

Введение

Массовые скопления людей являются неотъемлемой частью жизни любого современного общества. Очереди образуются на входах и выходах в метро, аэропорты, вокзалы, концертные залы, места проведения митингов и шествий, что приводит к массовому скоплению людей, нахождение в которых оказывается, как показывает история, потенциально опасными для их участников. Напомним некоторые трагические события с участием большого количества людей, завершившиеся давкой и массовой гибелью ее участников: давку во время коронации Николая II на Ходынском поле в Москве 4 мая 1896 г. (1379 человек убиты и более 900 ранены); давку во время похорон И.В. Сталина 9 марта 1953 г. (данные о количестве жертв отсутствуют или засекречены); давки, возникшие во время проведения футбольных матчей, — Большая спортивная арена Центрального стадиона им. В.И. Ленина, Москва, 20 октября 1982 г. (66 погибших); стадион «Хиллсборо», г. Шеффилд, 15 апреля 1989 г. (96 погибших, 766 пострадавших); стадион г. Порт-Саид, Египет, 1 февраля 2012 г. (73 погибших) и др. Таким образом, обеспечение безопасности участников массовых мероприятий и недопущение повторения трагических событий по-прежнему остается актуальной задачей.

Сегодня для снижения рисков возникновения нештатных ситуаций на этапе входа участников на объект проведения массовых мероприятий и их выхода с объекта по его окончанию (в первую очередь, футбольные стадионы) используют информационные контрольно-пропускные системы (ИКПС), одним из компонентов которых являются турникеты, обеспечивающие автоматизированную проверку билетов и управление потоками участников. При этом понятно, что проектирование и модернизация подобных систем для объектов проведения массовых мероприятий, предназначенных для размещения нескольких десятков тысяч участников, является нетривиальной задачей, в ходе решения которой, исходя из априори ожидаемых количественных характеристик очередей посетителей, необходимо обос-

новать выбор типа и числа турникетов, мест их размещения. Также отметим, что информация о количественных характеристиках ожидаемых потоков посетителей планируемого массового мероприятия необходима представителям службы безопасности для превентивной разработки адекватных мер по обеспечению безопасности участников массового мероприятия.

Традиционным методом решения обсуждаемых задач являются методы аналогии и масштабирования ранее найденных решений (например, увеличение числа турникетов ИКПС пропорционально увеличению максимальной вместимости объекта проведения массового мероприятия). Однако выбранные технические решения, полученные на основе использования данных методов, как показывает практика, далеко не всегда оказываются оптимальными. При этом обнаружить их недостатки, которые не позволяют обеспечить требуемый уровень безопасности, удается только на практике. (Например, недостатки ИКПС стадиона «Лужники», модернизированного в преддверии чемпионата мира по футболу 2018 г., были обнаружены только в ходе проведения футбольного матча между сборными Аргентины и Российской Федерации 11 ноября 2017 г. При этом понятно, что их устранение потребовало дополнительных материальных и финансовых расходов.)

В этой связи разработка научно-обоснованных подходов, обеспечивающих принятие правильных технических решений в части выбора технических характеристик турникетов ИКПС и их числа, а также получение оценок количественных показателей потоков посетителей массовых мероприятий, является актуальной задачей.

Цель исследования — разработка специального математического и алгоритмического обеспечения для анализа динамики контрольно-пропускных систем объектов проведения массовых мероприятий и исследование особенностей функционирования ИКПС объектов проведения массовых мероприятий с целью получения оценок количественных макроскопических показателей нестационарной системы массового обслуживания (НСМО), представляющих практический интерес для разработчиков и владельцев объектов проведения массовых мероприятий, а также служб безопасности данных объектов.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **основные задачи исследования**:

- анализ состояния предметной области;
- разработка алгоритма имитационного моделирования НСМО, у которой интенсивность поступления заявок на вход $\lambda(t)$ подобна интенсивности потока посетителей объектов проведения массо-

вых мероприятий, и его программная реализация;

- исследование особенностей функционирования выбранного типа одноканальных и многоканальных НСМО;
- разработка методики решения задач, возникающих на этапах проектирования, эксплуатации и модернизации ИКПС объектов проведения массовых мероприятий с помощью разработанных математических моделей и их программных реализаций.

Объектом исследования являются ИКПС объектов проведения массовых мероприятий.

Предметом исследования является математическое и программное обеспечение для анализа особенностей функционирования ИКПС объектов проведения массовых мероприятий.

Методы исследования. Для решения задач исследования в работе использованы методы теории массового обслуживания, непараметрической математической статистики, компьютерного моделирования.

Научная новизна результатов, полученных в проведенном исследовании, заключается:

- в обосновании возможности использования вместо непрерывной функции $\lambda(t)$ ее кусочно-постоянной аппроксимации, что эквивалентно описанию динамики НСМО на последовательных временных интервалах, длительность которых мала в сравнении с длительностью интервала моделирования, как последовательности состояний стационарной системы массового обслуживания (СМО), начальные условия функционирования которой на данном временном интервале совпадают с конечным состоянием СМО на предыдущем временном интервале;
- обосновании совокупности макроскопических показателей, достаточных для описания динамики НСМО, у которой интенсивность поступления заявок на обслуживание $\lambda(t)$ подобна интенсивности потока посетителей объектов проведения массовых мероприятий;
- нахождении функциональных зависимостей макроскопических показателей НСМО из выбранной совокупности показателей, характеризующих динамику НСМО, от параметров функции $\lambda(t)$ и энергии случайной составляющей интенсивности поступления заявок на обслуживание;
- доказательстве отсутствия влияния политики выбора посетителем турникета (с наименьшей длиной очереди или случайного турникета) на количественные характеристики в перегруженном режиме.

Теоретическая значимость исследования состоит в обосновании возможности описания динамики НСМО, у которой интенсивность поступления заявок на обслуживание $\lambda(t)$ подобна интенсивности потока посетителей объектов проведения массовых мероприятий, с помощью набора макроскопических количественных характеристик, стационарных во времени.

Практическая значимость исследования заключается в разработке:

- алгоритма имитационного моделирования ИКПС, у которой интенсивность поступления заявок на обслуживание $\lambda(t)$ подобна интенсивности потока посетителей объектов проведения массовых мероприятий, и его программной реализации;
- методических рекомендаций по использованию разработанного программного инструмента для оценивания макроскопических показателей динамики НСМО на этапах проектирования ИКПС и подготовке к проведению массового мероприятия;
- научно-обоснованных рекомендаций для посетителей массовых мероприятий о том, как целесообразно вести себя после его окончания при выходе с объекта.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием адекватных методов анализа первичной информации; непротиворечивостью количественных характеристик, получаемых в работе программной библиотеки, и аналитических расчетов, полученных для стационарных СМО; согласованностью выбранных макроскопических характеристик с зависимостями количественных характеристик функционирования НСМО от времени. Дополнительно достоверность основных результатов работы аргументируется их апробацией на конференциях, а также публикациями в рецензируемых журналах.