ситуациях, необходимо просчитывать подобные ситуации в повседневных условиях, оптимальнее всего еще на этапе проектирования учреждения.

1.5.2. Особенности работы медицинских организаций при чрезвычайных ситуациях техногенного характера и террористических актах

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ - упоминание ВОЗ было раньше) определяет инцидент с массовыми жертвами как «событие, при котором за один раз появляется больше пациентов, чем могут обеспечить местные ресурсы с помощью обычных процедур» [150]. Это всегда стрессовая ситуация, требующая алгоритмизированного подхода и соблюдения принципов преемственности. Для ликвидации последствий техногенных ЧС или террористических актов обычно задействуются разнообразные ресурсы общества - от полиции и пожарных до медицинских работников, инженеров—строителей и экологов, а также специалистов по транспорту и жилищному хозяйству. Все эти службы работают до поступления пострадавших в стационар [4, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 34, 36, 51, 53, 64, 68, 75, 89]. Факторами, вызывающими появление большого числа пострадавших, могут быть крупные аварии с участием нескольких транспортных средств, землетрясения, как например в Норт-Ридж, ураган

"Катрина" или террористические атаки, как например события в США 11 сентября год и теракта в Санкт-Петербургском метро 3 апреля 2017 года. Бедствия могут быть естественными, такими как землетрясения, наводнения и вспышки болезней; или они могут быть вызваны человеком, например, транспортными происшествиями, террористическими актами, биологическими или химическими атаками. В зависимости от типа угроз больницы должны попытаться сосредоточить свои ресурсы на наиболее вероятных и потенциально серьезных сценариях [35, 36, 89, 91, 92, 93, 94, 96,].

Основными проблемами, с которыми сталкивается медицинское учреждения при массовом поступлении пострадавших, это дефицит медицинского персонала и недостаточное количество коечного фонда. Решение этих вопросов осуществляется посредством медицинской сортировки пострадавших и целенаправленного использования резервов лечебных учреждений [11, 14, 19, 34, 36, 89]. При инцидентах техногенного характера, приводящим к возникновению большого числа пострадавших с механическими повреждениями, любой дисбаланс между необходимыми и доступными ресурсами может привести к формированию очередей, переполнению стационара, операционных и реанимационных отделений. Поэтому необходимо заблаговременно оценить вместимость операционных и наличия свободных хирургических бригад, а также наличием мест в отделениях интенсивной терапии. Это число может быть увеличено за счет отмены плановых операций, вызова дополнительных сотрудников и перевода пациентов из отделений интенсивной терапии в обычную палату. Исследования показывают, что в таких ситуациях неизбежно возникают длительные периоды ожидания в ЕД и высокий уровень занятости коек. Переполненные ЕД оказывают чрезвычайное давление на другие критические важные отделения медицинских организаций, как лечебные, так и диагностические [100, 101, 104, 116, 117, 119, 128, 133, 136, 159].

Для снижения времени нахождения в ED, к примеру, включаются более жесткие сортировочные алгоритмы, упрощается ведение медицинской документации и минимизируются объёмы медицинских вмешательств [132, 133, 136, 176, 180]. В Индии возможность стационара к массовому приёму в течение одного часа определяется как 3% от общего числа коек стационара. Также рассчитывается хирургическая мощность больницы исходя из количества пациентов с серьезными травмами, которых можно оперировать в течение 12 часов [147]. В случае возникновения сигнала о массовом поступлении пострадавших, участвующие сотрудники получают чёткие инструкции по работе, осуществляется очередная проверка готовности стационара к приёму. Кроме того, возникает необходимость организации психологической помощи родственниками и пострадавшим, а также усиление охраны самого медицинского персонала [101, 108, 120, 126, 130].

Ещё одной проблемой, с которой возможно столкнуться стационар при массовом поступлении, это отсутствие связи с другими медицинскими учреждениями, или её неэффективность. Как например, при событиях в Род-Айленде в феврале 2003 года, когда во время концерта на сцене вспыхнул пожар, который быстро распространился по всему ночному клубу. Для эвакуации пострадавших было привлечено 65 машин скорой медицинской помощи. Согласно опубликованным данным, первые пациенты начали поступать в местные больницы уже через несколько минут от момента ЧС [169]. В общей сложности 273 человека обратились за помощью в больницы. В приёме участвовали несколько ближайших стационаров, в том числе детский центр и травмоцентр 1 уровня. Однако связь между больницами была ограниченной, и не было средств для координации действий больниц и определения приоритетов вертолетной доставки пациентов в ожоговые центры. В результате в течение первых нескольких часов из четырех разных больниц было перевезено 10 вертолётов без соблюдения приоритетов, были использованы все медицинские ресурсы, доступные в Новой Англии (Gutman et al., 2003). Этот случай лёг в основу дальнейшей работы по координации

между различными экстренными службами во всем штате для разработки алгоритмов быстрого реагирования, совместного обучения персонала, а также системы наблюдения и связи [169].

Одним из ярких примеров чрезвычайных ситуаций биологосоциального характера последних лет стал террористический акт в Санкт-Петербурге на перегоне между станциями «Сенная площадь» и «Технологический институт» Петербургского метрополитена 3 апреля 2017 года [92, 93, 94]. Грамотная организация взаимодействия всех участников процесса в этой ситуации позволила существенно снизить число летальных исходов, а также обеспечить своевременное оказание специализированной медицинской помощи в стационаре [93].

Анализируя хронологию события того дня, было установлено, что в 14:33 был зафиксирован взрыв, мощностью 300 г в тротиловом эквиваленте. Благодаря четким действиям машиниста согласно инструкции, поезд был доведён его до станции «Технологический институт», что в последующем облегчило эвакуацию пострадавших. Первое сообщение о происшествии в службу СМП поступило в 14:34, в связи с этим был объявлен режим ЧС и проведено оповещение травматологических центров, стационаров и станций СМП [93]. Первая бригада СМП прибыла на место в кратчайшие сроки и приняла на себя управление ситуацией. Последующие 30 минут к месту ЧС постоянно прибывали машины СМП. За это время была организована медицинская сортировка пострадавших, проводилась медицинская помощь на месте. Согласно данным отчёта во время теракта пострадало 103 человека, из которых 11 умерли на месте. Среди пострадавших - 37 были в тяжёлом и среднетяжелом состоянии, 55 людям потребовалась амбулаторная помощь [93]. Практически все пострадавшие были эвакуированы с места событий или находились на пути к медицинским учреждениям к 15:06 [93]. Для оказания скорой специализированной медицинской помощи были определены СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Детский городской многопрофильный клинический центр высоких медицинских технологий им.

К.А. Раухфуса, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И. И. Джанелидзе, СПб ГБУЗ "Городская Больница №26", Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова МО РФ [93, 94]. В последующем уже самостоятельно отмечались единичные самообращения пострадавших в различные стационары города. Время от момента возникновения ЧС социального характера до госпитализации первого пациента составило 46 минут, что было обусловлено необходимостью эвакуации из труднодоступного эпицентра теракта, объемом помощи на месте. Таким образом, с одной стороны стационары имели минимальное время на подготовку, а с другой - стационарному периоду оставались лишь 14 минут от «золотого часа», во время которого более высоки шансы пациента на спасение. Все это подтверждает необходимость создания четких, предельно коротких и концентрированных алгоритмов подготовки стационара к массовому поступлению пострадавших в ЧС.

1.6. Резюме

Планирование работы госпитального периода оказания скорой специализированной медицинской помощи в условиях массового поступления при чрезвычайных ситуациях техногенного, социального и биолого-социального характера занимает важное место в организации деятельности медицинской организации в новых условиях. Грамотный, алгоритмизированный подход к определению маршрутизации пациента на этапе СтОСМП, помогает избежать очередей, позволяет равномерно распределить нагрузку на всю медицинскую организацию. Существующий мировой опыт работы ED, аналогом которых является СтОСМП, также демонстрирует важность этих подразделений при оказании медицинской помощи при ЧС в условиях массового поступления пострадавших. С учетом возможностей и преимуществ имитационного моделирования для решения задач планирования представляется целесообразным его применение для

прогнозирования работы СтОСМП в различных условиях, требующих подхода, отличного от повседневного. Использование этой технологии позволит достоверно оценить текущую деятельность отделения, а также спрогнозировать возможные сценарии работы при массовом поступлении пациентов, а по результатам проведённых экспериментов сформулировать рекомендации по его работе в нестандартных условиях.

ГЛАВА 2

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В РАБОТЕ

Целью исследования было обосновать возможность применения имитационного моделирования для планирования деятельности стационарного отделения скорой медицинской помощи в повседневных условиях и при чрезвычайных ситуациях техногенного и биолого-социального характера.

Базами для выполнения настоящего исследования стали ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгограда и ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербурга. Первичный материал изучался на основании ретроспективных данных деятельности медицинских организаций, включавших в себя электронные медицинские карты стационарных больных, отчётные формы – «Сведения о медицинской организации» (форма N 30 (годовая)) и «Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях» (Форма N 14 (годовая)) и реестр выставленных счетов ТОФМС.

Для реализации поставленных задач была сформулирована программа планируемого исследования (табл. 1). Объектом исследования были выбраны СтОСМП данных медицинских учреждений. Предметом исследования был процесс медицинской сортировки, маршрутизации пациентов в отделении и оказания им скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи в условиях ЧС биолого-социального и техногенного характера. Единицами наблюдения были шесть разработанных карт статистического наблюдения: «Карта исходных данных», «Карты пациента», «Карты сценариев», разработанные на основании выгрузки из медицинских информационных систем (электронных журналов). При изучении работы врачей СМП стационара единицей наблюдения

являлись «Карты концептуальной модели», «Карты Тайм-менеджмента», после запуска первоначальной модели проводилась оценка ее адекватности с помощью «Карты тестирования модели». СЧЕТА

В процессе работы были изучена структура и функционирование СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград и ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург. Выбор данных отделений для проведения виртуальных экспериментов определялся различными задачами, которые решали данные медицинские организации в условиях ЧС. В первом случае СтОСМП входит в состав университетской клиники и осуществляет приём экстренных пациентов до 50 в сутки, во время пандемии оно выполняло роль приемного отделения Центра для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией. Второе отделение представляет собой новое здание, введенное в эксплуатацию 23 мая 2018 года, ставшее первым в России СтОСМП в отдельно стоящем корпусе, соединенным переходом с многопрофильным стационаром и осуществляющее приём 150 экстренных пациентов в сутки. Данная медицинская организация в условиях пандемии COVID-19 продолжала оказание медицинской помощи без изменения профильности. Третьим СтОСМП стало отделение на базе ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург, открытое 2 марта 2018 г. и принимающее ежедневно более 150 пациентов. Данный стационар является одним из ключевых в городе при оказании медицинской помощи в случае ЧС социального характера, что было продемонстрировано при теракте в метро 3 апреля 2017 г. Были рассмотрены режимы работы данных СтОСМП в рамках повседневной деятельности, а затем проведены эксперименты для оценки эффективности работы в условиях чрезвычайных ситуаций.

В процессе исследования были изучены следующие данные:

1. Монографии, учебная литература, научные статьи, нормативно-правовые акты – 192 источника;

2. Медицинская карта стационарного больного ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова 2016-2022 гг. - 5000;
3. Отчёт и электронный журнал СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург за события 3 апреля 2017;
4. Отчёт по работе СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больницаСтОСМП№25» г. Волгоград по работе 2015-2018 гг.;
5. Отчёт о работе СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больницаСтОСМП№25» г. Волгоград в период пандемии 2019-2021 гг.;
6. Сведения о медицинской организации (форма N 30 (годовая)) и Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях (Форма N 14 (годовая)) СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова 2020, 2021 гг
7. Карта исходных данных (Приложение А);
8. Карты пациента (Приложение Б);
9. Карты сценариев (Приложение В);
10. Карты концептуальной модели (Приложение Г);
11. Карта тайм-менеджмента (Приложение Д);
12. Карты тестирования модели (Приложение Е).
13. «Карта данных реестра выставленных счетов» (Приложение Ж)
Общее количество единиц наблюдения составило 32453.

Полученный исходный статистический материал был сведён в единую электронную базу данных исследования, в котором в строках отображали единицы наблюдений, соответствующие признаку графы (табл. 1). Были оценены признаки, влияющие на формирование очередей внутри отделения, такие как: способ поступления пациента, его тяжесть состояния, объём проводимых исследований, вероятность выполнения тех или иных лечебно-диагностических исследований, количество специалистов, участвующих в лечебном процессе, загруженность медицинского персонала, оборот койки и другие. По мере проведения исследования, формирования сценариев экспериментов база данных дополнялась.

В работе были применены следующие методики анализа: Историко-аналитический и контент-анализ, метод имитационного моделирования, статистический анализ. Согласно запланированной программы исследования деятельности СтОСМП в условиях чрезвычайных ситуациях социального, техногенного и биолого-социального характера проводилась детальная оценка всех этапов проводимой работы.

Таблица 1. Программа исследования

1 этап - изучение литературных источников по имитационному моделированию, нормативно-правовых актов по медицине чрезвычайных ситуаций, организации работы СтОСМП в повседневной деятельности, в условия биолого-социальных ЧС на примере пандемии COVID-19 и в условиях массового поступления при техногенных ЧС - 192 источника		
2 этап – формулировка проблемы и определение целей имитационного исследования, формализация имитационной модели, разработка концептуальной модели, выбор средств автоматизации моделирования, алгоритмизация.		
Базы исследования	СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград, СтОСМП СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург	Количество единиц наблюдения
Разработанные и использованные учетные документы	Медицинская карта стационарного больного ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова 2016-2022 гг.	21846
	Сведения о медицинской организации (форма N 30 (годовая)) и Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях (Форма N 14 (годовая)) СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова 2020, 2021 гг	1
	Отчёт и электронный журнал СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург за события 3 апреля 2017	1
	Отчёт по работе ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград в период пандемии 2019-2021 гг.	1
	Отчёт по работе ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград по	1

	работе 2015-2018 гг.	
	Карта исходных данных	5000
	Карты пациента	5000
	Карты сценариев	8
	Карты концептуальной модели	3
	Карта тайм-менеджмента	250
	Карты тестирования модели	240
	«Карта данных реестра выставленных счетов»	1
3 этап - Программирование имитационной модели, проведение верификация модели, оценка адекватности, исследование свойств имитационной модели и другие процедуры комплексного тестирования разработанной модели, планирование и проведение организационного эксперимента		
Анализ отчетных данных	Медицинская карта стационарного больного ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова 2016-2022 гг.; Отчёт и электронный журнал СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург за события 3 апреля 2017; Отчёт по работе ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград в период пандемии 2019-2021 гг. ; Отчёт по работе ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград по работе 2015-2018 гг. Отчёт и электронный журнал СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург за события 3 апреля 2017	
Заполнение разработанных учетных документов	6 видов карт исследования, сплошной и выборочный методы наблюдения	
4 этап – анализ результатов организационных экспериментов		
Область исследования	Анализируемые документы	Методы исследования
Деятельность СТОСМП ЧС	Отчёт и электронный журнал СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург за события 3 апреля 2017, Ф-30 ков, Отчет 25 за ковид	Историко-аналитический и контент-анализ

Проектирование и моделирование работы СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова в повседневной деятельности и чрезвычайной ситуации биолого-социального характера	Карта исходных данных Карты пациента Карты сценариев Карты концептуальной модели Карта Тайм-менеджмента Карты тестирования модели	Метод имитационного моделирования, организационный эксперимент, статистический анализ
Проектирование и моделирование работы СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больница СтОСМП №25» г. Волгоград в повседневной деятельности и чрезвычайной ситуации биолого-социального характера	Карта исходных данных Карты пациента Карты сценариев Карты концептуальной модели Карта Тайм-менеджмента Карты тестирования модели	Метод имитационного моделирования, организационный эксперимент, статистический анализ
Проектирование и моделирование работы СтОСМП СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург в повседневной деятельности и чрезвычайной ситуации социального и техногенного характера	Карта исходных данных Карты пациента Карты сценариев Карты концептуальной модели Карта Тайм-менеджмента Карты тестирования модели	Метод имитационного моделирования, организационный эксперимент, статистический анализ
5 этап – формулировка выводов, разработка практических рекомендаций		
Общее количество единиц наблюдения		32453

На первом этапе было проведено изучение литературных источников, нормативно-правовых актов, мирового опыта функционирования ED, аналогом которого является СтОСМП, в условиях массового поступления пациентов при техногенных и биолого-социальных ЧС. Проанализирована методика имитационного моделирования, оценена её перспективность в предполагаемом исследовании. Изучен опыт применения методики имитационного моделирования в сфере здравоохранения. Рассмотрены

возможные программные продукты, на основании цели и задач выбран оптимальный из них. На данном этапе была реализована следующая первая задача - проанализирован мировой опыт применения имитационного моделирования для работы структурных подразделений медицинских организация.

На втором этапе исследования выполнена формализация имитационной модели, разработан план концептуальной модели, выбрано средство автоматизации моделирования, разработаны карты предполагаемого исследования. На этом этапе была выполнена вторая задача, которая заключалась в разработке и апробации имитационных моделей СтОСМП университетской клиники и многопрофильного стационара.

На третьем этапе исследования были созданы первичные виртуальные модели СтОСМП, осуществлено программирование имитационных моделей и оценка их адекватности, проведено исследование свойств и комплексное тестирование. По результатам данного этапа спланировано проведение имитационных экспериментов. На четвёртом этапе производилась обработка полученных данных всех экспериментов, сведение их в таблицы. По результатам третьего и четвертого этапов было выполнено сравнение полученных значений с исходными, в результате чего реализованы третья, четвёртая, пятая и шестая задачи: моделирование работы СтОСМП при ЧС биолого-социального характера при перепрофилировании и продолжении деятельности в прежнем режиме; изучение работы СтОСМП в условиях массового поступления при ЧС социального и техногенного характера.

На пятом этапе были сформулированы выводы, на основе которых были разработаны практические рекомендации по оптимизации работы стационарных отделений в условиях массового поступления при социальных, техногенных и биолого-социальных ЧС.

2.1. Программное обеспечение для проведения организационного эксперимента

Для работы мы выбрали программу FlexSim HealthCare, из серии программ Flexsim, разработанную в 2003г., которая является компьютерной средой для создания имитационных моделей здравоохранения. Данный продукт позволяет эффективно анализировать маршрутизацию пациентов. 3D-визуализация FlexSim HC представлена новейшей графикой OpenGL, которая позволяет визуально оценить работу модели в реальном времени выявить и проблемы, провести эксперименты и оптимизацию цифровой модели.

Основным отличием данной программы является библиотека изображений, а большинство процессов системы построены вокруг пациента с момента его входа в имитационную модель и до его ухода. 3D-объекты FlexSim Healthcare и операции с потоками процессов упрощают создание различных имитационных моделей здравоохранения, таких как больницы, отделения неотложной помощи, клиники и т. д. Процесс создания включает в себя множественные элементы для формирования самой модели.

Как и в большинстве программ, главное меню содержит все инструменты и команды, которые вы можете использовать при построении имитационной модели (рис. 1).

Панель управления симуляцией (также иногда называемая для краткости панелью управления) содержит инструменты и команды, необходимые для запуска моделирования. Для создания 3D-модели интерфейс содержит группу инструментов для управления моделью, среди которых: панели управления и инструментов, библиотека и менеджер по отслеживанию пациента.

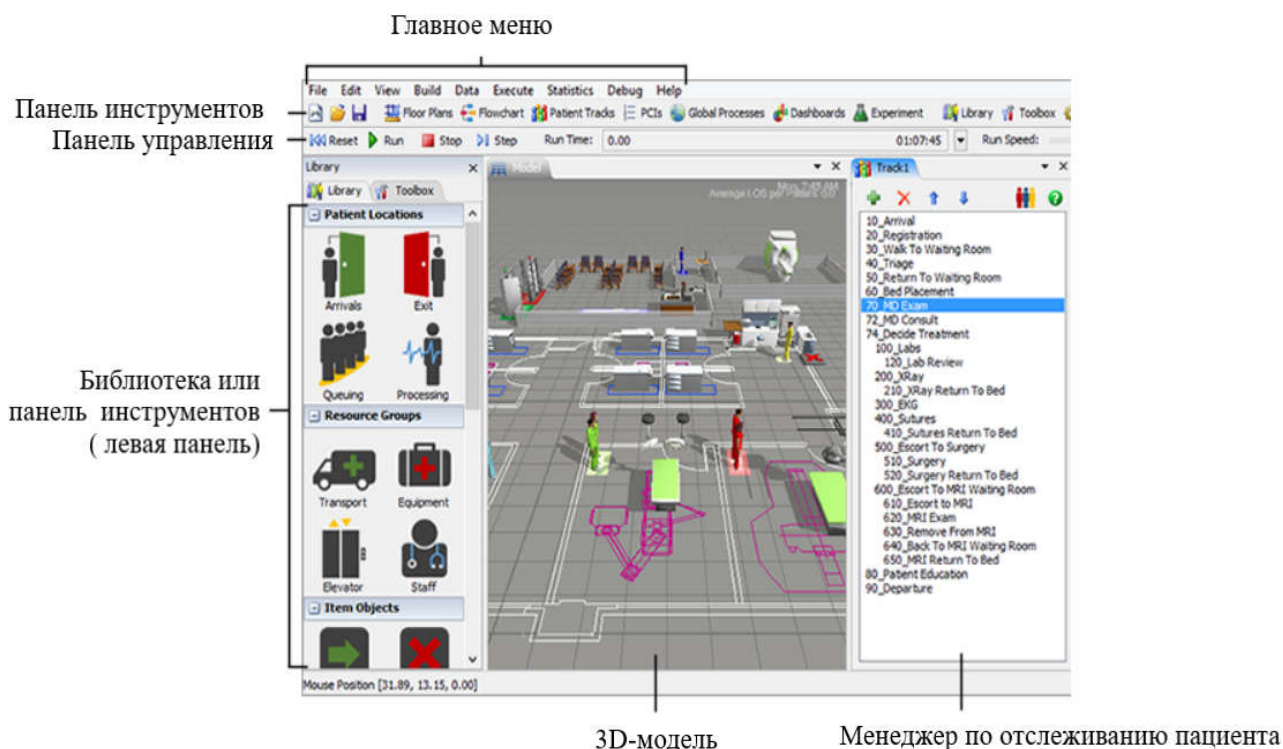


Рис. 1. Схема интерфейса программы Flexsim HC.

В модели есть 3 типа объектов, которые имеют разные цели и функции:

1. Элементы потока - объекты, которые перемещаются через имитационную модель, обычно из одной точки в другую. Они могут быть представлены пациентами, документами, деталями и любыми другими элементами.
2. Фиксированные ресурсы – объекты, которые остаются неподвижными в 3D-модели, такие как источник, очередь и т.д. Каждый фиксированный ресурс выполняет определенную функцию. Например, источник создает элементы потока через определенные промежутки времени и вводит их в модель (появление пациента).
3. Исполнители задач – объекты, которые могут перемещаться по модели и взаимодействовать с фиксированными ресурсами и элементами потока. Все исполнители задач имеют одинаковую базовую функциональность; основное различие между ними заключается в способе их перемещения. Они называются исполнителями задач, потому что им можно назначать задачи и последовательности задач.

Помимо этих трёх типов существуют вспомогательные типы объектов модели, такие как «визуальные», которые позволяют записывать анимацию и другие. К элементам потока в первую очередь относятся пациенты (Рис. 2), которые являются главными объектами при моделировании процессно-ориентированной модели.

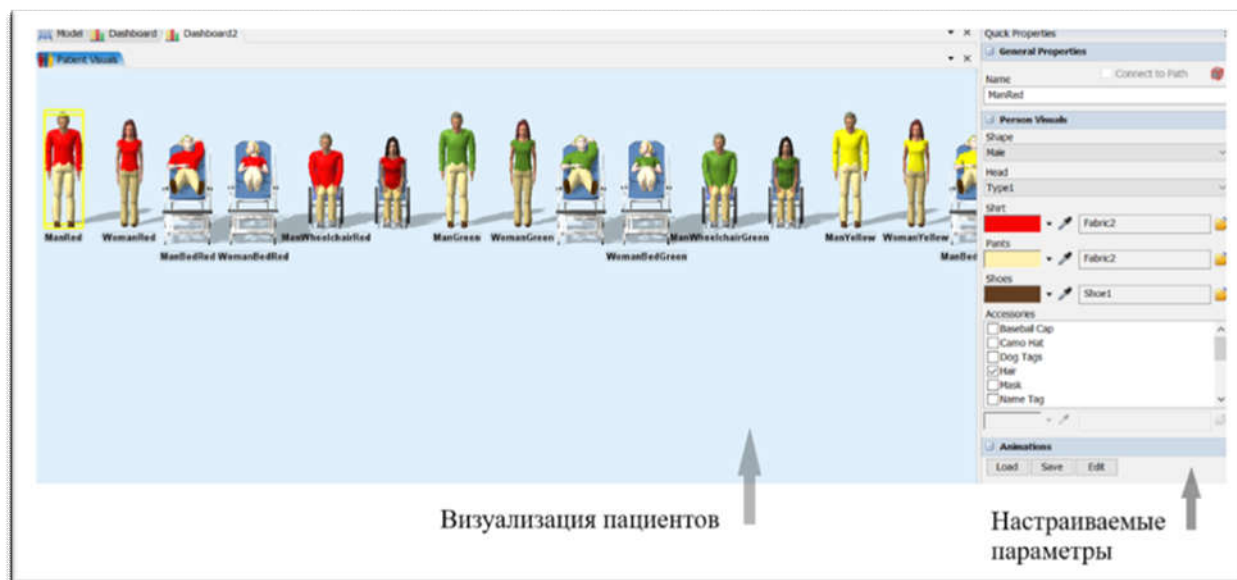


Рис. 2. Визуализация пациентов и настраиваемые параметры их изображения

Для наилучшего восприятия графических изображений у пациентов есть целая библиотека визуализации пациентов, которая также может быть индивидуально настроена под любые необходимые запросы.

Следующий элемент потока — это персонал, который будет перемещаться по 3D-модели, помогая пациентам и выполняя различные задачи по всей имитационной модели. Они могут взаимодействовать с пациентами, местоположениями, транспортом и оборудованием по мере необходимости. Согласно данным библиотеки, есть несколько групп медицинского персонала, среди которых уже настроены: анестезиолог, хирург, медицинские сестры, технические специалисты и т.д. (Рис. 3).

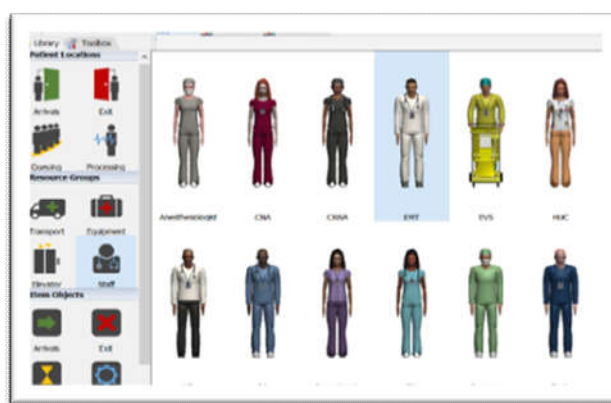


Рис. 3. Визуализация персонала из библиотеки изображений

Среди фиксируемых ресурсов надо отметить так называемые «адреса» объектов модели. Данные объекты являются местоположением, куда пациенты будут перемещаться и взаимодействовать с ними в зависимости от типа объекта, к которому они относятся. Обычно взаимодействие включает в себя изменение в визуальных или анимационных изображениях пациента, когда он прибывает, использует или покидает место. Данный вид объектов обычно при моделировании выполняет функцию процесса. Транспортные объекты являются следующим видом объектов и могут перемещаться по имитационной модели, перевозя пациентов из одного места в другое. Для их работы обычно требуется сотрудник, который назначается при написании алгоритма передвижения пациента. Среди транспортных средств различают два вида: те, что используются вне стен больницы (вертолёт, машина скорой помощи и др.) и те, что используются внутри больницы (сидячие и лежащие каталки).

Среди фиксируемых объектов необходимо выделить «Мульти-местоположение» — это место, содержащее группу связанных местоположений. Когда пациент пытается получить мульти-местоположение, может быть получено любое из отдельных местоположений в этой группе. Наиболее типичный многопозиционный объект — это набор стульев для представления зоны ожидания. Объекты очереди ожидания можно использовать в любом месте модели, где пациентам необходимо сформировать очередь для обслуживания.

У каждого описанного типа объектов есть определенные настройки (свойства), которые вы можете регулировать. Иногда библиотека отображает разные объекты в зависимости от инструмента, который в данный момент открыт и активен на центральной панели.

Объекты в имитационной модели должны быть каким-либо образом соединены, чтобы взаимодействовать во время моделирования через порты. В FlexSimHC есть два типа портов:

1. Порты ввода / вывода - эти порты определяют, как и когда элемент потока переходит от одной фиксированной точки к другой. Когда выходной порт подключен к входному порту другого объекта ниже по потоку, элемент потока будет передаваться из выходного порта первого объекта во входной порт следующего объекта (если этот порт не закрыт).
2. Центральные порты - при соединении центральных портов двух объектов создается опорная точка между этими двумя объектами. Центральные порты позволяют объектам обмениваться данными или взаимодействовать. Центральные порты чаще всего подключают фиксированный ресурс к исполнителю задач.

Помимо вышеописанных свойств параметров, среди них подразделяются следующие типы:

- Непрерывный тип, который требует назначения нижней границы и верхней границы. Значение может быть установлено любое число в инклюзивном диапазоне, определяемом двумя границами. Этот тип хорошо подходит для параметров, основанных на процентах. Например, может быть применен параметр «rate», который определяет процент заданий, которые необходимо переработать, или процент пациентов, подпадающих под определенную категорию.
- Целое число – тип параметра, при котором требуется нижняя граница и верхняя граница. Значение может быть установлено любое целое значение в инклюзивном диапазоне, определяемом нижней и верхней границами. Этот тип хорошо подходит для значений, которые могут быть только

целыми числами, таких как количество рабочих в модели или количество доступных инструментов.

- Дискретный – тип параметра, при котором требуется нижняя граница, верхняя граница и размер шага. Значение может быть установлено любое значение, которое находится на расстоянии n шагов от нижней границы, где n - неотрицательное целое число. Значение не может быть больше верхней границы. Этот тип хорошо подходит для значений, которые увеличиваются с шагом, отличным от 1, или которые начинают увеличиваться с нецелочисленного значения.
- Двоичный - тип параметра, который не требует никакой дополнительной информации. Его единственными возможными значениями являются 0 или 1. Данный тип хорошо подходит для значений, которые являются включенными или выключенными, истинными или ложными. Это актуально, например, при использовании для включения или выключения областей модели.
- Опция - тип параметра, позволяющий указать одно или несколько выражений в качестве возможных значений для этого параметра. При этом есть возможность задать значение в виде целого числа от единицы до указанного вами количества параметров. Тип опции полезен при выборе между альтернативами, когда альтернативы не упорядочены, например, для выбора между двумя планировками этажей.
- Последовательность – тип параметров, при котором требуется длина последовательности, которая должна быть целым числом, большим нуля. Значение может быть задано только в виде массива чисел. Этот массив должен содержать все значения от 1 до n , где n - длина последовательности. Кроме того, каждое значение может содержаться только один раз, так что массив имеет длину n . Тип последовательности хорошо подходит для упорядочения последовательности заданий. Этот тип значений предназначен для использования с оптимизатором, где

может потребоваться оптимальная последовательность заданий, чтобы избежать времени переключения.

- Выражение – тип параметров, который может быть установлен на любое допустимое выражение FlexScript. Этот тип хорошо подходит для распределений, таких как скорость прихода пациентов или время обработки.

Следующим важнейшим компонентом имитационной модели является создание логики, которая отражает имитационные события на модели, происходящие при взаимодействии 3D-объекта с элементами потока во время моделирования. Чтобы управлять логикой необходимо более глубокое понимание событий, состояний и триггеров. Эти три концепции являются основой для моделирования логики любой моделируемой системы.

Первый компонент – «события» в FlexSimHC. Они моделирует логику реальных событий, используя стандартные события моделирования на 3D-объектах. Каждое событие в моделирования можно представить, как фрагмент запрограммированной логики, который сообщает 3D-объекту, как взаимодействовать с элементами потока. Программа позволяет изменить логику и поведение 3D-объектов при возникновении этих событий, чтобы сделать их более похожими на реальность. «События» моделирования будут происходить в одной и той же последовательности каждый раз, когда 3D-объект взаимодействует с элементом потока.

Типичные примеры событий, которые происходят в реальных системах:

- Прибытие пациента
- Прибытие партии материалов
- Транспортировка
- Поломка машины или аппаратуры

В этом случае процессор получает элемент потока, обрабатывает его, затем отправляет элемент следующему нижестоящему объекту. Во время каждой из этих трех фаз может произойти несколько различных событий

моделирования, некоторые из которых могут быть не видны в 3D-модели во время выполнения моделирования, однако влияют на общую статистику. В процессе работы можно настроить процессор на использование логики, которая сделает его поведение более похожим на реальность. Время настройки и обработки может быть заданным промежутком времени, случайным промежутком времени, основанным на статистическом распределении, или может зависеть от определенных динамических условий. Конкретная последовательность событий будет зависеть от того, к какому классу относится объект (например, является ли он фиксированным ресурсом или исполнителем задач). Помимо этого, каждый тип 3D-объекта будет иметь несколько дополнительных событий, уникальных для его типа.

Следующий элемент, влияющий на логику модели – это так называемые «состояния». Когда события происходят в реальной системе, они иногда приводят к изменению состояния этой системы. Например, когда компьютерный томограф выполняет исследование, он находится в «состоянии работы». Когда он свободен - находится в «состоянии ожидания». Он также может находиться «в нерабочем состоянии» во время его поломки или ремонта. Или другой пример, персонал может находиться в «состоянии перемещения» во время перемещения от одного пациента к другому или в «состоянии использования», что означает работу над определенной задачей. «Состояния» обычно важны для статистики и сбора данных. Например, можно проанализировать соотношение времени, в течение которого персонал находится в загруженном состоянии, в пути и ожидании, чтобы определить, насколько эффективна моделируемая система. Кроме того, можно вызвать определенные события, когда объект меняет состояния или переходит в определенное состояние. Например, когда какая-либо аппаратура не работает, он может отправлять сообщение, которое запускает последовательность задач и событий восстановления.

Ещё одним компонентом логики модели являются триггеры. Многие события и статистические изменения в имитационной модели связаны с

конкретным триггером. Триггер — это логика, которая реализуется всякий раз, когда это событие происходит в модели. Каждому триггеру можно назначить логику, что означает, что при срабатывании этого триггера он вызовет цепную реакцию других поведений или событий. Определенные события на модели связаны с конкретными триггерами. Например, при создании сортировки, в установленных случаях будет меняться поведение пациента относительно маршрутизации в модели и (или) изменится цвет одежды. Все эти настройки указываются во вкладке процессора модели или могут быть прописаны с помощью FlexScript.

Помимо вышеописанных элементов в FlexSim HC есть возможность добавлять различные уровни приоритета к запросам на персонал, местоположение, оборудование и транспортные ресурсы в потоке пациентов. Уровни приоритета помогают определить наилучший способ распределения ресурсов, когда их может быть ограниченное предложение. В программе FlexSim HC устанавливается принцип вытеснения, когда одно действие прерывается действием, которое является более важным или имеет приоритет. В этом случае необходимо указать нужные приоритеты выполняемых задач для персонала на модели.

Почти все 3D-объекты и операции технологического процесса автоматически собирают стандартный набор статистических данных во время запуска имитационной модели. Большинство фиксированных ресурсов собирают статистику содержимого, благодаря чему отслеживается, сколько элементов потока в данный момент содержит объект, а также его минимальное, максимальное и среднее содержимое.

В дополнение к стандартной статистике, доступной для каждого объекта, можно использовать шаблоны диаграмм для сбора широкого спектра других статистических данных, которые обычно интересуют разработчиков имитационного моделирования. Перечень категорий стандартной статистики, доступной для 3D-объектов и операций

технологического процесса или с помощью шаблонов диаграмм достаточно разнообразен (Табл.2).

Таблица 2.

Шаблоны диаграмм для сбора широкого спектра статистических данных

Категория	Отслеживание
Содержание	Отслеживает количество элементов потока в 3D-объектах или количество токенов в действиях потока процесса. Статистика по умолчанию может предоставить вам текущее, минимальное, максимальное и среднее содержимое 3D-объекта.
Состояние	Отображает текущее состояние 3D-объекта. Например, процессор имеет состояние ожидания и состояние обработки, а также несколько других возможных состояний.
Время пребывания	Отслеживает время, в течение которого элемент потока остается в фиксированном ресурсе. Статистика по умолчанию может дать вам минимальное, максимальное и среднее время пребывания.
Пропускная способность	Отслеживает, сколько элементов потока или токенов проходит через 3D-объект или действие потока процесса. Статистика по умолчанию может предоставить вам текущие входные и выходные данные объекта или действия.
Путешествия	Отслеживает общее расстояние, пройденное исполнителем задачи, измеренное в единицах расстояния моделирования, которые вы использовали при первой настройке имитационной модели.

Во время запуска модели эти диаграммы отражают состояние модели при настроенной логистике, что позволяет визуально оценить адекватность модели, а также начать анализ статистических данных (Рис.4).



Рис. 4. Анализ диаграмм

Одним из первых шагов при создании имитационной модели является создание или импорт поэтажного плана объекта, который планируется моделировать. Поэтажный план позволяет привязать имитационную модель к физическим реалиям объекта, а также сориентировать по расстояниям между двумя объектами. Последнее иногда может влиять на качество исходных данных, например, это может изменить время, необходимое для транспортировки элемента потока или перехода из одного места в другое. Незначительные расхождения во времени могут постепенно накапливаться, вызывая искаженные результаты. Использование более четких поэтажных планов может помочь уменьшить некоторые из этих неточностей. Идеальным файлом поэтажного плана является чертеж AutoCAD, которые обычно имеют расширение файла *dwg*. В отсутствие этих данных возможно импортировать практически любой файл изображения, содержащий точный чертеж поэтажного плана. После внесения схемы необходимо обозначить границы помещений, которые наносятся поверх изображения. Затем на модель переносятся все объекты интересующей системы, а также

осуществляет соединение объектом между собой посредством специальных линий. Эти линии обеспечивают передвижение пациентов и персонала по модели, а также обеспечивают применение ресурсов для выполнения поставленных задач.

Следующим шагом при создании модели является составление алгоритма в специальной вкладке. Этот алгоритм будет отображать фиксируемые объекты, а также возможные пути следования элементов потока по модели. Саму схему алгоритма также можно редактировать для более удобного и визуального просмотра. Блок-системы алгоритма можно раскрашивать в различные цвета, возможно соединение объектов как в одном, так и в обратном направлении. После установки алгоритма, формируются входящие потоки пациентов, указывается вариант анимации пациента на входе в модель, способ его транспортировки, а также скорость передвижения по модели и активность.

Следующим необходимым моментом для функционирования модели является прописывание так называемых «треков» для пациента (Рис.5). В данных треках отражены последовательные мероприятия, согласно которым пациент самостоятельно или в сопровождении перемещается на модели, а также все те манипуляции и задачи выполняемые в процессе моделирования различных сценариев.

Перед запуском модели проводится установка периода наблюдения соответствующее минутам модельного времени, а также задается скорость воспроизведения анимации. После завершения строительства виртуальной модели, проводят неоднократную прогонку модели для устранения возможных ошибок, которые могли быть допущены при внесении, а в случае отсутствия таковых в модель вносятся исходные данные изучаемой системы.

По мере внесения данных проводятся также неоднократные прогоны модели совместно с визуальной оценкой получаемых данных и контроль текущей статистики проводится оценка модели на её адекватность. В

среднем, для определения годности модели проводится 100 прогонов для получения удовлетворительного результата.

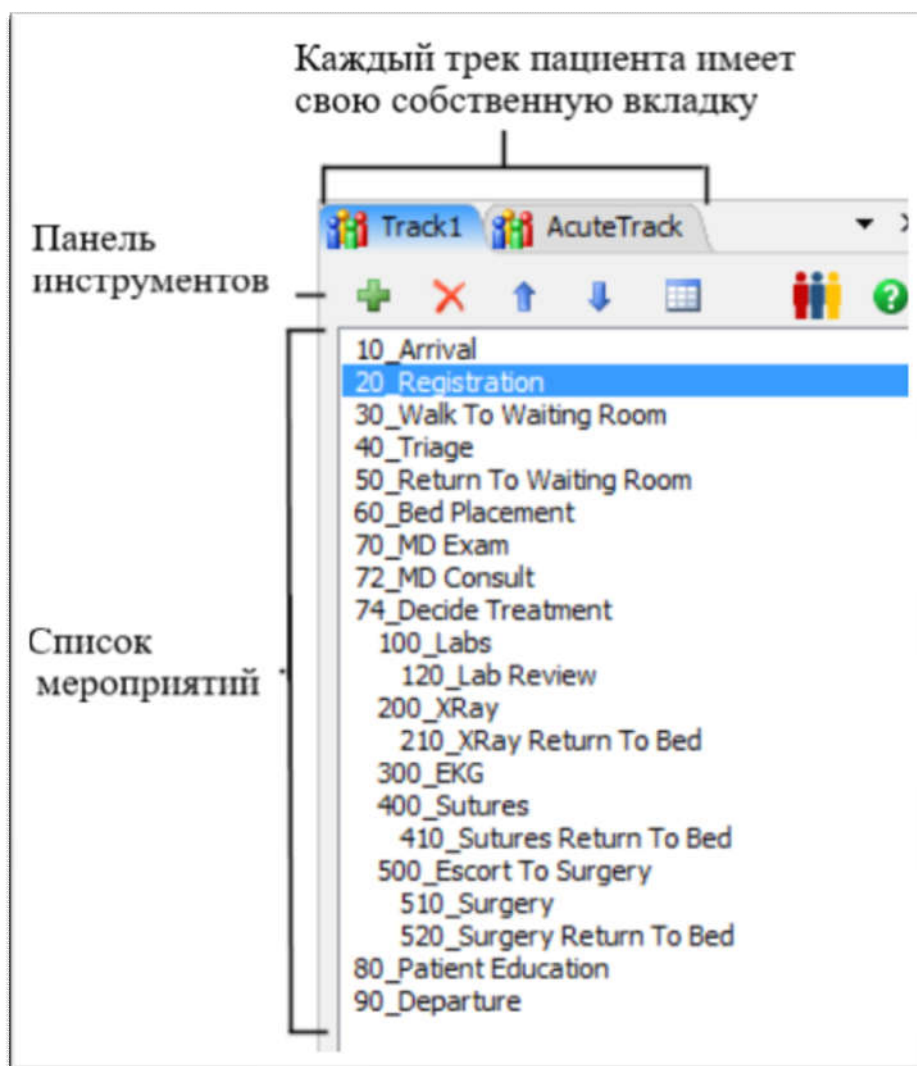


Рис. 5. Создание треков для пациентов.

2.2. Описание методов статистического анализа

Для обработки материалов исследования использовались методы параметрического и непараметрического анализа. Полученная информация была систематизирована и скорректирована, а также визуализирована в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016.

Для проведения статистического анализа была использована программа STATISTICA 13.3 (разработчик - StatSoft.Inc).

Для проверки соответствия количественных показателей нормальному распределению использовались критерии Шапиро-Уилка (для выборок менее 50) и Колмогорова-Смирнова (для выборок свыше 50), а также оценивались показатели асимметрии и эксцесса.

При описании количественных данных, имеющих нормальное распределение, были использованы вариационные ряды, которые позволили рассчитать среднее арифметическое значение (M), стандартное отклонение (SD) и 95% доверительный интервал (95%ДИ)

Совокупности количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, были описаны с помощью значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1-Q3).

Номинальные данные были описаны с указанием процентных долей и абсолютных значений.

При анализе количественных данных, распределенных нормально, для сравнения их средних значений использовался тест Стьюдента (t-критерий), который вычисляется по формуле:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$

где: M_1 и M_2 – сравниваемые средние величины, m_1 и m_2 – стандартные ошибки средних величин, соответственно.

Для оценки значений t-критерия Стьюдента было проведено сравнение с критическими значениями. Различия между показателями считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Кроме того, было проведено сравнение номинальных данных при помощи критерия χ^2 Пирсона, который позволяет оценить наличие различий между фактическим количеством исходов или качественных характеристик выборки, в каждой категории, и теоретическим количеством, которое можно ожидать в изучаемых группах при справедливости нулевой гипотезы.

Первоначально было вычислено ожидаемое количество наблюдений в каждой ячейке таблицы сопряженности, так как была предположена нулевая гипотеза об отсутствии взаимосвязи. Для этого были перемножены суммы строк и столбцов (маргинальных итогов) и результат был разделён на общее количество наблюдений. Затем было вычислено значение критерия χ^2 , используя формулу:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

где i – номер строки (от 1 до r), j – номер столбца (от 1 до c) O_{ij} – фактическое количество наблюдений в ячейке ij , E_{ij} – ожидаемое число наблюдений в ячейке ij .

Значение критерия χ^2 сравнивалось с критическими значениями для $(r - 1) \times (c - 1)$ числа степеней свободы. Если χ^2 -значение критерия превышало критическое значение, то можно было сделать вывод о статистической связи между изучаемым риск-фактором и исходом при данном уровне значимости.

Если количество ожидаемых наблюдений в какой-либо ячейке четырехпольной таблицы было меньше 5, то для оценки степени значимости различий использовался точный критерий Фишера, который вычислялся по следующей формуле:

$$P = \frac{(A + B)! \cdot (C + D)! \cdot (A + C)! \cdot (B + D)!}{A! \cdot B! \cdot C! \cdot D! \cdot N!}$$

где A , B , C , D – фактические количества наблюдений в ячейках таблицы сопряженности, N – общее число исследуемых, $!$ – факториал, который равен произведению числа на последовательность чисел, каждое из которых меньше предыдущего на 1.

Если значение точного критерия Фишера P больше 0,05, это говорит об отсутствии статистически значимых различий. Если же значение p менее 0,05, то различия статистически значимы.

Для сопоставления средних значений, вычисленных для связанных выборок, был использован парный t-критерий Стьюдента, расчет которого производился по следующей формуле:

$$t = \frac{M_d}{\sigma_d / \sqrt{n}}$$

где M_d – средняя разность показателя в сравниваемых группах, σ_d – среднее квадратическое отклонение средней разности показателей, n – число исследуемых.

Сравнивались результаты парного t-критерия Стьюдента с критическими значениями. Если рассчитанное значение t- критерия было выше критического, то изменения показателей были считаны значимыми.

Для сравнения двух парных выборок использовался W-критерий Уилкоксона. Для каждого наблюдаемого случая вычислялась разность между соответствующими признаками. Затем изменения были упорядочены по модулю и полученным значением был присвоен знак («+» или «-»). Для каждого знака были присвоены ранги, которые затем были суммированы. Была выбрана меньшая сумма рангов (w), которая была сравнена с критическим значением w-критерия. Если значение w было меньше или равно критическому, сделан вывод о наличии статистически значимых различий между сравниваемыми выборками.

С целью исследования взаимосвязи между явлениями, представленными количественными данными с распределением, отличным от нормального, применялся непараметрический метод - вычисление коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Для этого каждому из анализируемых показателей был присвоен порядковый номер (ранг), который был определен по возрастанию или убыванию.

Затем для каждой пары значений, которые мы сопоставляем, была вычислена разность в их рангах (d). Далее, коэффициент Спирмена рассчитывался через использование данной формулы:

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Определение статистической значимости корреляционной связи проводилось посредством t-критерия, вычисляемого по формуле:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Если рассчитанное значение t при заданных степенях свободы и уровне значимости было меньше критического значения, то выводилось, что связь статистически не значима. В случае, если значение было больше, связь считалась статистически значимой.

Интерпретация значений коэффициента корреляции ρ производилась согласно шкале Чеддока (табл. 3).

Таблица 3.
Шкала Чеддока

Значения коэффициента корреляции	Характеристика тесноты корреляционной связи
менее 0,1	связь отсутствует
0,1-0,3	Слабая
0,3-0,5	Умеренная
0,5-0,7	Заметная
0,7-0,9	Высокая
0,9-0,99	весьма высокая

Все расчёты произведены на ноутбуке Acer Nitro 5 Intel Core i7 9750H 2.6 GHz в операционной среде Windows 10 Home [39, 40, 41, 43].

ГЛАВА 3

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ БИОЛОГО- СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

3.1. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи университетской клиники

При проведении моделирования деятельности СтОСМП Университетской клиники нами было выбрано СтОСМП ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, функционирующее с 2015 г. На момент проведения исследования в отделении были реализованы основные рекомендации Приказа Минздрава №388н, согласно которому врачебный персонал был представлен специалистами, сертифицированными по специальности «скорая медицинская помощь». Кроме того все врачи данного подразделения владели знаниями и навыками в рамках профессионального стандарта, включая выполнение ультразвукового скрининга, в том числе и легких.

3.1.1. Создание модели и оценка ее адекватности.

В режиме повседневной деятельности в течение суток в отделении работали 2 врача, 4 медицинских сестры, 2 санитаря и 1 медицинский регистратор. Длительность наблюдения пациентов в отделении не превышала 24 часов, после чего пациенты должны были быть переведены в профильное отделение, либо выписаны на амбулаторное лечение, либо должны были продолжить лечение на койках краткосрочного пребывания. Все койки в палатах интенсивной терапии и динамического наблюдения в СтОСМП были оснащены кислородными точками.

Для изучения предполагаемой работы отделения была создана первичная имитационная модель в программе FlexSimHC, которая отражала текущую работу отделения. Создание имитационной модели проводилось в несколько последовательных этапов. Первым этапом был выполнен сбор исходных данных для модели. Для этого производился анализ отчётных форм о деятельности ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова «Сведения о медицинской организации» (форма N 30 (годовая)) и «Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях» (Форма N 14 (годовая)) за 2019 г. Также было проведено детальное изучение 5000 электронных историй болезни, изучена частота и очередность выполняемых диагностических процедур, вычислено среднее время нахождения внутри отделения. Выполнен хронометраж всех исследований с целью определения продолжительности лечебно-диагностических мероприятий в СтОСМП. Изучался путь следования пациента с момента его поступления в отделения до выбывания его из отделения, с учётом различных веток решения. По результатам этого этапа была создана концептуальная модель работы отделения для трёх потоков пациентов: красного, жёлтого и зелёного (Рис 6).

Вторым этапом было создание собственно виртуальной модели. Для этого в программу был импортирован чертеж AutoCAD отделения, который позволил привязать имитационную модель к физическим реалиям объекта, в том числе по расстояниям между ними. После внесения схемы были обозначены границы помещений путём нанесения «элементов» стен поверх изображения. Следующим моментом в создании модели стало нанесение всех объектов интересующей системы, ключевым из них стал пациент. Для наилучшего восприятия графических изображений была выполнена индивидуальная настройка визуализации (выбран цвет одежды пациента, цвет кожи, длину волос, наличие дополнительных аксессуаров). Далее пациенты были сгруппированы согласно входящим потокам по способу их

передвижения. После этого выполнена установка входящих потоков пациентов согласно исследуемой системы.

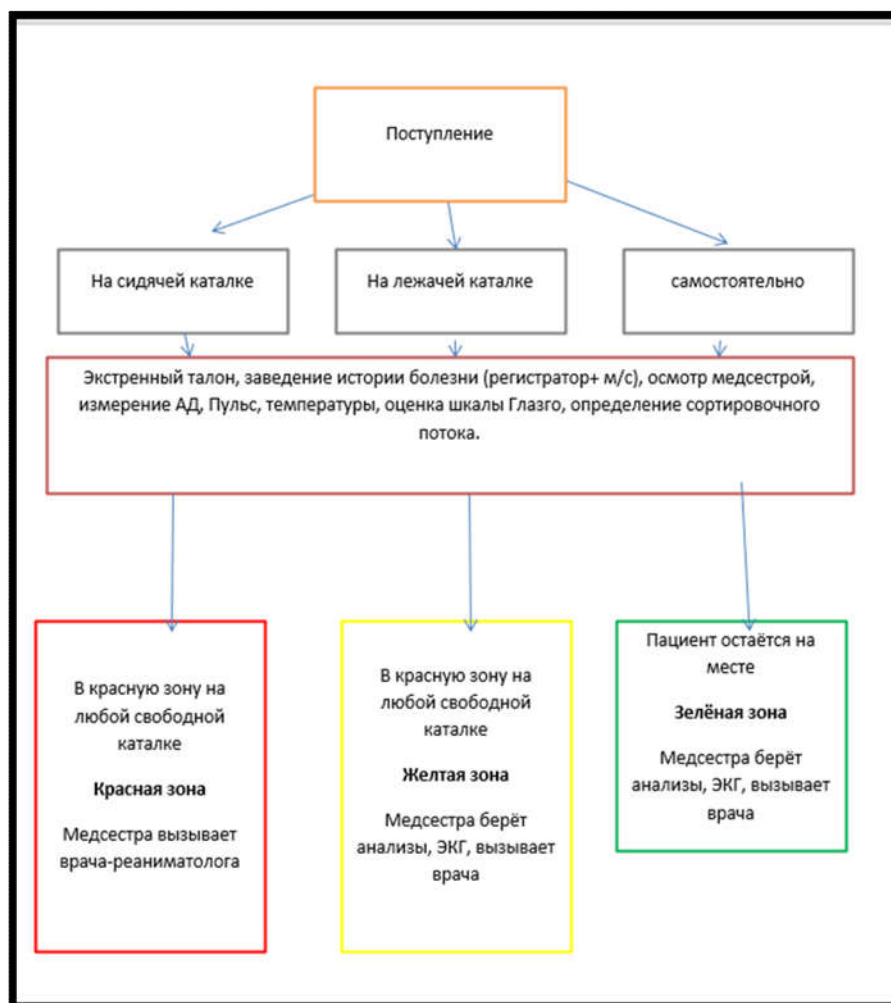


Рис 6. Концептуальная модель движения пациентов

Следующим объектом модели был персонал отделения и бригады СМП, доставляющие пациентов. Также, как и у пациентов, была реализована визуализация, в том числе с персонификацией по специальности. После внесения всех сотрудников были созданы их группы, которые выполняли одни и те же задачи на модели.

Кроме вышеописанных объектов на модель внесены адреса и транспортные средства (каталки). Следующим моментом было соединение объектов между собой посредством специальных линий, которые позволяли взаимодействовать всем объектам при запуске модели.

После того как все объекты были нанесены, а их параметры настроены, в программе был создан алгоритм имитационной модели, который отображал фиксируемые объекты, а также возможные пути следования элементов потока по модели. (Рис.7).

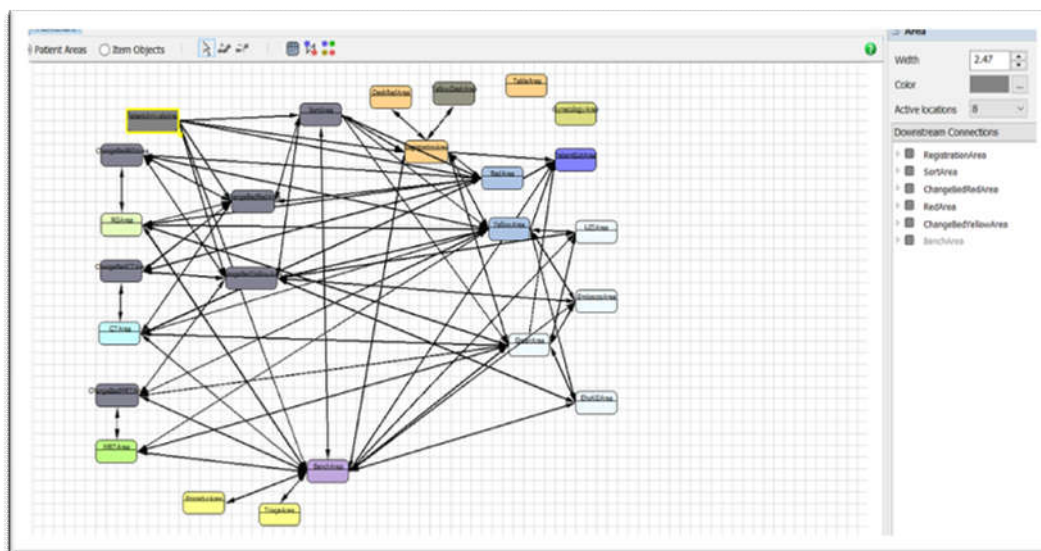


Рис 7. Алгоритм модели СтОСМП

Для пациентов, как основных объектов модели, был прописаны «треки». В данных «треках» были отражены последовательные мероприятия, согласно которым пациент самостоятельно или в сопровождении перемещался на модели. Также они содержали все манипуляции, которые были возможны в процессе моделирования различных сценариев. Надо отметить, что каждое мероприятие подразумевало под собой целый ряд последовательных действий и установленных параметров. В процессе заполнения «треков» была указана вероятность и условия развития того или иного события в будущем. Каждый момент данного списка фиксировался в статистике и по завершению запуска модели эти данные интегрированы в диаграммы. Вероятность возникновения того или иного события, а также пределы длительности времени, затрачиваемого на него, были выбраны по триангулярному распределению.

Основные параметры, полученные в результате анализа карт, были отражены в таблице 4. Эти данные были внесены в имитационную модель и регулировались в зависимости от задачи эксперимента.

Таблица 4

Основные параметры исходных данных деятельности СтОСМП
ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России

Событие		Продолжительность события	Частота события	
Триаж		5±2	1,0	
Заведение медицинской документации		3±1,5	1,0	
Забор анализов крови		5±3	1,0	
Первичный осмотр врача		7±2	1,0	
Повторный осмотр врача		10±3	1,0	
Лечебные манипуляции		45±12	1,0	
Консультация специалиста		10±3	0,8	
УЗ-скрининг		5±2	1,0	
УЗИ стационар		7±2	0,7	
Рентген		7±2	0,7	
Эндоскопия		15±4	0,5	
МРТ		42±3	0,2	
МСКТ		12,6±3	1,0	
Поступление пациентов	Время	max	min	moda
	7-17	70	45	65
	17-24	80	56	78
Штатное расписание	Штатная единица	Число сотрудников в смене		
	Врач	4		
	Медсестра	5		
	Медрегистратор	3		
	санитар	2		

Перед запуском модели была выполнена установка периода наблюдения, который соответствовал 43200 минутам модельного времени (один месяц реального времени), а также была задана средняя скорость воспроизведения анимации. После завершения строительства виртуальной модели были проведены ее итерации для устранения возможных ошибок. После завершения тестирования в модель были внесены исходные данные изучаемой системы. По мере внесения данных также проводились многократные итерации совместно с визуальной оценкой получаемых данных и контроль текущей статистики. После завершения этого этапа была проведена оценка модели на её адекватность путём 100 повторений для получения удовлетворительного результата.

3.1.2. Имитационный эксперимент работы стационарного отделения скорой медицинской помощи университетской клиники в условиях перепрофилирования под приём пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19

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 НИИ хирургии и неотложной хирургии ФГБОУ ВО ПСПБГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России был создан Центр для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 (далее – Центр).

В Центре предполагалось организовать работу 250 коек для пациентов инфекционного профиля, включая койки реанимационного профиля. Приемное отделение решено было создать на базе СтОСМП.

Ключевой проблемой деятельности ковидных стационаров в г.Санкт-Петербурге на тот момент стали многочасовые очереди из бригад СМП, ожидавших возможности передачи пациентов с COVID-19 в приемные отделения. Для предотвращения этого на этапе планирования работы Центра решено было провести организационный эксперимент с построенной ранее моделью отделения.

При планировании работы СтОСМП в условиях ЧС биолого-социального характера на основании действующих на тот момент Временных рекомендаций по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекцией COVID-19 [1, 2, 3, 49] и опубликованный международный опыт приема, обследования и лечения пациентов с подозрением на COVID-19 [107, 110, 161, 171, 191, 192] был разработан алгоритм маршрутизации пациента, поступающего с подозрением на новую коронавирусную инфекцию (Рис 8).

В нем были использованы все преимущества СтОСМП перед приемным отделением: самостоятельная сестринская сортировка, возможность автономного УЗ-скрининга врачом СМП, наличие большого числа коек, в том числе реанимационных, оснащенных O_2 . Ключевым методом исследования на тот момент считалось выполнение (МСКТ) органов грудной клетки, поэтому было предположено, что кабинет МСКТ станет основным местом формирования очередей внутри отделения, что также подтверждалось опытом работы других медицинских организаций.

Для быстрого приема пациентов, снижения очередей возле кабинета МСКТ, равномерного распределения потоков пациентов внутри отделения планировалось проводить медицинскую сортировку с оценкой параметров гемодинамики и респираторной функции.

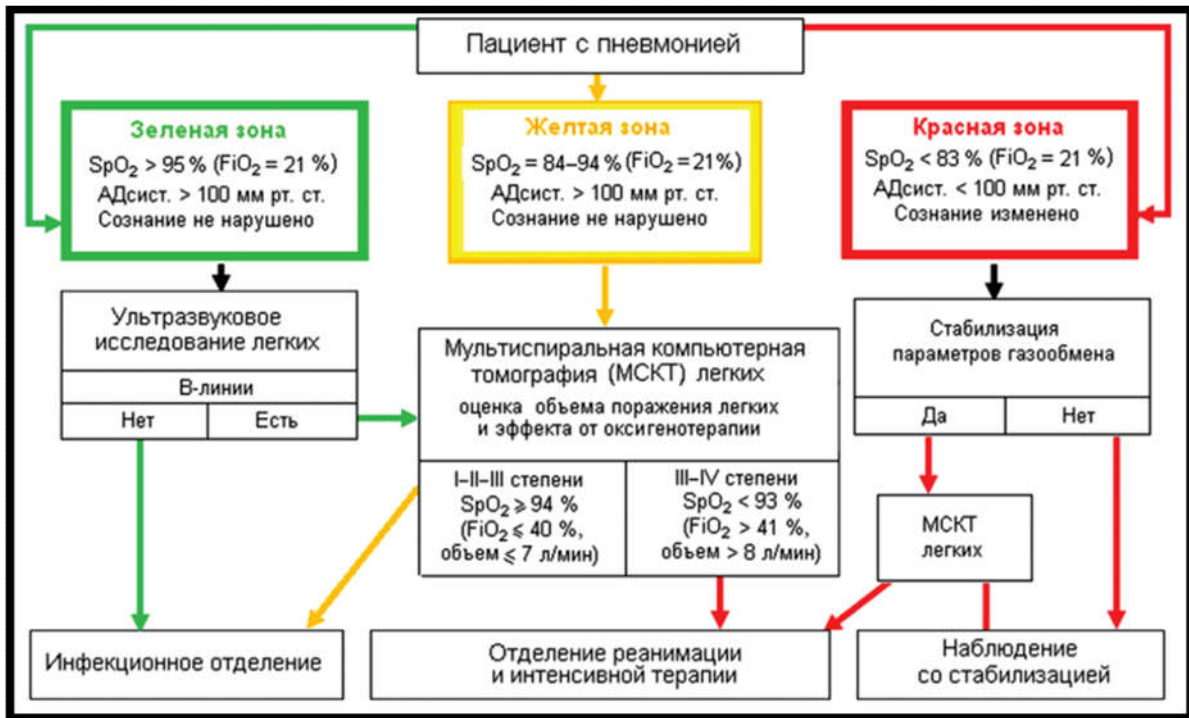


Рис 8. Разработанный алгоритм приёма пациента в СтОСМП с подозрением на новую коронавирусную инфекцию (COVID-19).

Выполнение ультразвукового скрининга лёгких на входе должно было определить приоритеты выполнения данного исследования у поступающих пациентов. В случае отсутствия УЗ-признаков поражения лёгких пациентов планировалось переводить в инфекционное отделение, а МСКТ данной группе выполнить в отсроченном порядке в течение суток, когда диагностическая служба менее нагружена.

Согласно предоставленным ГССМП г. Санкт-Петербург данным о предполагаемом потоке поступающих пациентов по тяжести состояния, было предсказано следующее распределение больных: 10% - в тяжелом состоянии, требующих реанимации, 70% - в средней степени тяжести и 20% - с легкими симптомами. С учётом коечной емкости стационара предполагалось поступление до 150 пациентов в сутки. На передачу пациентов от бригад СМП сотрудникам приёмного отделения Центра предполагалось затрачивать не более 5 минут. Поступление новых пациентов в модель было установлено согласно случайному распределению, это означало, что одновременно на пандусе могло оказаться неопределенное количество экипажей скорой

медицинской помощи. После установки предполагаемых параметров, выполнен запуск модели, с учётом предполагаемой максимальной загрузки в первые 2-е суток.

Согласно данным программы в первые сутки модель функционировала без ошибок, однако персонал был задействован с запредельной нагрузкой, достигавшей 98% модельного времени. При такой интенсивности на вторые сутки в модели начали формироваться очереди на этапе медицинской сортировки от 5 и более пациентов, время нахождения в отделении пациентов также нарастало до $135 \pm 4,6$ минут, а длительность ожидания бригады СМП до передачи пациента постепенно, но постоянно увеличивалась, достигнув $43 \pm 3,6$ минут (рис 9.).

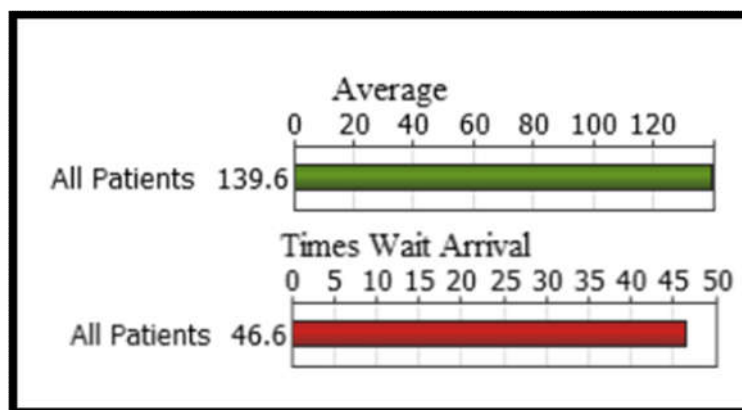


Рис 9. Начальный компьютерный расчет продолжительности ожидания на этапах оказания помощи

Для решения этой проблемы была проведена серия экспериментов с многочисленными итерациями до выявления оптимального соотношения штатных сотрудников отделения. В результате выяснилось, что для адекватной работы модели потребовалось расширение штата до 4-х бригад врачебно-сестринского состава, трех медрегистраторов, а также выделением дополнительной сортировочной медицинской сестры. Данное число сотрудников позволило принять максимально 164 пациента в течение суток модельного времени без формирования очередей, при этом длительность нахождения машин СМП возле СтОСМП составила $5,8 \pm 0,3$ мин, время пребывания больных в отделении была около $110,6 \pm 4,6$ минут (рис 10).

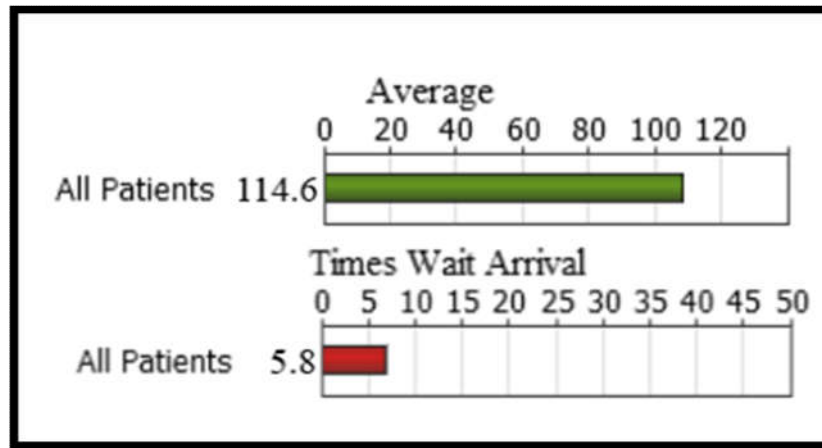


Рис 10. Окончательный компьютерный расчет продолжительности ожидания на этапах оказания помощи.

При этом за время нахождения пациента в отделении ему выполнялся весь предполагаемый спектр диагностических и лечебных мероприятий.

Полученные данные были использованы при создании штатного расписания перепрофилированного СтОСМП. Через месяц после начала работы был проведён ретроспективный анализ данных поступавших пациентов. Среднее время пребывания пациентов в отделении составило $115 \pm 5,8$ минут, что не различалось значимо от расчетных данных, полученных при проведении эксперимента на имитационной модели ($p > 0,05$). Коечный фонд Центра в течение первой волны COVID-19 был увеличен до 350, а в дальнейшем стационар принимал участие в приеме пациентов в последующих двух волнах. В ходе каждой из них созданное штатное расписание и выработанный алгоритм позволили принимать пациентов в реальной жизни без формирования задержек. Время ожидания бригад СМП во всех трех волнах составило $8,2 \pm 1,5$ мин, что при максимальной пиковой нагрузке 164 поступления в сутки значимо не отличалось ($p > 0,05$) от расчетных величин, полученных в эксперименте.

По мере снижения интенсивности поступления новых пациентов, происходило постепенное сокращение выводимых в смену сотрудников. К моменту полной загрузки Центра в приемном отделении посменно находился 1 врачебно-сестринская бригада и 1 медицинский регистратор.

3.2. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи многопрофильного стационара

3.2.1. Создание модели и оценка ее адекватности.

В режиме повседневной деятельности СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгограда принимает до 150 человек в сутки. Анализ работы осуществлялся ретроспективно на основании представленных форм «Сведения о медицинской организации» (форма N 30 (годовая)) и «Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях» (Форма N 14 (годовая)) за 2019 г. и отчётов по работе отделения за 2015-2021 гг. Суточное штатное расписание включало в себя 8 врачей, 8 человек среднего медицинского персонала, 5 санитаров и 3 регистраторов. В отделении осуществлялась первичная медицинская сортировка больных по шкале НИИ СМП им. Джанелидзе. В нем выделялись 4 функциональные зоны:

- зелёная зона (принимала 70% от входящего потока), состоявшая из регистратуры, зала ожидания, процедурной, сестринской сортировочной смотровой, смотровых кабинетов;

- жёлтая зона (принимала 27% от входящего потока), состоявшая из палаты динамического наблюдения на 7 коек;

- красная зона (принимала 3% от входящего потока), которая включала в себя операционный зал с предоперационной, а также палату реанимации и интенсивной терапии на 6 коек;

- диагностическая зона, которая включала в себя эндоскопии, рентген-кабинет, кабинет ЭКГ, кабинет ультразвуковой диагностики, малую операционную, гипсовый кабинет.

В первую очередь была создана цифровая модель в программе Flexsim HC. Аналогично предыдущему проекту в модель импортирован подготовленный чертёж AutoCAD. После были обозначены границы помещений и нанесены все объекты моделируемой системы, была обозначена их взаимосвязь (Рис. 11).



Рис. 11. Схема модели СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больниц скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград

Для пациентов в исследуемой системе, также были прописаны треки, указаны все необходимые параметры, вероятности возникновения тех или иных событий.

Основные параметры, полученные в результате анализа карт, были отражены в таблице 5. Эти данные были внесены в имитационную модель и регулировались в зависимости от задачи эксперимента. При имитационном моделировании продолжительность исследований была взята по результатам хронометража СтОСМП Павлова.

Таблица 5

Основные параметры исходных данных деятельности СтОСМП ГУЗ
«Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25»

Событие		Продолжительность события	Частота события	
Триаж		5±2	1,0	
Заведение медицинской документации		3±1,5	1,0	
Забор анализов крови		5±3	1,0	
Первичный осмотр врача		7±2	1,0	
Повторный осмотр врача		10±3	1,0	
Лечебные манипуляции		45±12	1,0	
Консультация специалиста		10±3	0,8	
УЗ-скрининг		5±2	1,0	
УЗИ стационар		7±2	0,7	
Рентген		7±2	0,7	
Эндоскопия		15±4	0,5	
МРТ		42±3	0,2	
МСКТ		12,6±3	1,0	
Поступление пациентов	Время	мак	мин	мода
	7-17	60	35	55
	17-24	90	67	81
Штатное расписание	Штатная единица	Число сотрудников в смене		
	Врач	8		
	Медсестра	8		
	Медрегистратор	3		
	санитар	3		

Следующим шагом было создание внутреннего алгоритма модели. Для этого в специальной вкладке модели указаны все фиксированные ресурсы, а также их взаимосвязи (Рис. 12)

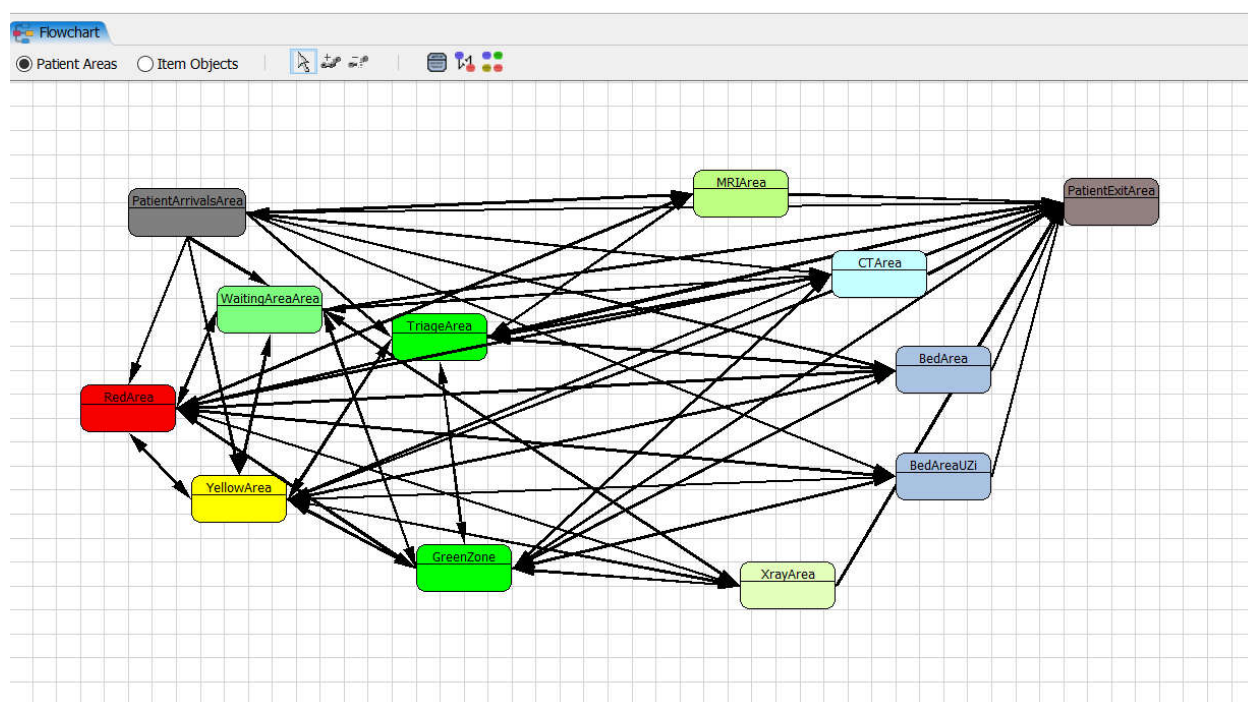


Рис 12. Алгоритм модели СтОСМП ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград

После завершения строительства виртуальной модели отделения, была проведена итерация модели с целью её корректировки. После того как тестирование было завершено, в модель были внесены исходные данные. Затем была проведена верификация и валидация данных и модели, в результате чего модель была признана адекватной и готовой для проведения на ней экспериментов.

3.2.2. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи многопрофильного стационара при оказании медицинской помощи в экстренной и неотложной форме в условиях пандемии

Развитие волн пандемии характеризовалось отсроченным их возникновением в регионах, удаленных от Москвы и Санкт-Петербурга

[139]. Одной из ключевых проблем стационаров мегаполисов стала необходимость изоляции пациентов с подозрением на новую коронавирусную инфекцию, поступивших с проблемами соматического характера.

Было известно, что ГУЗ «Городская клиническая больниц скорой медицинской помощи №25» г. Волгограда должно было продолжить оказание медицинской помощи в экстренных и неотложных формах по своему профилю вне зависимости от эпидемиологической обстановки в Волгоградской области.

Согласно данным, опубликованным на тот момент, число выявленных случаев в стационарах, продолжавших приём пациентов неинфекционного профиля в экстренной и неотложной формах, составил не более 5% от всех поступивших пациентов [139]. Запуск модели СтОСМП в этих условиях показал, что через 12 часов работа встала в виду формирования очередей (Рис 13).

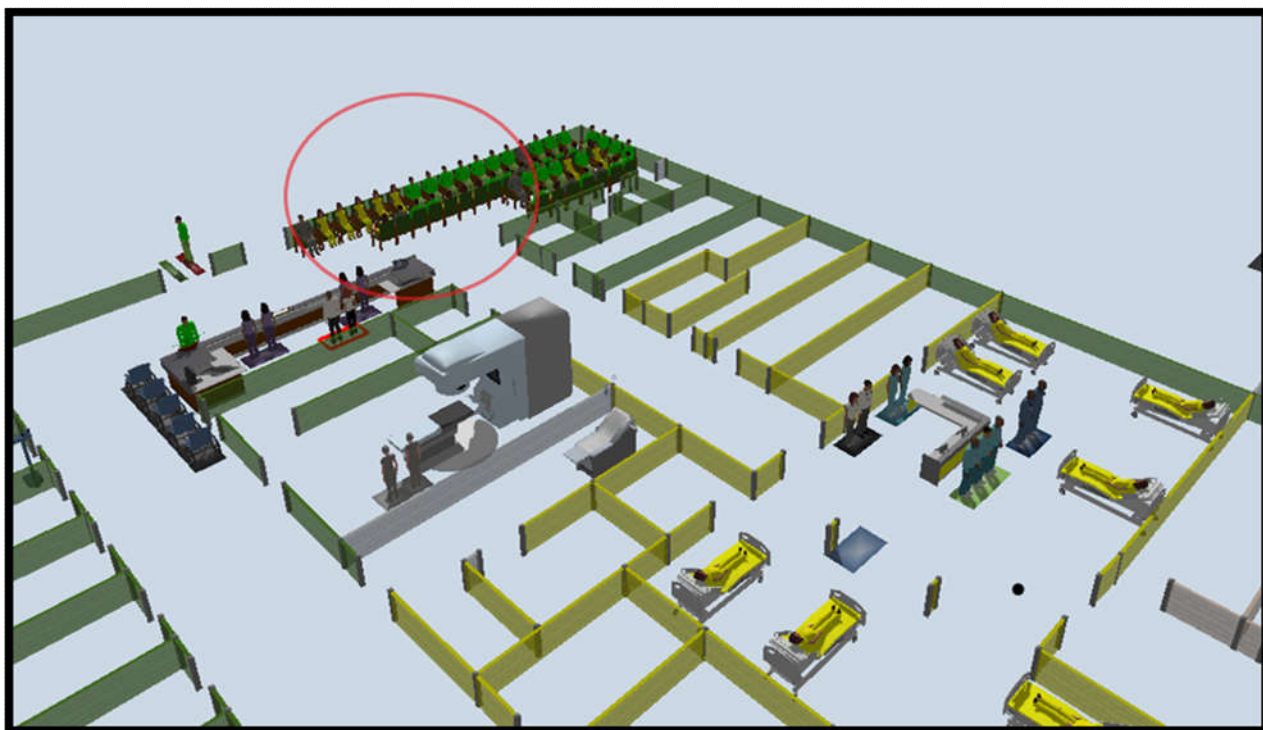


Рис. 13 Формирование очередей на модели в эксперименте работы СтОСМП многопрофильного стационара в условиях пандемии

Таким образом, была сформулирована проблема работы СтОСМП многопрофильного стационара, продолжавшего свою деятельность в условиях пандемии. Этой проблемой стала необходимость изоляции пациентов с подозрением на новую коронавирусную инфекцию до момента получения результатов ПЦР на SARS-COV-2, время выполнения которого составляло от 4 до 8 часов. Была выдвинута гипотеза о необходимости формирования пула наблюдательных коек в ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград в условиях пандемии.

Основной задачей для запланированных экспериментов стало определение необходимого числа наблюдательных коек, для чего в пространстве возле виртуального отделения было создано место наблюдения.

В модели было сформировано 10 наблюдательных коек, для работы с которыми был выделен 1 врач и 1 медицинская сестра, после чего был осуществлен запуск модели в тестовом режиме. Оценивалась загрузка этих коек «желто-зеленым потоком», исходя из того, что госпитализироваться на них будет 5% пациентов на срок от 4 до 8 часов. В течение первых суток было выявлено недостаточное количество наблюдательных коек и формирование очередей в их ожидании, что, в свою очередь, блокировало работу СтОСМП (рис 14).

Далее выполнялись эксперименты с постепенным увеличением числа коек и медицинского персонала. Многократные итерации, сверки статистических данных и визуальная оценка 3D-модели позволили определить, что необходимо число коек для данного потока больных является – 20, а для обеспечения их работы требуется одна врачебно-сестринская бригада.

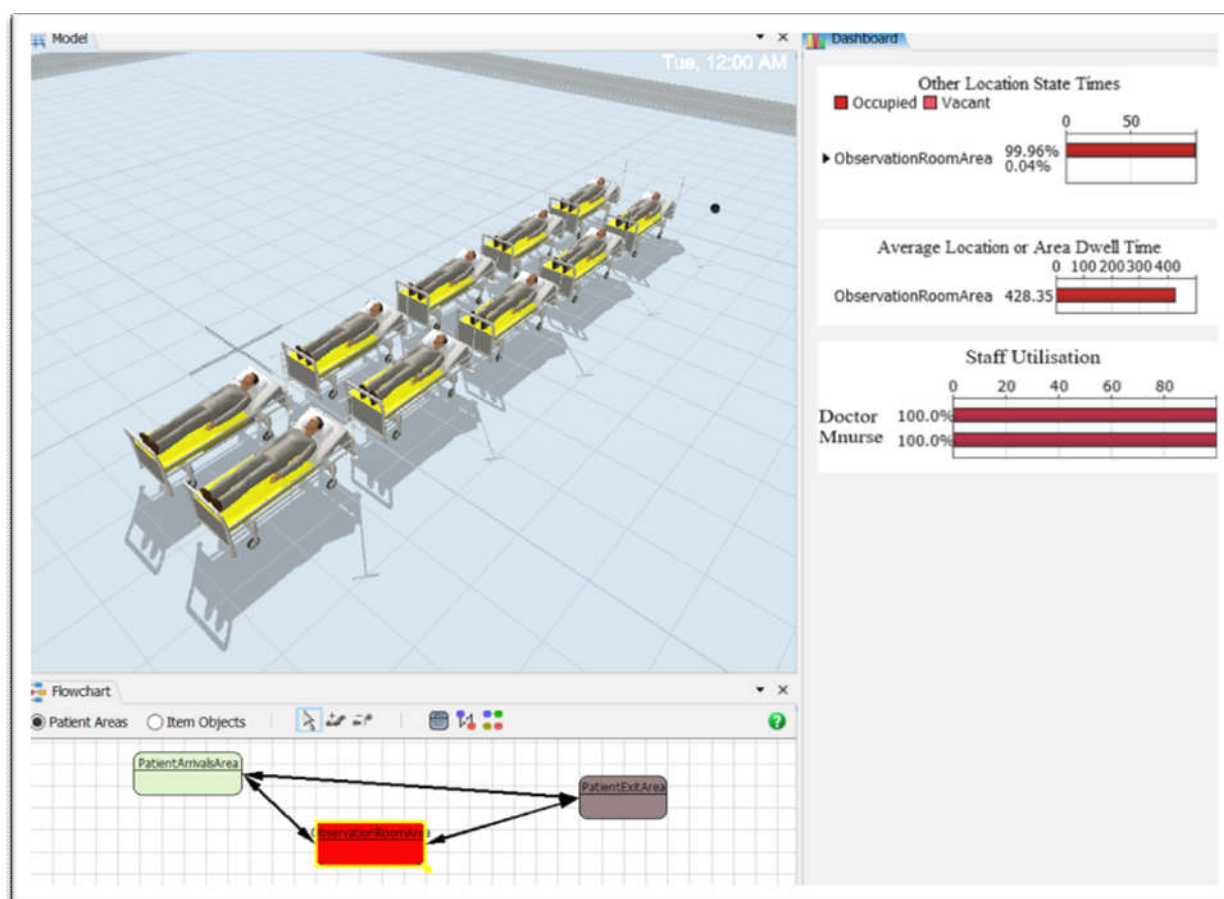


Рис 14. Работа отделения в условиях развертывания 10 обсервационных коек

Создание такого обсервационного отделения полностью разблокировало штатную работу СтОСМП, визуальные данные о формировании очередей полностью нивелировались (рис 15). Предполагалось, что пациенты из коек обсервации переводились как на отделения в случае отрицательного результата ПЦР на SARS-COV-2, так и в другие медицинские организации при подтверждении инфекции.

По результатам проведённого эксперимента были сформированы рекомендации для работы отделения СтОСМП «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгограда, в последующем реализованные на практике. После пандемии был проведён ретроспективный анализ деятельности обсервационных коек в период с мая по ноябрь 2020г. За этот период через обсервацию прошли 805 пациентов, что составило 5,3% от общего числа поступавших. 20-ти коек обсервации оказалось достаточно для продолжения работы стационара в штатном режиме.

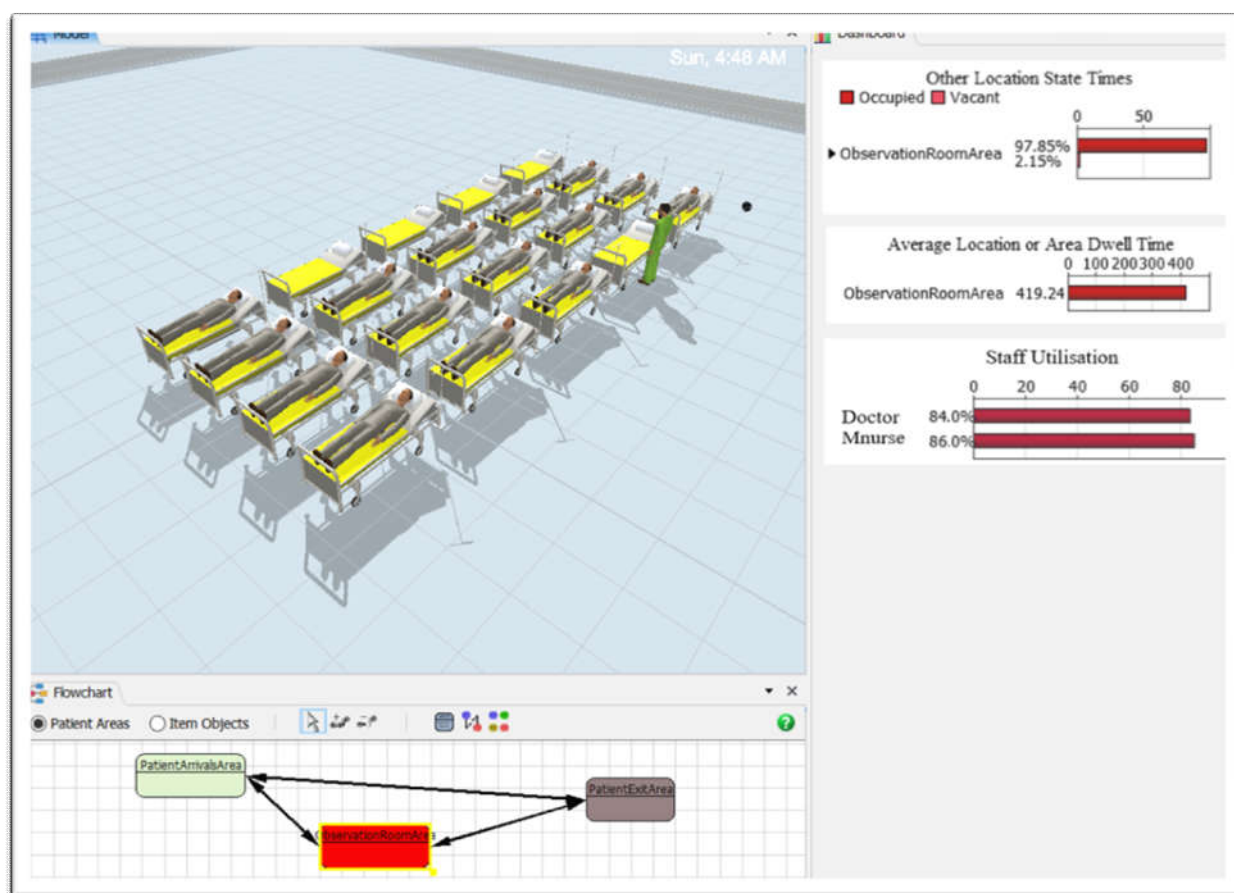


Рис 15. Работа отделения в условиях развертывания 20 обсервационных коек

Среди изолированных пациентов был выявлен положительны результат ПЦР в 367 случаев, что статистически не отличалось от расчетных данных, полученных при эксперименте на имитационной модели ($p > 0,05$).

3.3. Резюме.

Имитационное моделирование позволило осуществить расчёт нагрузки на медицинский персонал догоспитального и госпитального периодов в условиях ЧС биолого-социального характера при перепрофилировании медицинской организации в инфекционный стационар с последующей реализацией полученных данных на практике. Благодаря этому удалось избежать формирования очередей как из бригад скорой медицинской помощи, так и внутри приемного отделения. Разработанный алгоритм обеспечил разделение пациентов по степени нуждаемости в

технологиях, что также распределило нагрузку на диагностические службы. СтОСМП в условиях пандемии на практике продемонстрировало преимущества в приеме пациентов как за счет большого числа коек, оснащенных O₂, так и за счет дополнительных профессиональных компетенций среднего и врачебного медицинского персонала.

Также в серии экспериментов имитационное моделирование продемонстрировало свои возможности планирования работы многопрофильного стационара при возникновении ЧС биолого-социального характера на примере пандемии COVID-19, с сохранением оказания медицинской помощи в экстренной и неотложной формах за счет выделения обсервационных коек.

ГЛАВА 4

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ МАССОВОМ ПОСТУПЛЕНИИ ПОСТРАДАВШИХ

Ещё одной актуальной проблемой, с которой может столкнуться персонал СтОСМП, является массовое поступление пациентов при ЧС социального и техногенного характера. В данном случае ожидается изменение нагрузки, что может потребовать корректировки штатного расписания и коечного фонда. Для решения этой задачи также было решено применить имитационное моделирование с целью расчёта сил и средств, необходимых для оптимальной работы отделения в новых условиях. Для реализации модели нами было выбрано СтОСМП СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», которое располагается в центре города Санкт-Петербург и активно участвует в оказании скорой специализированной медицинской помощи.

4.1. Имитационное моделирование стационарного отделения скорой медицинской помощи СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больницы» в режиме повседневной деятельности.

Изначально проведён сбор данных деятельности СтОСМП, его структурной и функциональной особенности, проведено изучения входящего потока, действующих алгоритмов маршрутизации пациентов. Для формирования основных данных о поступающем потоке пациентов оценен КАРТА реестр выставленных счетов ТОФМС за 2019 г., согласно которому за указанный период через СтОСМП прошло 49114 пациентов, из которых 18195 были выписаны на амбулаторное лечение, а 37 были переведены в другие лечебные учреждения города. Преимуществом данного варианта сбора информации о деятельности медицинского учреждения стала привязка

к индивидуальному коду пациента, что позволило избежать каких-либо потерь данных, а также оценить нагрузку на стационар на этапе ретроспективного анализа.

Основные параметры, полученные в результате анализа карт, были отражены в таблице 6. Эти данные были внесены в имитационную модель и регулировались в зависимости от задачи эксперимента. При ИМ продолжительность исследований была взята по результатам хронометража СтОСМП Павлова.

Таблица 6.

Основные параметры исходных данных деятельности СтОСМП ГУЗ «Городская Мариинская больница»

Событие		Продолжительность события	Частота события	
Триаж		5±2	1,0	
Заведение медицинской документации		3±1,5	1,0	
Забор анализов крови		5±3	1,0	
Первичный осмотр врача		7±2	1,0	
Повторный осмотр врача		10±3	1,0	
Лечебные манипуляции		45±12	1,0	
Консультация специалиста		10±3	0,8	
УЗ-скрининг		5±2	1,0	
УЗИ стационар		7±2	0,7	
Рентген		7±2	0,7	
Эндоскопия		15±4	0,5	
МРТ		42±3	0,2	
МСКТ		12,6±3	1,0	
Поступление	Время	мак	мин	мода

пациентов	7-17	58	40	49
	17-24	100	65	79
Штатное расписание	Штатная единица	Число сотрудников в смене		
	Врач	6		
	Медсестра	5		
	Медрегистратор	3		
	санитар	3		

СтОСМП разделено на 3 функциональные зоны отделения: красная – палата интенсивной терапии, жёлтая – палата динамического наблюдения и зелёная – непосредственно приёмное отделение, оснащённое смотровыми и регистратурой. В повседневной работе отделение ежедневно принимает 156 ± 2 пациента, из которых по результатам обследований в 30% случаев происходит выписка пациента на амбулаторное лечение, в 15% случаев пациенты подаются в операционную РХМДЛ, в 40% пациентов после обследования в палате динамического наблюдения переводятся в различные профильные отделения, в 10% случаев - переводятся в отделения реанимации стационара и лишь в 5% случаев будут проходить обследования в условиях палаты интенсивной терапии СтОСМП (Приложение). Согласно штатному расписанию на протяжении суток в отделении работают: 6 врачей, 5 медицинских сестёр, 3 санитары и 2 регистратора. Работу в красной зоне курирует врач анестезиолог-реаниматолог, который в случае необходимости привлекается из отделения реанимации. В жёлтой и зелёной зонах работают врачи скорой помощи, терапевты, кардиологи и неврологи. Общая площадь зон отделения составляет 1000 м^2 , к отделению присоединён пандус площадью 32 м^2 . После обработки была сформирована концептуальная модель отделения, определены основные исследуемые объекты и их параметры, план функционирования объектов внутри нее.

Далее с помощью компьютерной программы была создана имитационная модель отделения, на которой обозначены основные зоны, пути следования входящего потока пациентов, нанесены основные объекты и штатные сотрудники. Затем, согласно представленным отчётам, на виртуальную модель был внесён внутренний алгоритм потенциальной маршрутизации пациентов и медицинского персонала. Входящий поток пациентов был установлен согласно данным, полученным при обработке данных, а частота поступления пациентов в виртуальное отделение по случайному распределению. В результате была сформирована виртуальная модель СтОСМП СПб ГБУЗ Городской Мариинской больницы и выполнен её запуск (Рис 16). В результате тестирования была достигнута удовлетворительная оценка визуальной картины модели и получаемых статистических данных (количество поступающих пациентов в сутки на модели составила 152 ± 4 ($p > 0,05$)), модель была признана адекватной.



Рис 16. СтОСМП СПб ГБУЗ Городской Мариинской больницы

Работа модели отражала реальная картину работы отделения. Было отмечено недостаточное использование красной зоны отделения, высокая нагрузка на жёлтую зону, а также формирование очередей до 5 человек возле диагностических кабинетов. При анализе проблемы формирования очередей выявлено, что при текущей работе отделения отмечается высокая нагрузка на санитаров, которая составила 93,22% от рабочего времени, осуществляющих

транспортировку пациентов на диагностические процедуры, что существовало и в реальной жизни (рис. 17).



Рис 17. Формирование очередей и перегрузка работой санитаров

Эти потребовало в модели добавить дополнительного сотрудника, после чего отмечено снижение нагрузки на младший медицинский персонал до 83,94%, что отразилось на снижении очереди у диагностических кабинетов до 3 человек (Рис.18). Однако сохранилась необходимость дополнительных лежащих каталок.

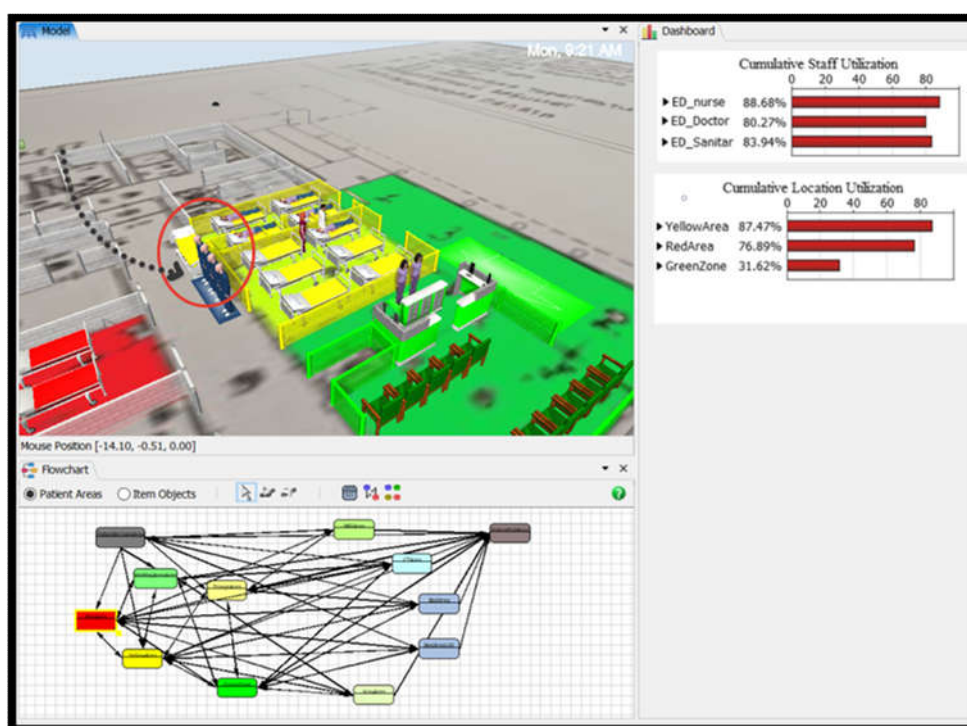


Рис 18. Оптимизация работы отделения (добавление каталки и санитаря)

Следующим моментом было принято решение о добавлении 1 кровати-каталки в жёлтую зону, которую можно использовать как дополнительное койко-место и в случае необходимости транспортировки лежащих пациентов. После итерации модели отмечено снижение очереди у диагностических кабинетов до 1 человека. Добавление койки также отразилось на перераспределении нагрузки в жёлтой зоне в целом. Однако, была выявлена значительная загрузка нагрузка среднего медицинского персонала палаты динамического наблюдения, составлявшая 88,68% от рабочего времени. Для снижения нагрузки на модель была добавлена ещё одна медицинская сестра, в результате после итерации было отмечено снижение нагрузки на средний медицинский персонал до 81% (рис.19).

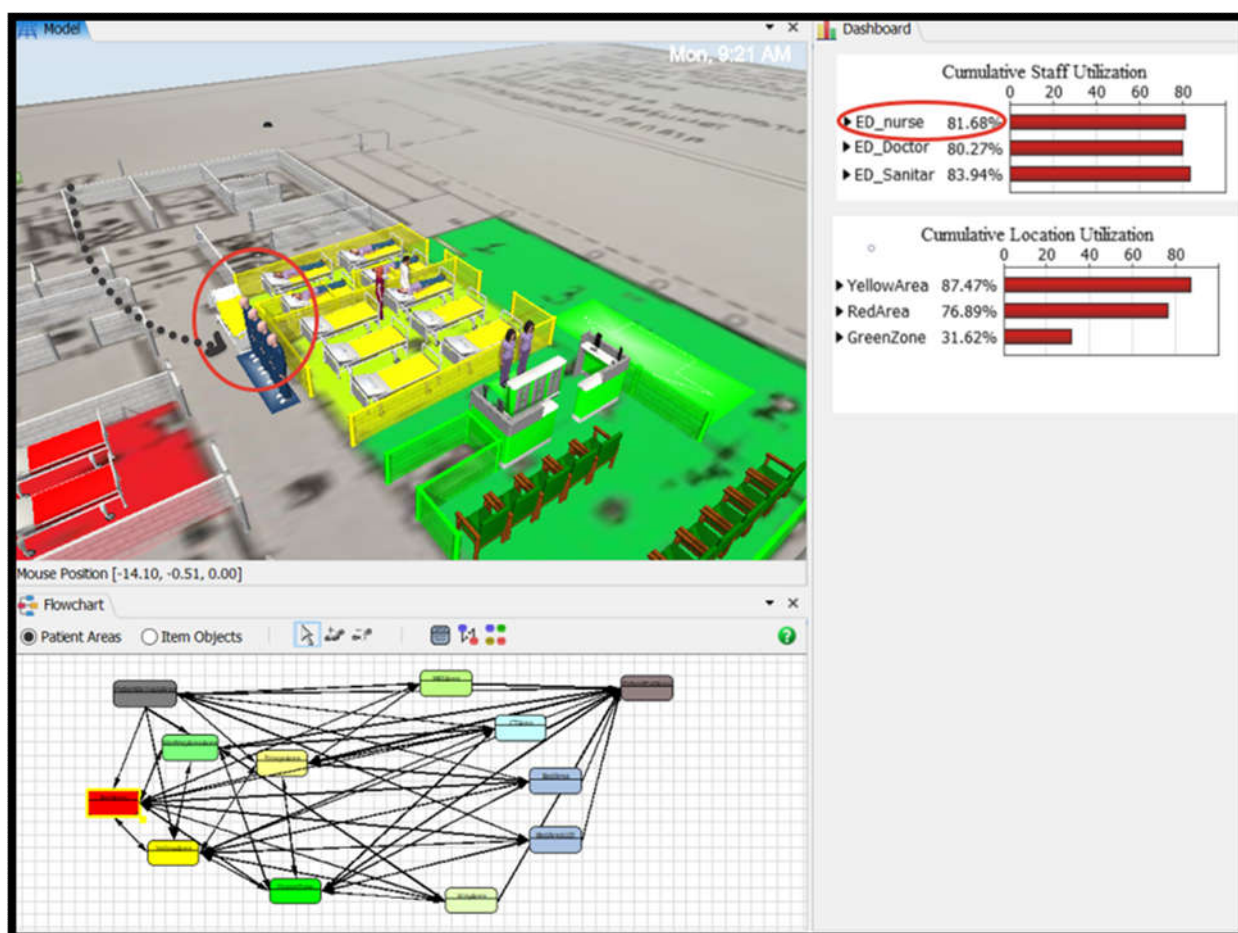


Рис 19. Оптимизация работы отделения (добавление медицинской сестры)

Таким образом путём добавления медицинского персонала и дополнительной койки была проведена оптимизация текущей работы. На

основании полученных данных были сформулированы практические рекомендации для работы отделения в режиме повседневной деятельности.

4.2. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи при террористическом акте

В связи с появлением в исследуемой медицинской организации СтОСМП возникла необходимость изучения готовности такого отделения к массовому поступлению пострадавших. Для этого нами был проведён виртуальный эксперимент массового поступления пациентов в СтОСМП СПб ГБУЗ Городской Мариинской больницы, на основе реального случая (взрыв в метро), произошедшего 2017 г. в г. Санкт-Петербурге. Данный стационар принимал участие в оказании помощи пострадавшим в этой ЧС.

Для оказания помощи при чрезвычайной ситуации в СПб ГБУЗ Городской Мариинской больницы существует отдельное штатное расписание, которое регламентирует деятельность стационара в случае массового поступления пациентов. Согласно предоставленным данным при ЧС (ПРИЛОЖЕНИЕ pdf) из расчёта на 30-35 человек данный стационар формирует 1 сортировочную бригаду, состоящую из 1 ответственного дежурного хирурга, 1 ответственного реаниматолога, 2 медицинских сестёр и 2 регистраторов, 3 хирургические бригады (6 человек), 4 реанимационно-хирургические (12 человек), освобождаются 4 операционные и 20 коек на отделениях хирургического профиля. Для оптимальной работы в случае массового поступления для каждого сотрудника разработан пакет инструкций его деятельности. На оформление первичной медицинской документации и медицинскую сортировку отводится до 2-х минут, медицинская помощь в условиях массового поступления сводится к минимуму и направлена на стабилизацию витальных функций и временную остановку кровотечения в случае необходимости. Задача сортировочной бригады является регистрация пациентов, заведение первичной

документации в бумажном варианте по форме 100 (Приложение), распределение потоков пациентов по степени тяжести: красный, жёлтый и зелёный. К красному потоку относят пациентов, поступающих в тяжелом и крайне тяжелом состоянии. Это пострадавшие с очевидными признаками шока, с тяжелыми анатомическими повреждениями и продолжающимся кровотечением, с выраженным нарушением дыхания, гемодинамики и сознания. Данный поток пациентов сразу направляются в реанимационный зал или экстренные операционные. Все диагностические процедуры носят высокий приоритетный характер, в том числе выполнение МСКТ данной группе пациентов выполняется в первую очередь. К жёлтому потоку относят пациентов в состоянии средней степени тяжести. Это пострадавшие, у которых на момент поступления нет непосредственной угрозы для жизни, им выполняются лабораторный минимум, скрининговое УЗИ, рентгенография, МСКТ по показаниям во вторую очередь, осматриваются специалистами. В операционную в случае необходимости этот поток пациентов подается в срочном и отсроченном порядках. Данный пул пациентов в 100% случаев госпитализируется на отделения стационара по профилям. К зелёному относят пострадавших, нуждающихся в оказании амбулаторной помощи. Данной группе пациентов осуществляется необходимый минимум обследования и лечения в условиях зелёной зоны отделения с последующей выпиской под наблюдение специалистов по месту жительства. Основной задачей реанимационно-хирургической бригады при массовом поступлении является купирование экстренных состояний, представляющих угрозу для жизни пострадавшего, стабилизация состояния и определение приоритета выполнения оперативного лечения в условиях операционной.

Перед проведением эксперимента был проведён подробный анализ данных о работе СПб ГБУЗ Городской Мариинской больницы в 2017 году. В то время в больнице вместо СтОСМП было приёмное отделение. Согласно данным отчёта и электронного журнала, приёмное отделение Мариинской больницы в день террористического акта приняло на себя 14 пациентов,

среди которых 2 пациента было доставлено в крайне тяжёлом состоянии, 5 в состоянии средней степени тяжести, 8 в удовлетворительном состоянии. Первый пациент поступил через 49 минут от момента ЧС, в течение 1 часа приёмное отделение приняло 7 человек, в следующий час поступило ещё 4 пациента, остальные были доставлены в течение 6 часов с момента ЧС. Время нахождения в приёмном отделении составляло 148 ± 3 минут, а часть из пациентов поступала в палату реанимации минуя приёмное отделение. Анализируя ретроспективные данные, стоит отметить перегрузку работы реанимационных коек ввиду отсутствия красной зоны СтОСМП. Среди всех госпитализированных в 7 были переведены в ОРИТ, 2-е из них поступили сразу в операционную в крайне тяжёлом состоянии. Среди тех, кого перевели в ОРИТ, только 2-м пациентам проводилось оперативное лечение, и они наблюдались более 2-х дней в условиях ОРИТ, остальным пациентам потребовались лишь перевязки, однако они находились на реанимационных койках до 2-х суток.

Для проведения виртуального эксперимента на модель СтОСМП СПб ГБУЗ Городской Мариинской больницы внесены данные о массовом поступлении пациентов в течение 2 часов модельного времени, соответствующие эмпирическим данным события 3 апреля 2017 г. На виртуальной модели было изменено штатное расписание согласно данным пакетов инструкций и выполнен запуск. В течение 2 часов модельного времени организационного эксперимента СтОСМП приняло 14 пациентов, при этом длительность нахождения пациентов внутри составила $107,4 \pm 5,2$ минут, что достоверно меньше ($p > 0,05$), чем в данных ретроспективного отчёта о работе приёмного отделения (рис. 20). За это время пациентам в модели были проведены все лечебно-диагностические мероприятия, и они выбыли из отделения. Средняя нагрузка на врачебный персонал составила 88,68%, на медицинских сестёр 80,27%, на санитаров 83,94%. Очереди ожидания диагностических процедур не превышало 2 человека.



Рис 20. Эксперимент массового поступления на основании данных реальных ЧС.

Организационный эксперимент продемонстрировал преимущество СтОСМП перед приёмным отделением, позволив обеспечить быстрое распределение потоков поступающих пациентов, их лечение и обследование за счет наличия собственного коечного фонда и доступности диагностических служб.

Однако одновременно с этим было отмечено, что действующее СтОСМП имело недостаточную резервную площадь для развертывания приемно-сортировочной площадки на пандусе (32 м²), ее функции фактически была возложена на палату динамического наблюдения, одновременно с лечением и обследованием поступающего потока. Из-за этого загруженность желтой зоны достигала 97,26%, что вызывало сомнения в возможности оказания помощи большему потоку пациентов.

4.3. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях техногенного характера

Согласно данным анализа, ЧС техногенного характера встречается существенно чаще, чем социального [187, 191]. И в том, и в другом случае

поступление пострадавших носит массовый характер и сопровождается сочетанными механическим повреждением. Согласно этому представляется логичным проанализировать возможности СтОСМП именно в подобных условиях.

4.3.1. Анализ чрезвычайных ситуаций, сопровождавшихся массовым поступлением пострадавших в медицинские организации, в субъектах РФ

Нами был проведён ретроспективный анализ ЧС техногенного характера в субъектах РФ путём анкетирования главных внештатных специалистов в 45 регионах РФ в период с 2017 г. по 2022 г., которые отображали общее количество пострадавших с механическими травмами, причину ЧС, способ поступления в стационар, а также стационары, участвовавшие в оказании скорой медицинской помощи с разделением их по уровням (рис. 21).

Регион	год	причина ЧС	Общее к-во пострадавших их. чел.	Х-ка пострадавших в зависимости				Х-ка пострадавших по				К-во постр., которым проведено	Время от начала ЧС до госпитализа	К-во стационаров, в которые			
				Не нуждающиеся в стан.	Доставлены		Обратилась в станция	Легкой степ.	Средней степ.	Тяжелой степ.	Всего			Из них			
					авто	авиа								1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня	
1	2017	ДТП	47	28	19			12	5	2	10	30	3	2	1	0	
	2017	ДТП	22	4	18			13	3	2	8	40	3	2	1		
	2020	ДТП	15	2	4				2	2	1	50	3	2	1		
	2021	Пожар	18	17	1					1	1	40	2	1	1		
	2021	ДТП	17	6	11			6	3	2	4	45	3	2	1		
	2022	ДТП	22	3	3				1	2	2	40	3	2	1		
2	2020	ДТП	15		14		10	10	2	2		60	2		1	1	
	2021	ДТП	22		16			6	16	20		60	1	1			
	2021	ДТП	10		6			1		4		60	2			2	
	2022	ДТП	15		4		7	7	2	3		60	2			2	
3	2018	ДТП	10	3	7	0	0	0	5	2	7	90	1	0	0	1	
	2019	Пожары и взрывы	14	1	12	0	0	1	11	1	0	85	1	0	0	1	
	2020	ДТП	15	8	5	0	0	0	3	2	1	80	1	0	1	0	
	2022	ДТП	12	5	7	0	0	2	5	0	0	55	1	0	1	0	
4	2017	ДТП	18	15	3			15	2	1		75	1	1			
	2018	ДТП	10	9	1			9	1			95	1		1		
	2018	Взрыв газа	33	24	9			26	5	2	2	60	5		4	1	
	2019	ДТП	10	1	9			1	8	1		60	1		1		
	2019	ДТП	14	1	13			5	7	2	1	60	6	2	4		
	2019	ДТП	13	12	1			12	1			35	1		1		
	2019	ДТП	10	9	1			9	1			50	1		1		
	2022	ДТП	10	6	4			6	2	2	2	35	1		1		
5	2017	ДТП	29	8	0	0	0	21	3	5	8	250	8	0	0	8	
	2017	Авария	11	10	1	0	0	2	1	0	1	300	1	0	1	0	
	2017	ДТП	14	9	13	0	0	8	5	0	5	120	5	0	5	0	
	2018	ДТП	13	8	8	0	0	5	4	1	5	120	5	0	5	0	
	2018	ДТП	12	7	12	0	0	7	5	0	5	120	5	0	5	0	
	2020	ДТП	16	12	16	0	0	12	4	0	4	180	4	0	4	0	
	2020	ДТП	17	3	14	11	0	0	3	11	14	180	14	0	3	11	
	2020	ДТП	10	8	2	2	0	8	1	1	2	30	2	0	0	2	
	2020	Пожар	13	9	9	2	0	5	2	2	4	180	4	0	2	2	
	2020	Пожар	11	8	9	3	0	6	1	2	3	30	3	0	0	3	
	2022	ДТП	11	0	11	9	0	0	9	2	5	30	11	0	3	9	
	2022	Авиакатастрофа	23	9	0	23	0	9	7	7	23	30	14	0	0	14	
	2022	обрушение экрана на стадионе	23	19	23	2	0	19	4	0	23	5	4	0	2	2	

Рис 21. Пример таблицы по ЧС в регионах (скан)

После сведения всех данных в единую таблицу был осуществлён их анализ. По характеру ЧС преимущественно относились к дорожно-транспортному происшествию. Среди всех пострадавших 87% были доставлены в медицинские организации бригадами скорой медицинской помощи, 13% обращались в стационары самостоятельно. Основная нагрузка по приему пострадавших в техногенной ЧС приходилась на стационары 2-3 уровня. Согласно Постановления Правительства РФ от 21.05.2007 г. №304 (в ред. Постановления Правительства РФ от 20.12.2019 г. №1743) устанавливается, что чрезвычайная ситуация техногенного характера считается локальной при наличии не более 10 пострадавших (Барачевский Ю.Е., 2019). Исходя из этого, в ходе анализа представленных данных были исключены ЧС с численностью пострадавших менее 10 человек. Также не проводился анализ в регионах с труднодоступными территориями, так как среднее время от события до момента госпитализации в них превышало 2 часа, что требует отдельного изучения этих субъектов в связи с территориальными особенностями.

Ретроспективный анализ входящего потока пациентов при массовом поступлении выявил следующие закономерности: в 20,8% случаях пациенты были доставлены в состоянии тяжёлой степени тяжести, 45,8% средней степени тяжести, 33,4% лёгкой степени тяжести. В 19% случаев потребовалось оперативное лечение по экстренным показаниям в течение первых суток. Среднее значение составляло 24 ± 2 человека, максимальное число достигало 137. В последнем случае в оказании медицинской помощи участвуют несколько медицинских учреждений, при этом нагрузка на один стационар составляет 18 ± 4 человека.

В исследованных субъектах обращала на себя внимание тенденция к формированию максимального потока пациентов уже в течение 1 часа с момента возникновения ЧС (рис. 22), что говорит о необходимости не только обеспечить максимальное привлечение специалистов хирургического и реанимационного профиля для оказания помощи пострадавшим в ЧС, но и

поддерживать постоянную готовность стационара к таким ситуациям. Это требует четких инструкций и алгоритмов внутри медицинской организации.

В случае формирования в стационаре СтОСМП, основная нагрузка в первый час будет приходиться на врачей СМП этого отделения, так как они являются врачами первого контакта и реализуют мультидисциплинарный подход к обследованию и лечению.

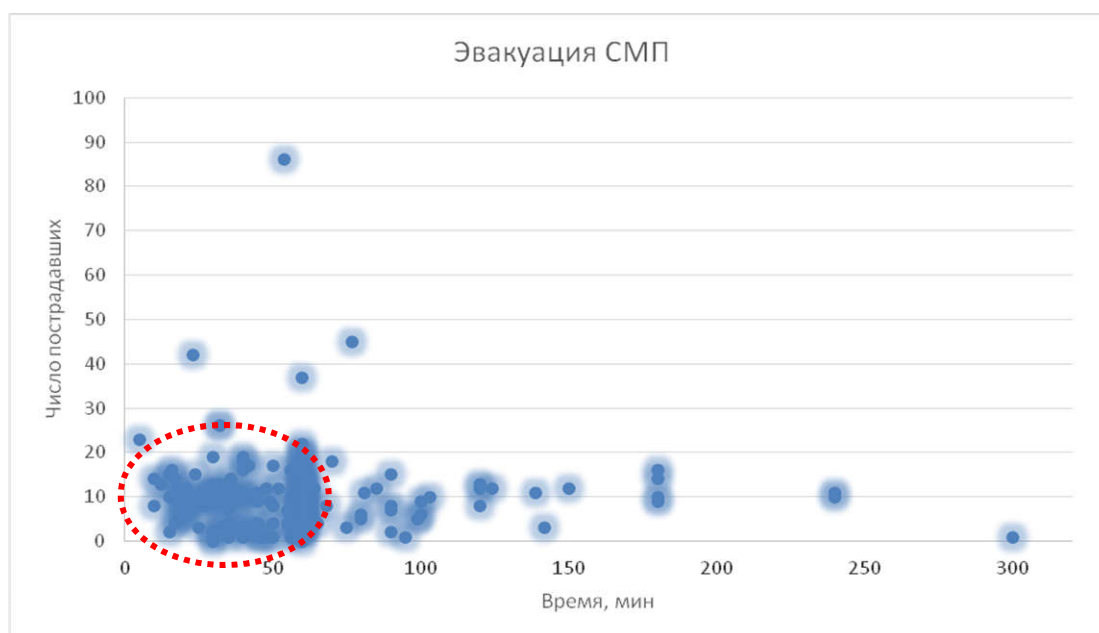


Рис 22. Анализ эвакуации пострадавших при ЧС

Полученные данные были применены при проведении виртуального эксперимента на модели СтОСМП СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», как многопрофильного стационара, участвующего в оказании медицинской помощи при ЧС.

4.3.2. Имитационное моделирование работы СтОСМП СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больницы» при чрезвычайных ситуациях техногенного характера

Эксперимент был направлен на изучение работы СтОСМП моделируемого стационара при поступлении 24 человек, среднее значение, которое было получено в результате анализа данных субъектов РФ за

прошедшие 5 лет. Так как штатное расписание на случай ЧС рассчитано на поступление до 35 человек, то в модели оно было оставлено без изменений. Проведено сравнение данных, полученных при итерации. Отмечено, что с увеличением потока пациентов вырастает нагрузка на медицинский персонал (Рис. 23). Нагрузка на врачей увеличилась с 88,68% до 92,79%, на медицинских сестёр с 80,27% до 87,48%, а на младший медицинский персонал увеличилась с 83,94% до 89,86%. Также отмечено увеличение общей нагрузки на жёлтую зону до 99,28%, что говорит о перегрузке данной рабочей зоны. Время нахождения пациентов внутри отделения также увеличено до $145,6 \pm 4,8$ минут, что на достоверно больше ($p < 0,05$), чем при поступлении 14 человек.



Рис 23. Эксперимент массового поступления на основании средних значений.

Также при визуальной оценке отмечалось появление очередей из машин скорой медицинской помощи, появление очередей в зелёной зоне. Для устранения выявленных проблем на пандусе была развернута приемно-сортировочная площадка на 10 мест, повторно выполнен запуск модели. По результатам данного эксперимента отмечено снижение занятости коек желтой зоны до 82,11%. Также произошло уменьшение загруженности персонала: врачей до 89,19%, медицинских сестер до 81,34%, младшего медицинского персонала до 84,15% (Рис. 24). Сократилось время пребывания пациентов в отделении до $123,2 \pm 3,9$ минут, что на достоверно

меньше ($p < 0,05$), чем при отсутствии дополнительных коек. Хочется отметить, что подобная расстановка дополнительных коек была возможно только на виртуальной модели, так как площади 32 м^2 пандуса недостаточно, для развёртывания полноценной приемно-сортировочной площадки. Кроме этого, пандус явно не приспособлен для данных целей в осенне-зимний период.



Рис. 24. Эксперимент массового поступления на основании средних значений.

4.4 Резюме.

Таким образом, проведение экспериментов с помощью имитационного моделирования позволило достоверно показать значимость СтОСМП при работе в условиях массового поступления пациентов. В отличие от приёмного отделения данное структурное подразделение медицинской организации обладает большим потенциалом за счёт собственного коечного фонда, благодаря чему в модели было отмечено достоверное снижение времени нахождения пациента в отделении во время оказания ему скорой специализированной медицинской помощи. Кроме того, обращала на себя внимание необходимость проектирования таких отделений с учётом наличия

резервных площадей ещё на этапе строительства данных отделений. Наличие резервных площадей может позволить при необходимости быстро превратить их в приемно-сортировочную площадку или развернуть дополнительный коечный фонд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Появление новых структурных подразделений, таких как СтОСМП, предполагает планирование их работы, как в условиях повседневной деятельности, так и при чрезвычайных ситуациях социального, биолого-социального и техногенного характера. Несмотря на развитие госпитального периода скорой специализированной медицинской помощи в нашей стране, их количество остается недостаточным.

В XXI пандемия новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) стала испытанием на прочность для здравоохранения во всём мире, в том числе и в Российской Федерации. Возникающие проблемы с дефицитом инфекционных коек и персонала были решены с помощью перепрофилирования ряда стационаров под приём пациентов с новой коронавирусной. Согласно мировому опыту, описанному в публикациях, те стационары, в которых были открыты ЕД, аналогом которого является СтОСМП, справлялись с приёмом пациентов более успешно, чем те, в которых данных структурных подразделений не было. В нашей стране перепрофилирование проходило поэтапно для сохранения оказания медицинской помощи неинфекционного профиля. Новые центры открывались по мере необходимости и заполнялись в первые 2-е суток, затем в виду необходимости соблюдения сроков изоляции пациентов, поступления новых пациентов были возможны только в результате освобождения коек инфекционного центра.

Кроме того, ряд стационаров был вынужден приспособиться к новым условиям работы в условиях пандемии, продолжая оказывать скорую, в том числе специализированную, медицинскую помощь без изменения соей

профильности. В этом случае для предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции внутри медицинского учреждения появлялась необходимость расчёта числа коек для обсервации пациентов с подозрением на COVID-19 до 8 часов ожидания результатов ПЦР диагностики.

Следующей проблемой, которая актуализировалась в 2022 г. с момента начала специальной военной операции, стало массовое поступление пациентов с механическими повреждениями в приемные отделения многопрофильных стационаров. В данном случае заблаговременный расчёт необходимых сил и средств для оказания медицинской помощи в новых условиях также может позволить сократить длительность ожидания медицинской помощи в стационаре.

Анализ данных по ЧС техногенного характера, проведённого на основе анкетирования главных внештатных специалистов в 45 субъектах РФ, показал, что нагрузка на стационары резко возрастает уже в первый час с момента события, что требует поддерживать постоянную готовность медицинских организаций к работе в условиях массового поступления пострадавших.

Для того чтобы обеспечить четкий расчет сил, средств, алгоритмов действий в различных чрезвычайных ситуациях, нами было решено прибегнуть к имитационному моделированию, которое позволяет создавать виртуальную модель и затем без рисков проводить на ней эксперименты, направленные на изучение проблемы и поиска путей оптимизации рабочего процесса отделения. Моделирование проходит в несколько последовательных этапов, которые начинаются с абстракции и формализации модели, внесением данных в модель и заканчиваются оценкой ее адекватности. После этого на готовой виртуальной модели проводятся организационные эксперименты.

Для проведения имитационного моделирования были выбраны реально действующие СтОСМП (университетской клиники ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова и двух многопрофильных стационаров - СПб ГБУЗ

«Городская Мариинская больница» г. Санкт-Петербург и ГУЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи №25» г. Волгоград) с разным входящим потоком пациентов.

Для формирования исходных данных был проведён анализ форм №30 «Сведения о медицинской организации» (годовая), форм №14 и «Сведения о деятельности подразделений медицинской организации, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях» (годовая), реестров выставленных счетов, электронных журналов поступлений, формируемых в медицинской информационной системе, медицинских карт стационарных больных изучаемых медицинских организаций.

После обработки данных они были внесены в соответствующие модели на базе программного обеспечения процессного моделирования. В последующем проводилась оценка адекватности моделей путём многократных итераций, визуальной оценки, фиксации соответствия получаемых статистических и параметрических данных. Затем на созданных моделях были проведены эксперименты с изменением количества штатных сотрудников, коечного фонда, а также изменения входящего потока пациентов исходя из условий той или иной ЧС, при которой предполагалось функционирование медицинской организации.

Проведение виртуальных экспериментов с помощью процессорного моделирования позволило рассчитать оптимальную нагрузку на медицинский персонал в условиях ЧС биолого-социального характера при перепрофилировании университетской клиники, избежав при этом формирования очередей, как из бригад скорой медицинской помощи, так и внутри отделения. Алгоритмизированный подход к маршрутизации пациентов внутри отделения позволил равномерно распределить нагрузку на диагностические службы. Полученные данные были применены на практике во время работы данного отделения в новых условиях, а теоретические расчеты были подтверждены реальными результатами деятельности. СтОСМП продемонстрировало серьезные преимущества перед приемным

отделением за счет собственного коечного фонда, обеспеченности медицинскими газами и инструментальной диагностикой, наличием у среднего и врачебного медицинского персонала дополнительных профессиональных компетенций.

В случае моделирования работы многопрофильного стационара, оказывающего помощь в экстренном порядке пациентам неинфекционного профиля, применяемая методика также продемонстрировала свои возможности планирования работы подразделений медицинской организации в условиях ЧС биолого-социального характера. Полученные расчетные данные о необходимом числе обсервационных коек были реализованы в реальной жизни, обеспечив продолжение приема пациентов с соматической патологией, нуждавшихся в оказании медицинской помощи в экстренной и неотложной формах в стационарных условиях.

Модель СтОСМП многопрофильного стационара, с которой проводились виртуальные эксперименты с массовым поступлением пострадавших с механическими повреждениями вследствие ЧС социального и техногенного характера, продемонстрировала большую эффективность такого отделения в сравнении с приемным. В модели было отмечено достоверное снижение времени пребывания в СтОСМП за счет отсутствия задержек на этапе приема пациентов, более эффективного проведения лечебно-диагностических мероприятий вследствие наличия всех необходимых технологий, персонала, обладающего соответствующими компетенциями, а также распределения пациентов по зонам отделения в зависимости от объема оказываемой помощи. В то же время, экспериментально было выявлено, что в СтОСМП, не обладающим резервными площадями, может возникнуть проблема с развертыванием приемно-сортировочной площадки, что, по мере увеличения потока пациентов, может привести к формированию очередей и снизить качество оказываемой медицинской помощи. Данный аспект необходимо учитывать при проектировании таких структурных подразделений.

Таким образом, применение методики имитационного моделирования СтОСМП позволяет прогнозировать его функционирование как в режиме повседневной деятельности, так и в различных чрезвычайных ситуациях, которые сопровождаются изменением структуры и характера входящего потока пациентов, выявляя и устраняя возможные проблемы до их реального возникновения.

ВЫВОДЫ

1. Изменение штатного расписания за счет формирования врачебно-сестринских бригад и выделения медицинской сестры для осуществления медицинской сортировки при перепрофилировании стационарного отделения скорой медицинской помощи в приемное отделение инфекционного стационара в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции, позволяет минимизировать время ожидания бригад скорой медицинской помощи до передачи пациента в медицинскую организацию ($8,2 \pm 1,5$ мин при максимальной пиковой нагрузке 164 поступления в сутки), что было подтверждено имитационным моделированием ($5,8 \pm 0,3$ мин, $p > 0,05$), при этом сроки пребывания пациентов в виртуальной модели достоверно не отличались от реальных ($110 \pm 4,6$ минут в модели и $115 \pm 5,8$ минут в реальности, $p > 0,05$)
2. Имитационное моделирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в условиях оказания медицинской помощи пациентам неинфекционного профиля при чрезвычайной ситуации биолого-социального характера с сохранением входящего потока до 150 поступлений в сутки продемонстрировало необходимость дополнительного развертывания observational отделения емкостью 20 коек для пациентов, нуждающихся в исключении новой коронавирусной инфекции с возможностью карантина до 8 часов, что

при практической реализации позволило изолировать 5,3% от общего числа поступивших пациентов с подозрением на COVID-19

3. Виртуальный эксперимент, моделирующий поступление в медицинскую организацию пострадавших вследствие террористического акта, продемонстрировал значимое сокращение сроков пребывания пациентов в стационарном отделении скорой медицинской помощи в сравнении с приемным отделением ($107,4 \pm 5,2$ минут против 148 ± 3 минут по данным отчёта о работе приёмного отделения ($p < 0,05$))
4. Имитационный эксперимент с моделью стационарного отделения скорой медицинской помощи, направленный на изучение его функционирования в условиях чрезвычайной ситуации техногенного характера при массовом поступлении пострадавших, среднее число которых, вычисленное на основании изучения данных, представленных 36 субъектами Российской Федерации за период 2017-2022 гг., составило 24 ± 2 человека в течение первого часа, потребовало создание в модели отделения виртуальной сортировочной площадки площадью не менее 42 м^2 , что необходимо учитывать на этапе проектного решения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Руководителям медицинских организаций, оказывающих скорую специализированную медицинскую помощь в стационарных условиях и заведующим стационарным отделений скорой медицинской помощи – при планировании работы СтОСМП в повседневных и ЧС необходимо использовать имитационное моделирование с применением компьютерных сред процессного моделирования
2. Руководителям медицинских организаций, оказывающих скорую специализированную медицинскую помощь в стационарных условиях

и заведующим стационарным отделений скорой медицинской помощи – в условиях ЧС биолого-социального характера при перепрофилировании медицинской организации в инфекционный стационар в СтОСМП необходимо формировать врачебно-сестринские бригады и организовывать медицинскую сортировку с привлечением среднего медицинского персонала.

3. Руководителям медицинских организаций, оказывающих скорую специализированную медицинскую помощь в стационарных условиях и заведующим стационарным отделений скорой медицинской помощи – в условиях ЧС биолого-социального характера при продолжении работы стационара в прежнем режиме необходимо формировать наблюдательные койки с выделением медицинского персонала для обеспечения их круглосуточной работы
4. Руководителям медицинских организаций, оказывающих скорую специализированную медицинскую помощь в стационарных условиях и заведующим стационарным отделений скорой медицинской помощи – на этапе проектирования СтОСМП на его территории следует планировать возможность выделения дополнительных площадей для организации приёмно-сортировочной площадки на случай массового поступления пациентов при ЧС социального и техногенного характера.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Имитационное моделирование имеет огромный потенциал в здравоохранении, поскольку оно позволяет моделировать различные сценарии и экспериментировать с ними без риска для пациентов. Некоторые из перспективных направлений дальнейших исследований в данной области включают:

1. Оптимизация процессов маршрутизации пациентов: Имитационное моделирование может помочь в разработке оптимальных планов обследования пациентов, а также в оценке нагрузки на медицинские учреждения и персонал.
2. Экономическая эффективность: Имитационное моделирование может помочь в оценке экономической эффективности различных стратегий лечения и исследования экономических последствий новых технологий в здравоохранении.
3. Прогнозирование заболеваний и эпидемий: Имитационное моделирование может помочь в прогнозировании распространения заболеваний и эпидемий, а также оценке эффективности различных стратегий в борьбе с ними.
4. Разработка новых технологий: Имитационное моделирование может помочь в разработке новых технологий и инноваций в здравоохранении, таких как автоматизация процессов и использование искусственного интеллекта.
5. Обучение медицинского персонала: Имитационное моделирование может быть использовано для обучения медицинского персонала и оценки их профессиональных навыков и компетенций.

Таким образом, имитационное моделирование имеет огромный потенциал для улучшения системы здравоохранения и предоставления более эффективной и качественной медицинской помощи пациентам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев С. Н., Адамян Л. В., Алексеева Е. И. [и др.]. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Временные методические рекомендации /– Москва: Министерство здравоохранения РФ, 2021. – 225 с.
2. Авдеев С. Н., Адамян Л. В., Алексеева Е. И. [и др.]. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Временные методические рекомендации. / Москва: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2022. – 245 с.
3. Авдеев С. Н., Адамян Л. В., Алексеева Е. И. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Временные методические рекомендации. Версия 9 от 26.10.2020 г. / [и др.]. – Москва: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2020. – 236 с.
4. Агаджанян В.В., Кравцов С.А., Пронских А.А. и др. К вопросу об организации и лечении при массовом поступлении пострадавших. // Политравма. 2021. №2. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-organizatsii-i-lechenii-pri-massovom-postuplenii-postradavshih>. (дата обращения: 16.02.2022 г.)
5. Алексанин С.С., Евдокимов В.И., Рыбников В.Ю., Чернов К.А. Медицина катастроф: метаанализ научных статей и диссертаций по специальности 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» (2005–2017 гг.): монография / Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. СПб. : Политехника-принт, 2019. - 293 с.
6. Анисимова Н.С., Гусева Е.Н. Особенности разработки имитационных моделей в программе Arena // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/01/76503> (дата обращения: 20.04.2020 г.)

7. Апанасович, В. В. Статистический анализ потоков в физическом эксперименте / В. В. Апанасович, А. А. Коляда, А. Ф. Чернявский. / Минск: Университетское, 1988. - 256 с.
8. Багненко С.Ф., Белякова Н.А., Эволюция пандемии COVID-19 // СПб.: Балтийский медицинский образовательный центр, 2021. – 410 с.
9. Багненко, С. Ф. Организация работы стационарного отделения скорой медицинской помощи: методические рекомендации / Багненко С. Ф. [и др.] - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. - 64 с.
10. Баранов, А.В. Характеристика обстоятельств травмы и полученных повреждений у пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях арктической зоны Архангельской области /А.В. Баранов, В.В. Ключевский, И.В. Петчин, Ю.Е. Барачевский, Л.И. Меньшикова //Политравма. - 2018. - № 1. - С. 10-16.
11. Баранова, Н. Н. Медицинская эвакуация в чрезвычайных ситуациях при большом количестве пострадавших / Н. Н. Баранова, С. Ф. Гончаров // Скорая медицинская помощь - 2020: материалы 19 - го всероссийского конгресса (Всероссийской научно-практической конференции с международным участием), Санкт-Петербург, 25–26 ноября 2020 года / ПСПбГМУ им. И. П. Павлова; ГБУ СПб НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе. СПб: ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, 2020. – С. 9-13.
12. Барачевский Ю.Е. Анализ чрезвычайных ситуаций территориального уровня / Ю.Е.Барачевский // Матер, науч-практ. конф. «Война и военная медицина. Проблемы организации оказания медицинской помощи и подготовки населения, специалистов для ликвидации медицинских последствий чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время», СПб, / Вести. СПб ГМА им. И.И.Мечникова. - 2005. - № 1 (6). - 264 с.
13. Барачевский Ю.Е. Организационно-методические подходы совершенствования деятельности службы медицины катастроф Европейского Севера / Барачевский Ю.Е., Сидоров П.И., Соловьев Л.Г. Архангельск: Изд. Центр СГМУ. -2007. - 214с.

14. Барачевский Ю.Е. Подготовка медицинского персонала лечебнопрофилактических учреждений к действиям в чрезвычайных ситуациях / Ю.Е.Барачевский, П.И.Сидоров, А.Г.Соловьев, Е.Ю.Яценко // Медицина катастроф. - 2005. - № 1 (49). - С. 49-51.
15. Барачевский Ю.Е. Роль и задачи руководителей органов управления и
16. Барачевский Ю.Е. Современный взгляд на подготовку медицинского персонала к действиям в чрезвычайных ситуациях / Ю.Е.Барачевский, П.И.Сидоров, А.Г.Соловьев // Главврач. - 2005. - № 4. - С. 69-73.
17. Барачевский Ю.Е. Учреждения здравоохранения- потенциальные объекты осуществления террористических актов / Ю.Е.Барачевский // Бюлл. СГМУ, 2004. - № 2. - С. 3-4
18. Барачевский Ю.Е. Формы и методы подготовки медицинского персонала Архангельской области к действиям в чрезвычайных ситуациях / Ю.Е.Барачевский, Л.П.Коряковский // Образовательно-методическая система службы медицины катастроф: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. - Пермь, 2002. - С. 34-35.
19. Барачевский Ю.Е. Этапы подготовки медицинского персонала к действиям в чрезвычайных ситуациях / Ю.Е.Барачевский // Медицина катастроф: опыт и перспективы развития: Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. - Архангельск, 2006. - С. 10-11.
20. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учеб. пособие для прикладного бакалавриата // М.: Издательство Юрайт, 2017. - 253 с.
21. Боев, В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: учебное пособие / В.Д. Боев. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
22. Борщев А.В. "От системной динамики и традиционного ИМ — к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты" [Электронный ресурс]. URL: https://phys.vsu.ru/radio/sites/default/files/metod/agentnoe_model.pdf (дата обращения: 16 .04.2020 г.)

23. Борщев, А. Как строить красивые и полезные модели сложных систем: материалы конф. «Имитационное Моделирование. Теория и Практика» ИММОД- 2013. – Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2013. Т 1. – С. 21-34.
24. Бочаров Е.П., Алексенцева О.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 080500.62 «Бизнес-информатика» // Саратовский социально-экономический институт ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова». – Саратов, 2014. – 160 с.
25. Брагина З.В., Чернов Л.А., Маценова Т.А. Методологические аспекты совершенствования организации планирования в управлении здравоохранением// Экономика здравоохранения. 2003. - №3. - С.13-23.
26. Бююль, А. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей /А. Бююль, П. Цефель: пер. с нем. – СПб.: «Диа Софт ЮП», 2005. – 608 с.
27. Веренцов М.М., Чепурненко Н.В. Анализ качества и эффективности здравоохранения. Обзорная информация // Медицина и здравоохранение. Серия: Социальная гигиена, организация и управление здравоохранением. МЗ СССР, ВНИИМИ. -М.: 1986. - №1. - 78 с.
28. Власов, С.А. Имитационное моделирование в России: прошлое, настоящее, будущее / С.А. Власов, В.В. Девятков // Автоматизация в промышленности. – №5. – 2005. – С. 63–65.
29. ВОЗ. Вступительное слово Генерального директора ВОЗ на брифинге для СМИ, посвященном COVID-19 - 11 марта 2020 г. (2020 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-11-march-2020> (дата обращения: 16 .04.2020 г.)
30. Гаджинский А. М. Логистика. - М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1999. - 228 с.

31. Герасименко И.Н. Компьютерные технологии в системе организационного обеспечения и программно-целевого планирования регионального здравоохранения // Актуальные проблемы деятельности диагностических центров в современных условиях: математическая ежегодная конференция ДиаМа. Нижний-Новгород, 2004. - С. 167–169.
32. Гинзбург, М.Л. Анализ факторов, влияющих на сроки поступления в стационар пациентов с острым коронарным синдромом (по данным исследования ЛИС – Люберецкое исследование смертности больных, перенесших острый инфаркт миокарда) / М.Л.Гинзбург, Н.П.Кутишенко, С.Ю.Марцевич, и др. // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. – 2012. – №8(2). – С.141-148.
33. Голощапов А.П., Корнюков Б.А., Марантиди А.Г. Современные методы проектирования учреждений здравоохранения. // Медицина и здравоохранение. 1983. - №7 - 39 с.
34. 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. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-2-29-34> (дата обращения: 16.04.2022 г.).
35. Гончаров, С. Ф. Исходы лечения пораженных при террористических актах / С. Ф. Гончаров, В. А. Авраменко, Б. В. Бобий // Медицина катастроф. – 2009. – № 3(67). – С. 11-16.
36. Гончаров, С. Ф. Некоторые особенности террористических актов и их влияние на деятельность здравоохранения Сообщение 2 / С. Ф. Гончаров, В. А. Авраменко и др. // Медицина катастроф. – 2009. – № 1(65). – С. 9-13.
37. Гончаров, С. Ф. Результаты использования практических рекомендаций по организации внутреннего контроля качества и безопасности медицинской деятельности вне медицинской организации / С. Ф.

- Гончаров, Н. Н. Баранова, С. А. Купцов // Медицина катастроф. – 2022. – № 3. – С. 51-54. – DOI 10.33266/2070-1004-2022-3-51-54.
38. Григорьев Илья. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию // Санкт-Петербург. 2017. - 273 с.
39. Девятков В.В. – Развитие методологии имитационных исследований сложных экономических систем – диссертация – Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации - 2014г. – 44 с.
40. Девятков, Т.В. Методы и средства имитационного моделирования в задачах исследования и проектирования дискретно-событийных систем: автореф. дис. На соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.18 / Девятков Тимур Владимирович. – М., 2011. – 18 с.
41. Дигрис А.В. Дискретно-событийное моделирование // курс лекций / А.В. Дигрис. – Минск: БГУ, 2011. – 174 с.
42. Духанов, А. В. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций / А. В. Духанов, О. Н. Медведева; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 107 с.
43. Емельянов О.В. - Обоснование планирования, организации и ресурсного обеспечения стационарной медицинской помощи крупного города в современных условиях. - диссертация. ПСПБГМУ им. И. П. Павлова. СПб. 2006г. – 308 с.
44. Журнал «"Компьютерные исследования и моделирование" // Ильин О.В. Моделирование одномерных нелинейных пульсовых волн в эластичных сосудах на основе решеточных уравнений Больцмана. 2019. т. 11. - № 4 - с. 707-722.
45. Задорожный, В.Н. Аналитико-имитационные исследования систем и сетей массового обслуживания: монография / В.Н. Задорожный. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 280 с.
46. Захаров И. А., Захарова Е.А., Трифонова Н.А. Контроль качества стационарной помощи // Материалы 3-й Российской конф. «Развитие

- стационарной медицинской помощи в период реформы здравоохранения в России». 30-31 мая 1996. - С 182-186.
- 47.Ивашкин Ю.А. Агентные технологии и мультиагентное моделирование // Учебное пособие / МФТИ, Москва, 2013, - 267 с.
- 48.Имитационная модель оказания медицинской помощи раненым в медицинском отряде специального назначения в ходе ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций / Р. Н. Лемешкин, А. В. Крикунов, С. В. Ковальчук, И. Ф. Савченко // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2017. – № 4. – С. 20-33.
- 49.Камкин Е. Г., Костенко Н. А., Каракулина Е. В. [и др.] Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) / Временные методические рекомендации. – Москва: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2020. – 121 с.
- 50.Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 (+CD)// Издательство: БХВ-Петербург, 2005. 390 с. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
- 51.Касимовская Н. А., Лаврова Е. А. Оценка действий и уровня подготовки среднего медицинского персонала при оказании медицинской помощи пострадавшим на примере теракта 03.04.2017 в Санкт-Петербурге // Скорая медицинская помощь. 2021. Т. 22, № 4. С. 25–33.
- 52.Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. 3-е изд. Пер. с англ. – СПб.: Издательская группа BNV, 2004. - 846 с.
- 53.Киреев С.Г., Алексанин С.С. Концепция организации оказания медицинской помощи основным профессиональным контингентам МЧС России в условиях повседневной деятельности и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. - 2016. - № 3. - С. 18–26.

54. Кирьянов Б.Ф., Токмачёв М.С. - Математические модели в здравоохранении: учеб. пособие /; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, – 2009. - 279 с.
55. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
56. Кобелев Н.Б. Имитационный анализ и синтез некоторых современных мировых проблем. Пособие для разработчиков глобальных имитационных моделей и их пользователей // Финансовый институт при Правительстве Российской Федерации. – Издание ООО «Принт-сервис», Москва, 2015. – 96 с.
57. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование в среде Rand Model Designer 7: учебно-практическое пособие /— Москва: Издательство «Проспект», 2016. — 256 с.
58. Коровин А.М. - Анализ подходов и программного обеспечения для имитационного моделирования социальных и экономических систем – Вестник ЮУрГУ - №35 -2012. – С. 98-100.
59. Королев А.Л. Компьютерное моделирование. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 230 с.
60. Кошуняева Н.В., Па трои оси Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач) / САФУ имени М.В. Ломоносова. - Архангельск; САФУ, 2013 - 107 с.
61. Красильников И.А. Управление системой здравоохранения с использованием имитационного моделирования// Труды Восьмой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (г. Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 432-437.
62. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е.М. Кудрявцев. – М.: ДМК, 2003. – 320 с.
63. Кузьмин А.В., Овчинников В.В., Богданова Л.А., Шульман Е.И. - «Информационные технологии в здравоохранении: перспективы

- развития и правовое регулирование - //Тихоокеанский медицинский журнал. - № 3 – 2013. – 86 с.
- 64.Кульнев, С. В. Организация антитеррористических мероприятий по обеспечению безопасности персонала и больных в военно-лечебной организации / С. В. Кульнев, А. М. Шелепов, Р. Н. Лемешкин // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2014. – № 3. – С. 49-57.
- 65.Куприяшкин, А.Г. Основы моделирования систем: Учебное пособие. — Норильский индустр. ин-т. — Норильск: НИИ, 2015. — 135 с.
- 66.Куракова Н.А. Информатизации здравоохранения как инструмент создания саморегулируемой системы организации медицинской помощи. – //Врач и информационные технологии//. – №2. – 2009. – С. 9-27.
- 67.Кутырев В.В., Попова А.Ю., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Сафронов В.А., Карнаухов И.Г., Иванова А.В., Щербакова С.А. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Сообщение 2: особенности течения эпидемического процесса COVID-19 во взаимосвязи с проводимыми противоэпидемическими мероприятиями в мире и Российской Федерации. Проблемы особо опасных инфекций. 2020 (2). - С. 6–12.
- 68.Лемешкин, Р. Н. Лечебно-эвакуационная характеристика пораженных при минно-взрывных и огнестрельных ранениях в чрезвычайных ситуациях социального характера, основанная на опыте военной медицины / Р. Н. Лемешкин, А. Г. Акимов, В. А. Блинов // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции, СПб: Изд-во Политехнического университета, 2017. – С. 80-82.
- 69.Леонова Н.Л. Имитационное моделирование: конспект лекций // Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров (СПбГТУРП). СПб, 2015. - 96 с.

70. Леонова Н.Л. Компьютерное моделирование: курс лекций /СПбГТУРП. - СПб., 2015. - 88 с.
71. Ликстанов М.И. Организация внедрения информационной системы в крупной клинической больнице // Врач и информационные технологии. 2008. № 1. С. 20–27с.
72. Лоу, А. М. Имитационное моделирование / А. М. Лоу, В. Д. Кельтон. – 3-е изд. –СПб.: Питер, 2004. – 848 с.
73. Максимей И.В. Имитационное моделирование сложных систем (в 3 частях). Часть 1. // Математические основы, 2009, - 264 с.
74. Маликов, Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: учеб.пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.
75. Медицина чрезвычайных ситуаций. Организация. Клиника. Диагностика. Лечение. Реабилитация. Инновации / В. И. Бадалов, К. В. Беляков, Л. Г. Буйнов [и др.]. – Казань: Казанский федеральный университет, 2015. – 777 с.
76. Медицина чрезвычайных ситуаций. Том 1: учебник: в 2 т. / под ред. С. Ф. Гончарова, А. Я. Фисуна. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. - 608 с. [Электронный ресурс]. // URL: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970462324.html> (дата обращения: 14.11.2022)
77. Медицина чрезвычайных ситуаций: учебник: в 2 т. / под ред. С. Ф. Гончарова, А. Я. Фисуна. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. - Т. 1. - 608 с.
78. Мизинов А.А., Курзаева Л.В. Система массового обслуживания в математическом и имитационном моделировании // Современная техника и технологии. 2017. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2017/01/11667> (дата обращения: 14.11.2022)
79. Мизинов А.А., Трухачева К.Г., Уряшева А.М., Курзаева Л.В. Имитационное 3D моделирование в среде Flexsim // Современная

- техника и технологии. 2017. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2017/01/11620> (дата обращения: 14.01.2018)
80. Миняев В.А., Вишняков Н.И., Пенюгина Е.Н., Лобжанидзе В.А. Деятельность больниц интенсивного лечения в современных условиях // Проблемы городского здравоохранения: Сб. научных трудов. – вып. 12. – СПб.: СПбГМУ, 2007. – С. 49 - 50.
81. Митюков Н.В. Имитационное моделирование в военной истории. Синергетика в гуманитарных науках / Н.В. Митюков. – М.: ЛКИ, 2007. – 280 с.
82. Пенюгина Е.Н. Современные подходы к планированию стационарной медицинской помощи городскому населению // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007. – серия 11. – вып.1. – С. 136 – 139.
83. Плотников А.М., Рыжиков Ю.И., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Анализ современного состояния и тенденции развития имитационного моделирования в Российской Федерации (по материалам конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД)) // Труды СПИИРАН, Выпуск № 2 (25). Санкт-Петербург, 2013, - с. 42-112.
84. Примеры имитационных моделей [Электронный ресурс] // примеры имитационных моделей, построенных в среде AnyLogic. – Режим доступа: <http://headwire.narod.ru/>, www.runthemodel.com (дата обращения: 14.11.2022)
85. Путин М.Е. Планирование эффективности деятельности бюджетных медицинских учреждений // Экономика здравоохранения. — 2002. № 3. — С. 14-18.
86. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю. И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНАПринт; М.: Альтекс-А, 2004. - 384 с.
87. Стародубов, В.И. Основные положения концепции стандартизации медицинских услуг. / В.И. Стародубов, В.Ю. Семенов, П.А. Воробьев // Экономика здравоохранения. 1997. - №10. - С.5-10.

88. Стожаров В.В., Пенюгина Е.Н., Кечаева Н.В., Линец Ю.П., Павлыш А.В. Реорганизаций стационарной медицинской помощи городскому населению с позиций системного и ситуационного подхода // Экономика здравоохранения. – 2007. - № 2/3. – С. 9 -11.
89. 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.
90. Теплов В.М., Полушин Ю.С., Повзун А.С., Афанасьев А.А., Комедев С.С., Багненко С.Ф. Стационарное отделение скорой медицинской помощи и его роль в оптимизации работы отделений реанимации многопрофильного стационара // Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2017. №3. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statsionarnoe-otdelenie-skoroy-meditsinskoj-pomoschi-i-ego-rol-v-optimizatsii-raboty-otdeleniy-reanimatsii-mnogoprofilnogo-statsionara> (дата обращения: 09.05.2021).
91. Титов И.Г., Гончаров С.Ф., Бобий Б.В., Акинъшин А.В. Проблемные вопросы медицинской сортировки при террористических актах // Медицина катастроф. 2022. №3. С. 5-11.
92. Трухан А. П., Самохвалов И. М., Скакунова Т. Ю., Ряднов А. А. Особенности потока пострадавших при терактах в метрополитене. Вестник хирургии имени И. И. Грекова. 2020;179(5):16–20. DOI: 10.24884/0042-4625-2020-179-5-16-20
93. 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. DOI 10.25016/2541-7487-2018-0-4-47-58

94. Фисун А.Я., Самохвалов И.М., Бойков А.А., Парфенов В.Е., Бадалов В.И., Кипор Г.В. Ликвидация медико-санитарных последствий террористического акта: хронология события и клиника поражений. Медицина катастроф. 2018; 102(2): С. 22–24.
95. Форрестер Дж. Мировая динамика: пер. с англ. / Дж. Форрестер; под ред. Д. М. Гвишиани, Н. Н. Моисеева. М.: Наука, 1978. - 168 с.
96. Худолеева, О. Б. Медико-социальная оценка оптимизации ресурсов здравоохранения в условиях реализации территориальной программы государственных гарантий медицинской помощи населения: дисс. канд. мед. наук / Худолеева О. Б. – Хабаровск; 2004. – 24 с.
97. Цебровская Е.А., Красильников И.А., Теплов В.М., Коробенков А.Е. Использование FlexSim Healthcare в оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи// Труды Восьмой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (г. Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. - С. 592.
98. Цебровская Е.А., Теплов В.М., Ключковкин К.С. и др. Роль стационарного отделения скорой медицинской помощи в условиях массового поступления пострадавших в техногенных чрезвычайных ситуациях // Медицина катастроф. 2023. - №1. - С. 42-45.
99. Abelson H. and Sussman G. - Structure and Interpretation of Computer Programs. /MIT Press, Cambridge, Mass., USA, 2016. 855 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.mit.edu/6.001/6.037/sicp.pdf> (дата обращения: 09.05.2023).
100. Ajami S, Ketabi S, Yarmohammadian MH, Bagherian H. Waiting time in emergency department by simulation. Stud Health Technol Inform. 2011. Vol.164. Pp.196-200.
101. Amram O, Schuurman N, Hedley N, Hameed SM. A web-based model to support patient-to-hospital allocation in mass casualty incidents. J

- Trauma Acute Care Surg. 2012. 72(5). Pp. 1323–1328. doi: 10.1097/TA.0b013e318246e879. PM
102. Anagnostou A., Eatock J., and Taylor S. J. E., "Nosopolis: Towards a hybrid agent-based discrete event simulation tool for emergency medical services improvement," in Proc. Winter Simul. Conf., 2012. P. 365.
 103. Analysis of Emergency Medical Systems Across the World. [Electronic resource] URL: <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-042413-092332/unrestricted/MQFIQP2809.pdf> (date of access: 03.09.2021).
 104. Ansah JP, Ahmad S, Lee LH, Shen Y, Ong MEH, Matchar DB, Schoenenberger L. Modeling Emergency Department crowding: Restoring the balance between demand for and supply of emergency medicine. [Electronic resource] PLoS One. 2021 Jan 12;16(1): e0244097. doi: 10.1371/journal.pone.0244097.
 105. Ash JS, Berg M, et al. Some unintended consequences of information technology in health care: the nature of patient care information system-related errors. J Am Med Inform Assoc (2004). Vol. 11(2). Pp.104-12
 106. Asmussen, S., and P. W. Glynn. Stochastic simulation. New York: Springer. 2007. [Electronic resource] URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-69033-9> (paid access, date of access: 12.12.2021).
 107. Asperges E, Novati S, Muzzi A, Biscarini S, Sciarra M, Lupi M, et al. Rapid response to COVID-19 outbreak in Northern Italy: how to convert a classic infectious disease ward into a COVID-19 response centre. J Hosp Infect. 2020. Vol. 105 Pp. 477–479. doi: 10.1016/j.jhin.2020.03.020
 108. Bahadori M, Mohammadnejhad SM, Ravangard R, Teymourzadeh E. Using queuing theory and simulation model to optimize hospital pharmacy performance. Iran Red Crescent Med J. 2014 Mar;16(3):e16807. doi: 10.5812/ircmj.16807.

109. Banks, Carson, Nelson & Nicol Discrete-Event System Simulation [Electronic resource] URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/prez-banks-carson-nelson-nicol-2008.pdf> (date of access: 01.12.2021).
110. Bannister B, Puro W, Fusco FM, Heptonstall J, Ippolito J. Fundamentals for the design and operation of high-level isolators: a European Communicable Diseases Network consensus. *The lancet infect Dis.* 2009. Vol. 9. Pp. 45-56. doi: 10.1016/S1473-3099(08)70304-9
111. Baojun G., Wai Kin (Victor) Chan - Sub-lognormal size distribution of hospitals – an agent-based approach and empirical study. [Electronic resource] URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2013-gao-chan.pdf> (date of access: 01.12.2021).
112. Barabasi, A. L. and R. Albert. 1999. “Emergence of Scaling in Random Networks”. *Science.* Vol. 286. Pp. 509-512.
113. Becher RD, Sukumar N, DeWane MP, Gill TM, Maung AA, Schuster KM, Stolar MJ, Davis KA. Regionalization of emergency general surgery operations: A simulation study. *J Trauma Acute Care Surg.* 2020. Vol. 88(3) Pp. 366-371. doi: 10.1097/TA.0000000000002543. PMID: 31804419.
114. Bienstock J, Heuer A. A review on the evolution of simulation-based training to help build a safer future. *Medicine (Baltimore).* [Electronic resource] 2022. Vol. 101(25): e29503. doi: 10.1097/MD.00000000000029503.
115. Bipin Chadha - Using Data Science and Simulation to Create Business Value - Data Scientist Enterprise Data Analytics Office. 2015. [Electronic resource] URL: <https://www.anylogic.ru/upload/conference/2015/presentations/usaa.pdf> (date of access: 01.12.2021).
116. Blizzard, R. 2004. “Does Hospital Size Matter for Outpatient Test and Treatment Services?” [Electronic resource] URL: <http://www.gallup.com/poll/12601/does-hospital-size-matter-outpatient-test-treatment-services.aspx> (date of access: 01.12.2021).

117. Bornschein S, Erbas B, Borelli S, Emminger C, Hesse J, Pilz J, Schwarzkopf-Steinhauser G, Wenzl H, Kunze D, Borelli C. Arbeitszeit und Arbeitszufriedenheit angestellter und beamteter Ärzte in München. Ergebnisse einer anonymen Befragung [Working hours and job satisfaction among physicians in hospitals and general practice in Munich. Results of an anonymous questionnaire]. *Gesundheitswesen*. German. 2006. Vol. 68(8-9). Pp. 535-544. doi: 10.1055/s-2006-927070.
118. Carayon P, Schoofs Hundt A, Karsh BT, Gurses AP, Alvarado CJ, Smith M, Brennan PF: Work system design for patient safety: the seips model. *Qual Saf Health Care*. 2006. Vol. 15 S.1(1). Pp. 50 - 58. doi:10.1136/qshc.2005.015842
119. Carpenter CR, Mudd PA, West CP, Wilber E, Wilber ST. Diagnosing COVID-19 in the Emergency Department: A Scoping Review of Clinical Examinations, Laboratory Tests, Imaging Accuracy, and Biases. *Acad Emerg Med*. 2020. Vol. 27(8). Pp. 653-670. doi: 10.1111/acem.14048. Epub 2020 Jul 26.
120. Chan, W. K. V. 2008. "An Analysis of Emerging Behaviors in Large-Scale Queueing-Based Service Systems Using Agent-Based Simulation." In *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/221527473_An_analysis_of_emerging_behaviors_in_large-scale_queueing-based_service_systems_using_agent-based_simulation (date of access: 01.12.2021).
121. Chan, W. K. V., Y. J. Son and C. M. Macal. 2010. "Agent-Based Simulation Tutorial - Simulation of Emergent Behavior and Differences between Agent-Based Simulation and Discrete-EventSimulation." In *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*. Edited by B. Johansson, S.Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan and E. Yücesan, 135-150. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc.

- [Electronic resource] URL:
https://www.researchgate.net/publication/224209156_Agent-based_simulation_tutorial_-_Simulation_of_emergent_behavior_and_differences_between_agent-based_simulation_and_discrete-event_simulation (date of access: 21.12.2021).
122. Daldoul D, Nouaouri I, Bouchriha H, Allaoui H. Simulation-based optimisation approach to improve emergency department resource planning: A case study of Tunisian hospital. *Int J Health Plann Manage*. 2022. Vol. 37(5). Pp. 2727-2751. doi: 10.1002/hpm.3499.
123. Dubé M, Kaba A, Cronin T, Barnes S, Fuselli T, Grant V. COVID-19 pandemic preparation: using simulation for systems-based learning to prepare the largest healthcare workforce and system in Canada. *Adv Simul (Lond)*. 2020. Vol. 18. Pp.5-22. doi: 10.1186/s41077-020-00138-w.
124. E Oliveira BRP, de Vasconcelos JA, Almeida JFF, Pinto LR. A Simulation-Optimisation approach for hospital beds allocation. *Int J Med Inform*. [Electronic resource] 2020. Vol. 141. N.104174. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104174. Epub 2020 Jun 10. PMID: 32682318.
125. Emerson E, Reeves DJ, Felce D: Palmtop computer technologies for behavioral observation research. In *Behavioral observation: Technology and applications in developmental disabilities* Edited by: Thompson DF, Symons FJ. Baltimore: Brookes; 2000. Pp. 47-60.
126. Escudero-Marin P. and Pidd M., ``Using ABMS to simulate emergency [Electronic resource] URL: <https://informs-sim.org/wsc11papers/111>. (date of access: 18.11.2022).
127. Farmer RDT and Emami J. Models for forecasting hospital bed requirements in the acute sector. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 1990. Vol. 44. Pp. 307-312.
128. Fee, Weber E.J., Maak C.A. et al. Effect of emergency department crowding on time to antibiotics in patients admitted with community-

- acquired pneumonia. *Ann Emerg Med* 2007. Vol. 50. Pp. 501-509. doi: 10.1016/j.annemergmed.2007.08.003
129. Fujimoto, R., D. Lunceford, E. Page, and A. M. Uhrmacher. Grand challenges for modeling and simulation. [Electronic resource] URL: <https://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2021/15231/pdf/DagSemRep-350.pdf> (date of access: 18.11.2022).
130. Guidelines for essential trauma care/Injuries and Violence Prevention Department, World Health Organization and the International Association for the Surgery of Trauma and Surgical Intensive Care (IATSIC), International
131. Guidelines for Hospital Emergency Preparedness Planning. GOI-UNDP DRM Programme India. 2002-2008: [Electronic resource] URL: http://sdmassam.nic.in/pdf/publication/undp/guidelines_hospital_emergency.pdf (date of access: 13.10.2022).
132. Hall, R. W. 2006. *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery*. Springer. [Electronic resource] URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-33636-7> (paid access, date of access: 25.09.2020).
133. Hardy C., Whitwell D., Sarsfield B., Maimaris C. Admission avoidance and early discharge of acute hospital admissions: an accident and emergency based scheme *Emerg Med J* 2001. Vol. 18. Pp. 435–441.
134. Hersche B., Wenker O. Principles of planning hospital accidents. *Online Journal of Rescue and Disaster Medicine*. 1999. Vol. 1 N2. [Electronic resource] URL: <https://ispub.com/IJRDM/1/2/13058> (paid access, date of access: 24.12.2021).
135. Hessem S. Sarjoughian, Bernard P. Zeigler, Steven B. Hall – A Layered modeling and simulation architecture for agent-based system development [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/2985804_A_layered_modeling_and

- simulation_architecture_for_agent-based_system_development (date of access: 24.12.2021).
136. Internet resource. Guidelines for Hospital Emergencies Preparedness Planning, GOI-UNDP DRM Programme, URL: /publication/undp/guidelines_hospital_emergency.pdf (date accessed: 05.01.2023).
137. Internet resource, Simulation Software, free access mode URL: <http://simulation.su/static/ru-soft.html> (date accessed: 01.10.2020).
138. Internet. Chrysa C., Emergency Medicine Clerkship Primer URL: <https://geiselmed.dartmouth.edu/emig/pdf/Emergency%20Medicine%20Primer.pdf> (date accessed: 05.11.2022).
139. Internationals website, COVID-19 Statistic, [Electronic resource] URL: <https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> (updated daily, date accessed: 01.05.2020).
140. Internet official website, Flexsim Software [Electronic resource] URL: <https://healthcare.flexsim.com> (paid access, date accessed: 08.11.2017).
141. Internet scientific journal, Bannister B., Puro W., Fusco F., Heptonstall J., Ippolito G. Fundamentals of design and operation of high-level isolators: European Communicable Diseases Network consensus. [Electronic resource] URL: [https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099\(08\)70304-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099(08)70304-9/fulltext) (updated daily, date accessed: 01.05.2020).
142. Internet. Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo. [Electronic resource] URL: <http://www.sanmatteo.org/site/home.html> (updated daily, date accessed: 09.10.2021).
143. Internet scientific journal, Health care system in the USA, [Electronic resource] URL: https://www.bsmu.by/downloads/kafedri/k_inostr_yaz/2016-1/usahnew.pdf (date accessed: 09.10.2021).

144. Internet official website, Flexsim Software, [Electronic resource]
URL: <https://www.flexsim.com/healthcare/case-studies/better-decisions-emergency-department/> (paid access, date accessed: 08.11.2017).
145. Internet official website, Flexsim Software, [Electronic resource]
URL: <https://www.flexsim.com/healthcare/case-studies/getting-most-from-additional-building/> (paid access, date accessed: 08.11.2017).
146. Internet official website, Flexsim Software, [Electronic resource]
URL: <https://www.flexsim.com/healthcare/case-studies/preparing-mass-patient-move/> (paid access, date accessed: 08.11.2017).
147. Internet scientific journal. Navin P., Vipin K., Goverdhan D. [et al] Transforming a General Hospital to an Infectious Disease Hospital for COVID-19 Over 2 Weeks URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.00382/full> (updated daily, date accessed: 08.11.2021).
148. Internet scientific journal. The Evolving Role of Emergency Departments in the United States [Electronic resource] URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR200/RR280/RAND_RR280.pdf (date accessed: 08.11.2021).
149. Internet official website, World Health Organisation [Electronic resource] URL: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/clinical-management-of-novel-cov.pdf> (date accessed: 15.03.2020).
150. Internet official website, World Health Organisation [Electronic resource] URL: <https://www.who.int/ru> (updated daily, date accessed: 15.03.2020).
151. Isken M., Rajagopalan B. Data mining to Support simulation modelling of patient flow in hospitals. *Journal of Medical Systems*. 2009. Vol. 29(2). Pp.179-196.
152. Jiménez AC, Anzola JP, García-Díaz V, González Crespo R, Zhao L. PyDSLRep: A domain-specific language for robotic simulation in V-Rep.

- [Electronic resource] PLoS One. 2020. Vol.15(7): e0235271. doi: 10.1371/journal.pone.0235271.
153. Jones S. S. and Evans R. S., "An agent based simulation tool for scheduling emergency department physicians," in Proc. AMIA Annu. Symp., 2008. Pp. 338-342.
 154. Jun, J. B., S. H. Jacobson, and J. R. Swisher. Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey. *Journal of the Operational Research Society*. 1999. Vol. 50. Pp. 109–123.
 155. Khan AS, Sattar A. Time to bring emergency medicine to the limelight in developing countries to fight pandemics like SARS-CoV-2 effectively. *Emerg Med J*. 2020. Vol. 37(11). P.733. doi: 10.1136/emered-2020-210089.
 156. Kreke JE, Schaefer AJ, Roberts MS: Simulation and critical modeling. *Curr Opin Crit Care* 2004. Vol. 10. Pp.395–398.
 157. Kuljis, J., R. J. Paul, and L. K. Stergioulas. 2007. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/221526952_Can_health_care_benefit_from_modeling_and_simulation_methods_in_the_same_way_as_business_and_manufacturing_has (date accessed: 15.03.2020).
 158. Laker LF, Torabi E, France DJ, Froehle CM, Goldlust EJ, Hoot NR, Kasaie P, Lyons MS, Barg-Walkow LH, Ward MJ, Wears RL. Understanding Emergency Care Delivery Through Computer Simulation Modeling. *Acad Emerg Med*. 2018. Vol. 25(2). Pp. 116-127. doi: 10.1111/acem.13272.
 159. Laskowski M., Demianyk B., Friesen M. R., and McLeod R. D., "Uncertainties inherent in RFID tracking systems in an emergency department," in Proc. WHCM. 2010. Pp. 1-6.
 160. Lattimer V, Brailsford S, Turnbull J, Tarnaras P, Smith H, George S, Gerard K and Maslin-Prothero S. Reviewing emergency care systems, I:

- insights from system dynamics modelling. *Emergency Medicine Journal*. 2004. Vol. 21(6). Pp. 685-91.
161. Liao, X., Wang, B. & Kang, Y. Novel coronavirus infection during the 2019–2020 epidemic: preparing intensive care units—the experience in Sichuan Province, China. *Intensive Care Med*. 2020. Vol. 46. Pp. 357–360.
162. Lowery JC, Martin JB. Design and validation of a critical care simulation model. *J Soc Health Syst*. 1992;3(3):15-36. PMID: 1391741.
163. Lynch C., Padilla J., Diallo S., Sokolowski J., Banks C., Proceedings of the 2014 Winter Simulation. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/282955049_A_multi-paradigm_modeling_framework_for_modeling_and_simulating_problem_situations (date accessed: 11.08.2019).
164. Mackay M., Qin S., Clissold A., Hakendorf P., Ben-Tovim D., McDonnell G. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, [Electronic resource] URL: <http://www.mssanz.org.au/modsim2013> (date accessed: 11.08.2019).
165. Michelle Alvarado, PhD Mark Lawley, PhD Yan Li, PhD - New York Academy of Medicine – 2015 [Electronic resource] URL: <https://www.anylogic.ru/upload/conference/2015/presentations/texasaandm.pdf> (date accessed: 11.08.2019).
166. Modeling and Simulation Information Analysis Center, D., Simulation Based Acquisition, Special - Interest Area, 2000. [Electronic resource] URL: <http://www.msosa.mil.inter.net/sba/documents.asp>. (date accessed: 11.08.2019).
167. MOHFW. SOP for Reallocation of Residents/PG Students and Nursing Students as Part of Hospital Management of COVID. (2020). [Electronic resource] URL: <https://www.mohfw.gov.in/pdf/COVID19SOPfordoctorsandnurses.pdf> (date accessed: 18.07.2020).

168. Muller, J.P. and M. Pishel, An Architecture for Dynamically Interacting Agents. *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, 1994. Vol. 3(1). Pp. 25-45.
169. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2007. *Hospital-Based Emergency Care: At the Breaking Point*. [Electronic resource] URL: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/11621/hospital-based-emergency-care-at-the-breaking-point> (paid access, date accessed: 24.12.2018).
170. Nawzat S. Ahmed– Fractal-based model to improve cooperation among physicians in distributed healthcare information systems – Faculty of computer science and information technology university of Malaya Kuala Lumpur – 2013 [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/349663181_A_FRACTAL-BASED_MODEL_TO_IMPROVE_COOPERATION_AMONG_PHYSICIANS_IN_DISTRIBUTED_HEALTHCARE_INFORMATION_SYSTEMS (date accessed: 24.12.2018).
171. Pan A, Liu L, Wang S, Guo X, Hao X, Wang Q, et al. Linking public health interventions to the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China. *JAMA*. 2020. Vol. 323. Pp. 1915-1923. doi:10.1001/jama.2020.6130
172. Pandey N, Kaushal V, Puri GD, Taneja S, Biswal M, Mahajan P, Guru RR, Malhotra P, Sehgal IS, Dhooria S, Muthu V and Agarwal R Transforming a General Hospital to an Infectious Disease Hospital for COVID-19 Over 2 Weeks. *Front. Public Health*. 2020. Vol. P. 382. doi: 10.3389/fpubh.2020.00382
173. Patrick E., Christoph U. - Simulation Modelling Basedon HealthCare Routine Data - AnyLogicConcerence – 2013 [Electronic resource] URL: https://www.anylogic.ru/upload/presentations/alc-2013/AnylogicConference2013_Presentation_Einzinger_Urach.pdf (date accessed: 24.12.2018).

174. Pradelli F, Minervini G, Tosatto SCE. Mocafe: a comprehensive Python library for simulating cancer development with Phase Field Models. *Bioinformatics*. 2022. Vol. 38(18). Pp. :4440-4441. doi: 10.1093/bioinformatics/btac521.
175. Ramachandran R, Kularathna AHTS, Matsuda H, Takagi K. Information flow to increase support for tidal energy development in remote islands of a developing country: agent-based simulation of information flow in Flores Timur Regency, Indonesia. *Energy Sustain Soc*. 2021. Vol. 11(1). P. 26. doi: 10.1186/s13705-021-00302-8.
176. Schaumann D., Putievsky N., Datem K. and Yehuda E. Kalay -A study of human behavior simulation in architectural design for healthcare facilities. [Electronic resource] URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27033615/> (date accessed: 21.12.2018).
177. Sibbel R. and Urban C., "Agent-based modeling and simulation for hospital management," in *Cooperative Agents: Applications in the Social Sciences*, N. J. Saam and B.Schmidt, Eds. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic. 2001. Pp. 183-199.
178. Simeone D, Kalay YE. An event-based model to simulate human behaviour in built environments. In: *Education and research in computer aided architectural design in Europe. Proceedings*. Prague. 2012. Pp.525-32.
179. Sinreich, D., and Marmor Y. N. Emergency department operations: the basis for developing a simulation tool. *IIE Transactions*. 2005. Vol. 37. Pp. 233–245.
180. Sinreich, D., and O. Jabali. Staggered work shifts: a way to downsize and restructure an emergency department work-force yet maintain current operational performance. *Health Care Management Sciences*. 2007. Vol. 10. Pp. 293–308.
181. Sklar, David P. MD; Handel, Daniel A. MD, MPH; Hoekstra, James MD; Baren, Jill M. MD, MBE; Zink, Brian MD; Hedges, Jerris R. MD. The

- Future of Emergency Medicine: An Evolutionary Perspective. *Academic Medicine*. 2010. Vol. 85(3). Pp. 490-495.
182. Sorokin D.E. Aivika: Computation-based Modeling and Simulation in Haskell [Electronic resource] URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2017-uch-posob-sorokin-aivika.pdf>
183. Understanding Emergency Care Delivery through Computer Simulation Modeling. - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28796433> (date accessed: 21.12.2018).
184. Washington, DC - Institute of Medicine. Keeping patients safe: transforming the work environment of nurses. [Electronic resource] URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25009849/> (date accessed: 11.11.2019).
185. Wiler JL, Griffey RT, Olsen T. Review of modeling approaches for emergency department patient flow and crowding research. *Acad Emerg Med*. 2011. Vol. 18(12). Pp.1371-1379.
186. Wong, C., G. Geiger, Y. D. Derman, C. R. Busby, and M. W. Carter. 2003. [Electronic resource] URL: <https://informs-sim.org/wsc03papers/245.pdf> (date accessed: 11.11.2019).
187. Wu J, Chen B, Wu D, Wang J, Peng X, Xu X. Optimization of Markov Queuing Model in Hospital Bed Resource Allocation. *J Healthc Eng*. [Electronic resource] URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33489058/> (date accessed: 15.01.2021).
188. Xiao Lu, Shanxiang Xu. Important role of emergency department doctors after the outbreak of COVID-19 in China. Correspondence to Dr Xiao Lu, Department of Emergency Medicine, Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, HangZhou 310011, China [Electronic resource] URL: <http://dx.doi.org/10.1136/emmermed-2020-209633> (date accessed: 15.01.2022).
189. Young T, Eatock J, Jahangirian M, Naseer A, Lilford R: Three critical challenges for modeling and simulation in healthcare. *Proceedings -Winter Simulation Conference 2009*. Pp.1823–1830.

190. Zeigler, B.P., et al. Bandwidth Utilization/Fidelity Tradeoffs in Predictive Filtering. in Simulation Interoperability Workshop. [Electronic resource] URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bandwidth-Utilization-Fidelity-Tradeoffs-in-1-Zeigler-Ball/bb1518ef4d4b685b70678da1c14275a2f4162fff> (date accessed: 15.01.2022).
191. Zhu H., Wang L., Fang C., Peng S., Zhang L., Chang G. [et al]. Clinical analysis of 10 neonates born to mothers with 2019-nCoV pneumonia. *Transl. Pediatr.* 2020. Vol. 9(1). Pp. 51-60.
192. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China 2019. 2020. Vol. 382. Pp. 727–33. doi: 10.1056/NEJMoa2001017

Карта исходных данных (Приложение А)

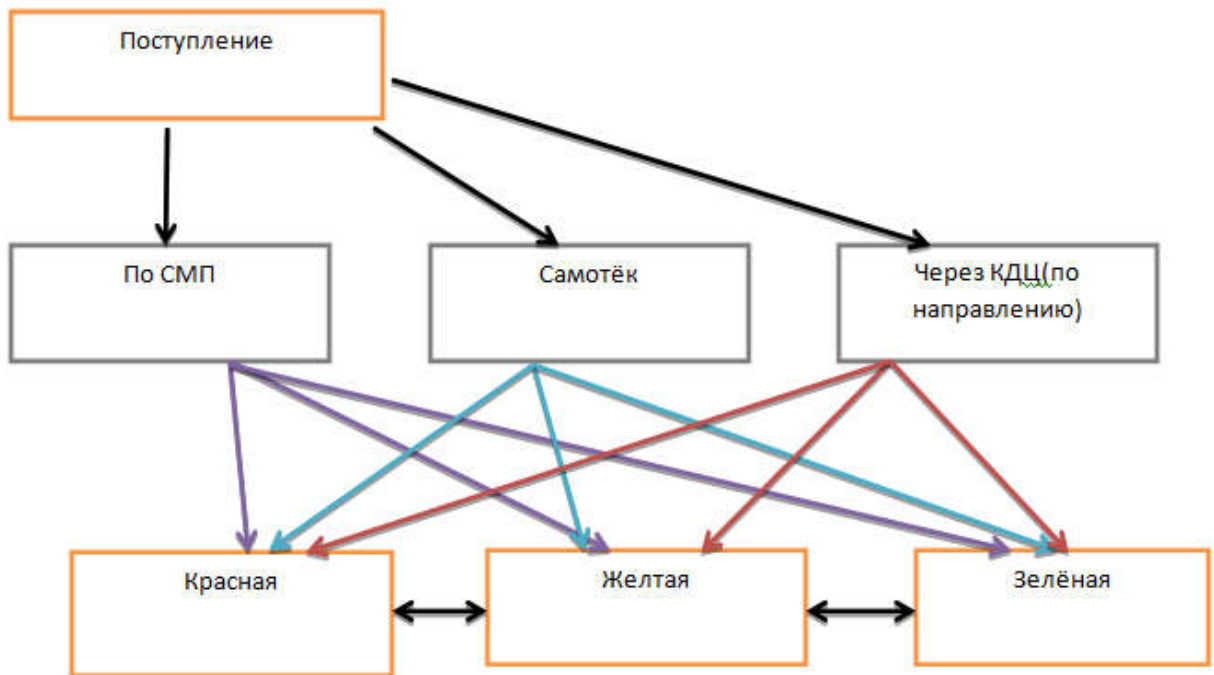
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1			Карта исходных данных														
2			Число поступающих пациентов (минимум, максимум, мода)														
3				с 8.00 до 16.00						с 16.00 до 8.00							
4	Поступление	способ перемещения	зона поступления	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	

Карты пациента (Приложение Б)

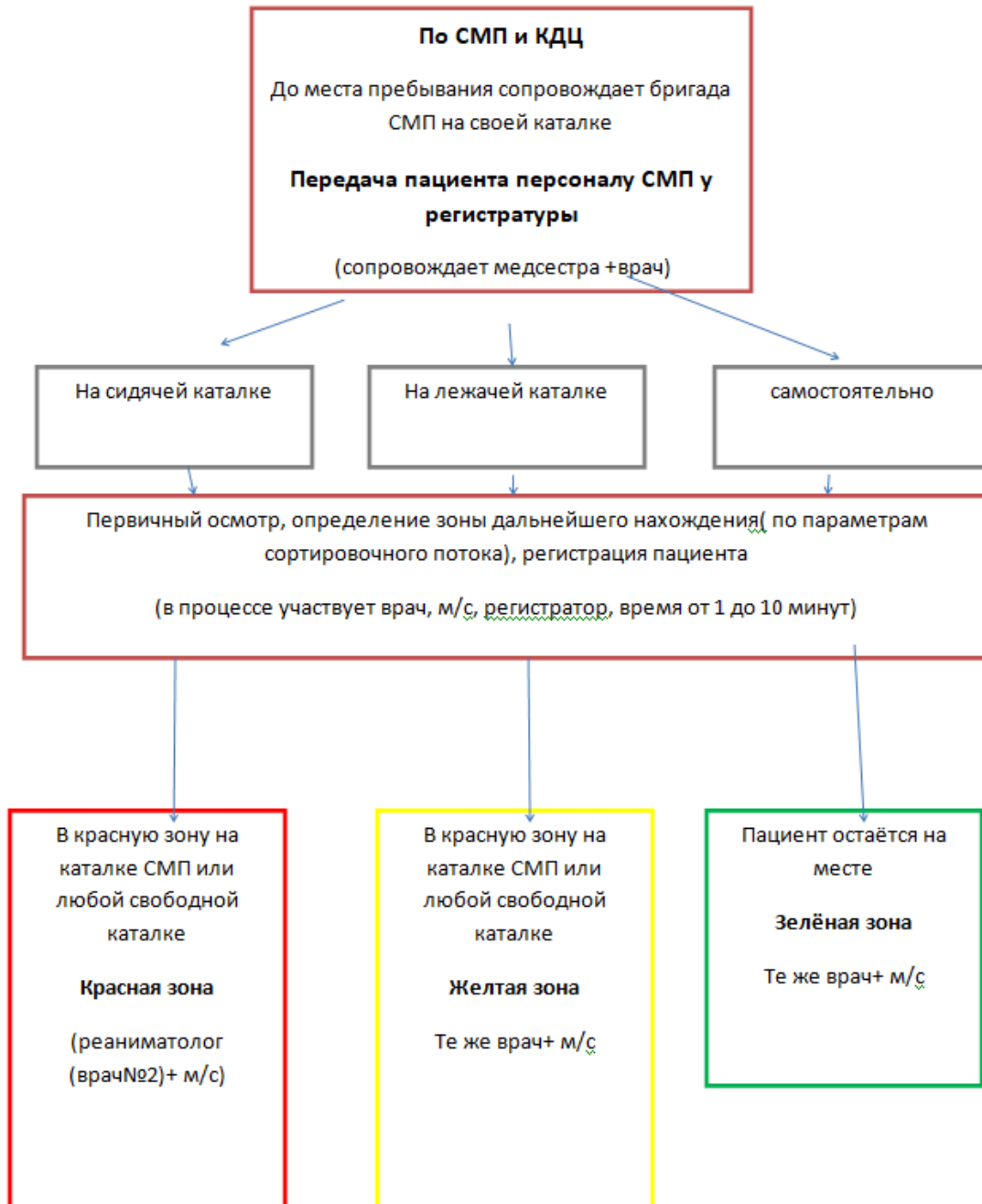
Пациент №		
Дата и время поступления		
Способ поступления		
Способ перемещения		
Длительность оформления		
Длительность Тriage		
Длительность осмотра медсестры		
Длительность забора крови		
Длительность выполнения ЭКГ		
Длительность первичного осмотра врача		
УЗ-скрининг		
Лечебные манипуляции		
Длительность манипуляций на месте		
Длительность манипуляций и перемещение пациента в другой кабинет		
Обследования		
Консультация специалистов		
Длительность		
Способ перемещения		
Эндоскопия		
Длительность		
Способ перемещения		
МРТ		
Длительность		
Способ перемещения		
МСКТ		
Длительность		
Способ перемещения		
ЭХО		
Длительность		
Способ перемещения		
УЗИ		
Длительность		
Способ перемещения		
Рентген		
Длительность		
Способ перемещения		
Итог госпитализации		
Дата и время выписки/перевода из отделения		
Время проведённое в СтОСМП		

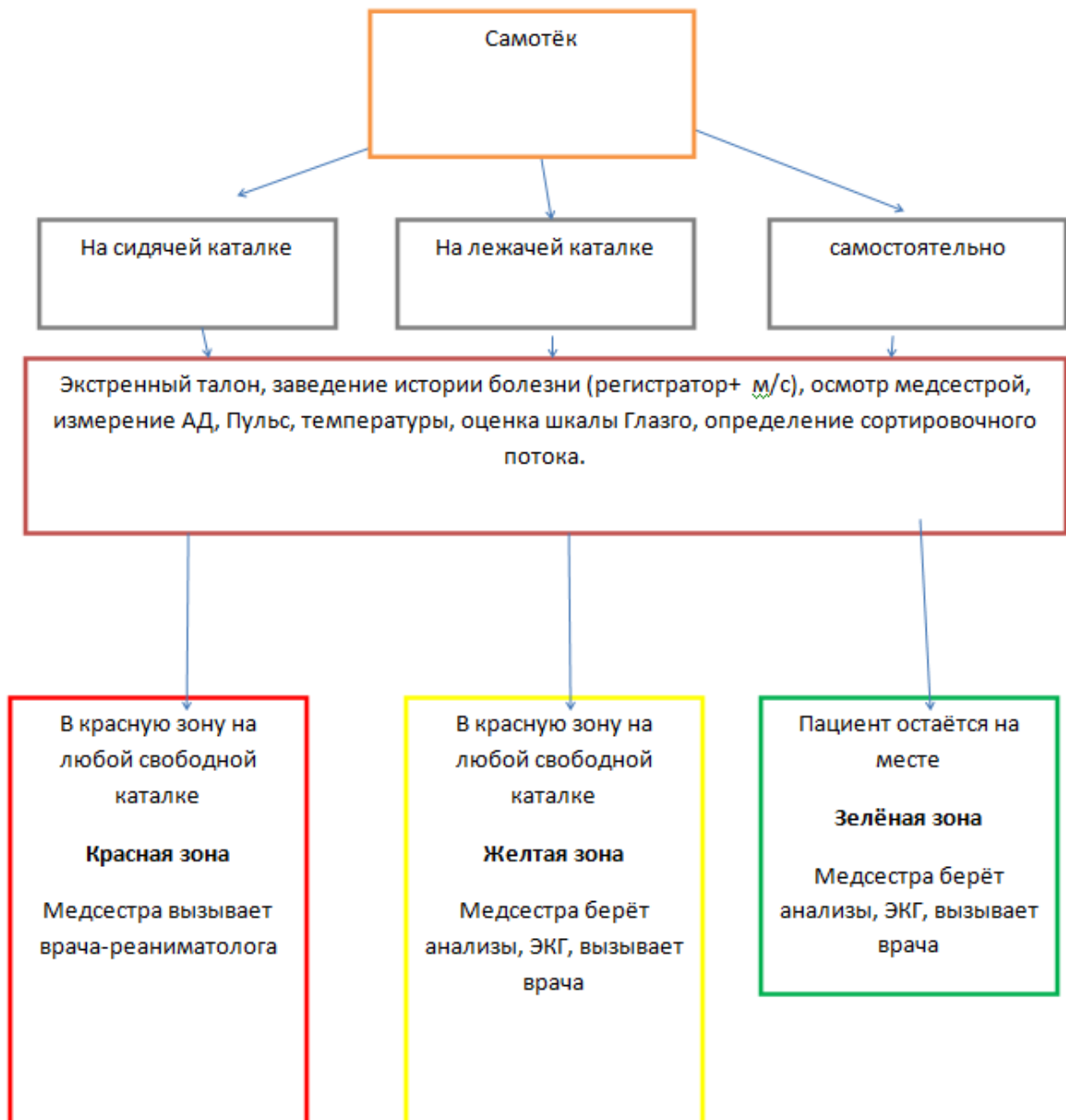
Карты сценариев (Приложение В)

Исследуемые параметры	Исходная модель	Сценарий1	Сценарий 2	Сценарий n																																				
Длительность эксперимента																																								
Входящий поток пациентов																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Зона</th> <th style="width: 50%;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>красная</td><td></td></tr> <tr><td>желтая</td><td></td></tr> <tr><td>зелёная</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Зона	%	красная		желтая		зелёная		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Зона</th> <th style="width: 50%;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>красная</td><td></td></tr> <tr><td>желтая</td><td></td></tr> <tr><td>зелёная</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Зона	%	красная		желтая		зелёная		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Зона</th> <th style="width: 50%;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>красная</td><td></td></tr> <tr><td>желтая</td><td></td></tr> <tr><td>зелёная</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Зона	%	красная		желтая		зелёная		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Зона</th> <th style="width: 50%;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>красная</td><td></td></tr> <tr><td>желтая</td><td></td></tr> <tr><td>зелёная</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Зона	%	красная		желтая		зелёная						
Зона	%																																							
красная																																								
желтая																																								
зелёная																																								
Зона	%																																							
красная																																								
желтая																																								
зелёная																																								
Зона	%																																							
красная																																								
желтая																																								
зелёная																																								
Зона	%																																							
красная																																								
желтая																																								
зелёная																																								
Число одномоментного поступления пациентов																																								
Штатное расписание																																								
Кочный фонд																																								
Частота проводимых событий на модели, %																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>УЗИ</td></tr> <tr><td>РГ</td></tr> <tr><td>МСКТ</td></tr> <tr><td>МРТ</td></tr> <tr><td>Эндоскопия</td></tr> <tr><td>Консультации специалистов</td></tr> <tr><td>Перевод в другую зону</td></tr> </tbody> </table>	УЗИ	РГ	МСКТ	МРТ	Эндоскопия	Консультации специалистов	Перевод в другую зону	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> </tbody> </table>											<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> </tbody> </table>											<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> </tbody> </table>										
УЗИ																																								
РГ																																								
МСКТ																																								
МРТ																																								
Эндоскопия																																								
Консультации специалистов																																								
Перевод в другую зону																																								

Карты концептуальной модели (Приложение Г)

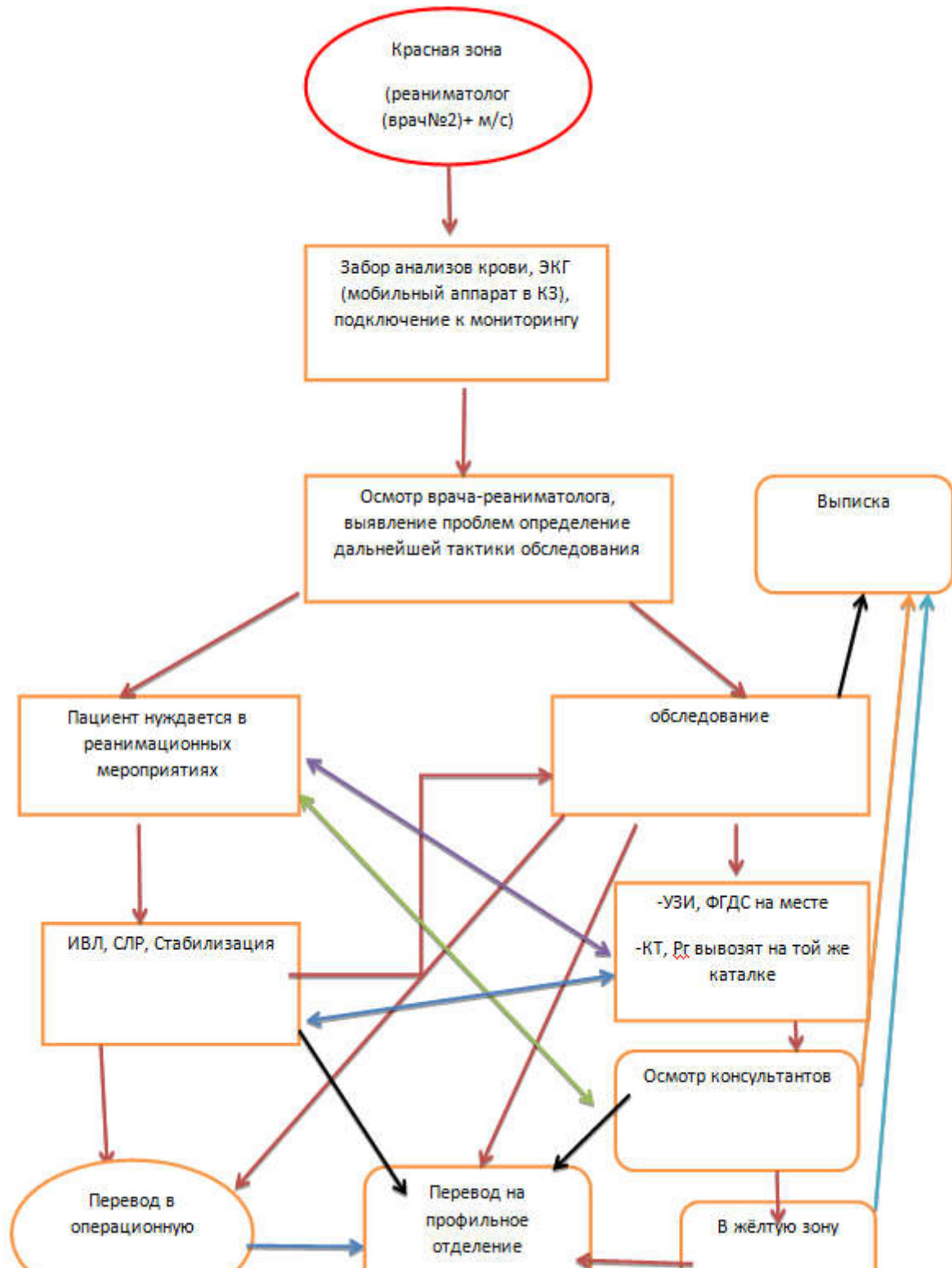
Карты концептуальной модели (Приложение Г) продолжение



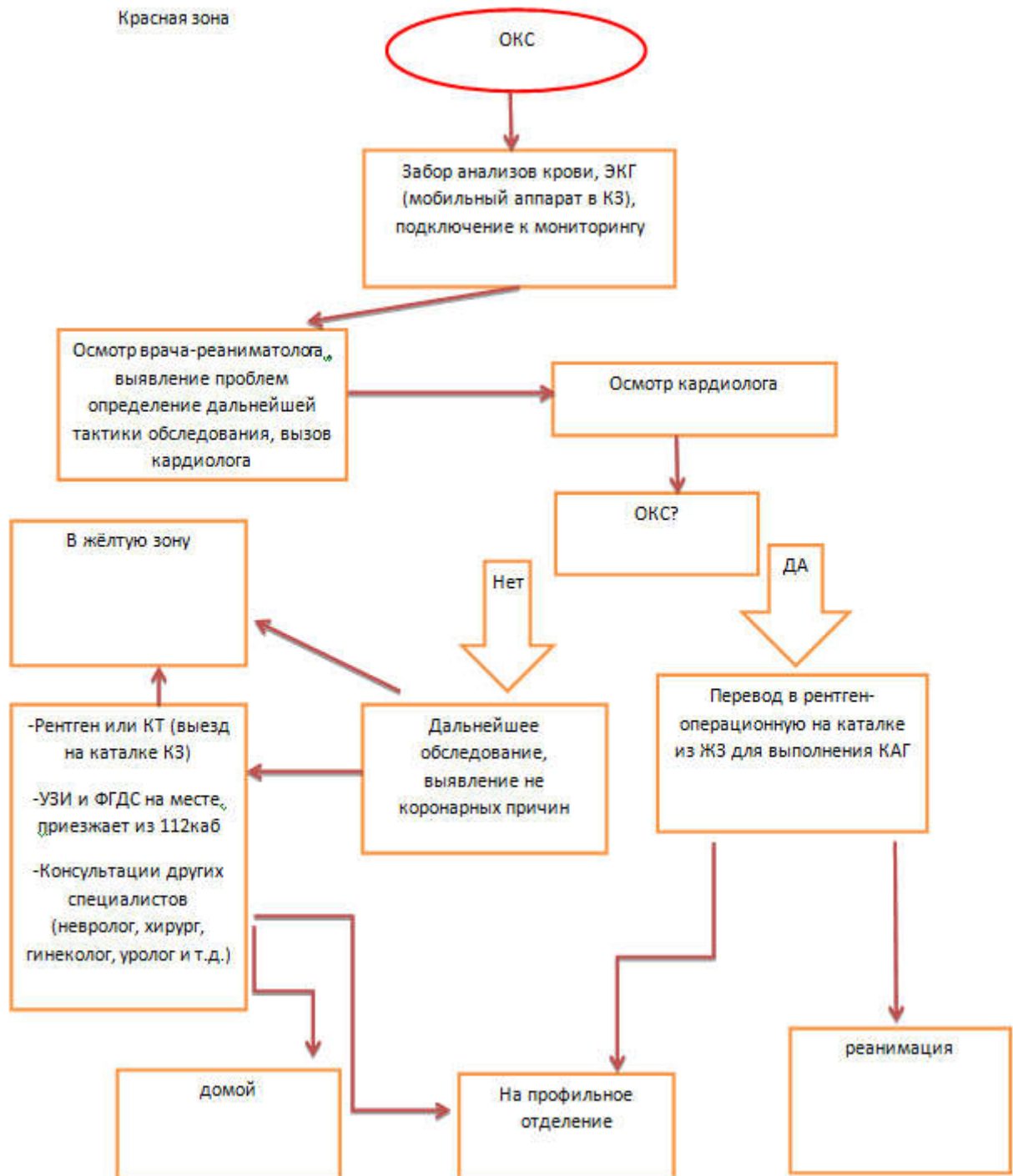
Карты концептуальной модели (Приложение Г) продолжение

Карты концептуальной модели (Приложение Г) продолжение

В красную зону на каталке СМП или любой свободной каталке

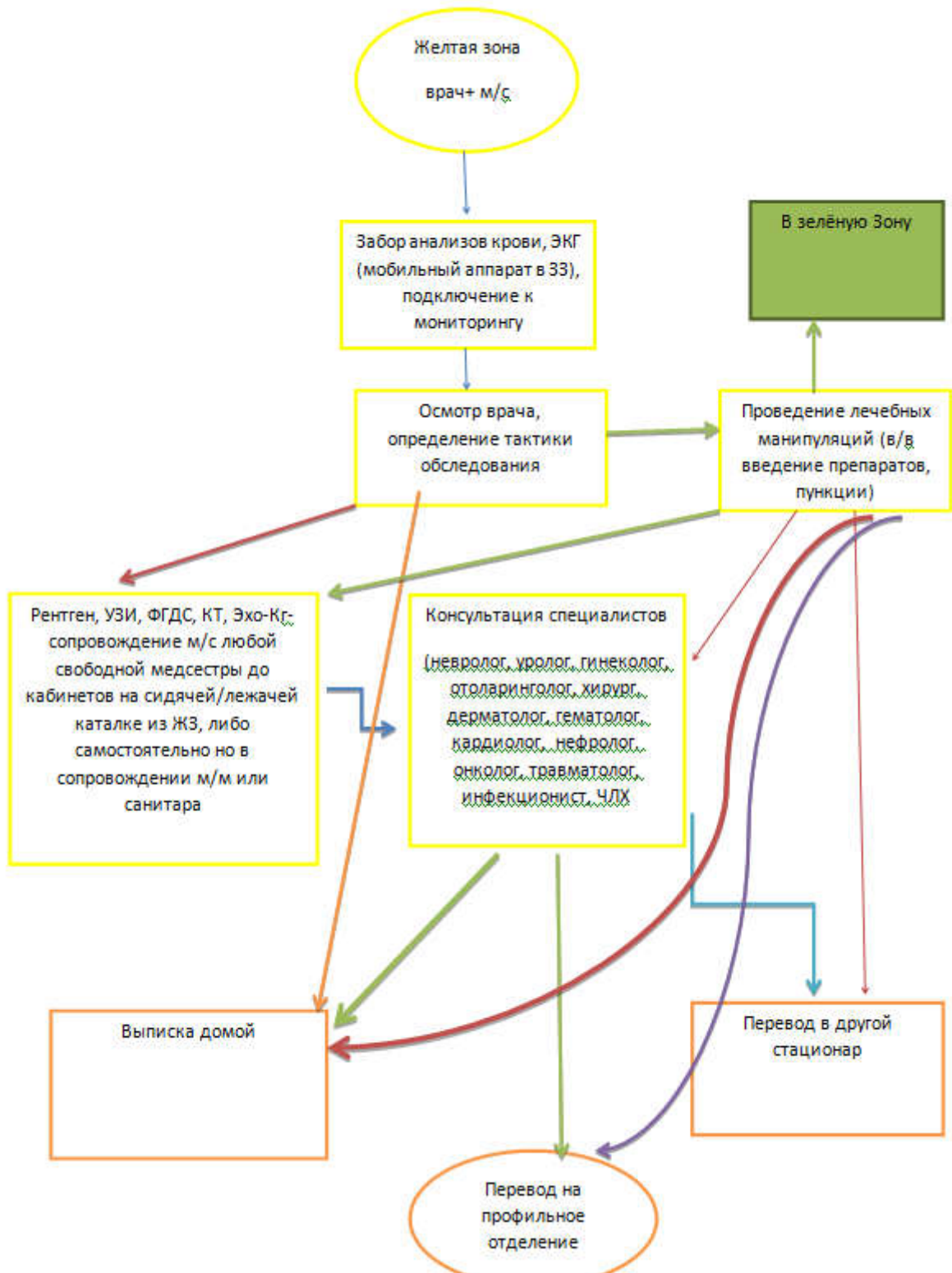


Карты концептуальной модели (Приложение Г) продолжение



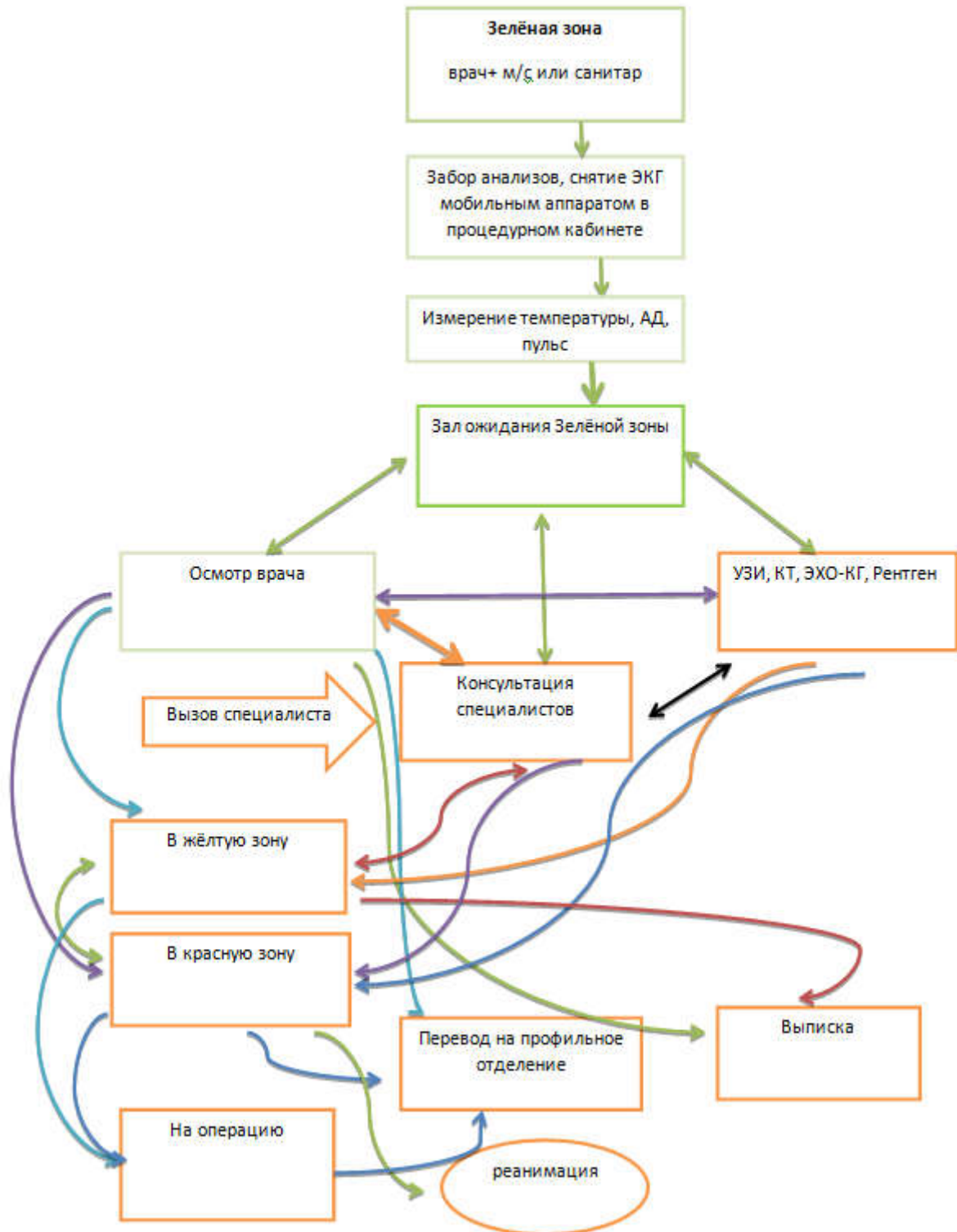
Карты концептуальной модели (Приложение Г) продолжение

Жёлтая Зона



Карты концептуальной модели (Приложение Г) продолжение

Зелёная Зона



Карты тестирования модели (Приложение Е)

№ итерации	Валидация модели (+/-)	Верификация модели (+/-)	Валидация данных(+/-)	Достижение адекватности (+/-)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				

