

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ НА
БИАТЛОННОМ ЦЕНТРЕ**

С. П. Семенов, Ю. М. Колосов

Компьютерное моделирование массовых перемещений людей приобретает все большую актуальность в связи с проблемами обеспечения безопасности, анализом возможных нештатных ситуаций, аварийных эвакуаций. Массовые перемещения людей происходят на улицах города во время праздничных или политических шествий, в павильонах метро, в аэропортах и вокзалах, торговых и развлекательных центрах, спортивных сооружениях и т. п. Современное программное обеспечение имитационного моделирования [1] позволяет формализовать подобные массовые перемещения в виде моделей пешеходных потоков и решать задачи расчёта пропускной способности объекта; рассматривать различные конфигурации физического пространства и пешеходных зон; поддерживать сбор статистики пешеходных потоков; визуализировать статистику в виде карт плотности потоков пешеходов.

В данной работе излагается процесс построения имитационной модели [3] пешеходных потоков на стадионе (Центр зимних видов спорта имени А. В. Филипенко в г. Ханты-Мансийске) во время проведения крупных международных соревнований, а также результаты некоторых простых экспериментов над моделью.

Имитационная модель исследуемого реального явления (объекта, процесса, системы) – это формальное описание его логической структуры и динамики взаимодействия его отдельных элементов, как правило, с учётом стохастических факторов, которое представляется в виде программного продукта.

Имитационная модель позволит уменьшить степень неопределённости о процессах поведения пешеходных потоков на стадионе, визуализировать потоки, оценить пропускную способность и среднее время пребывания пешеходов в различных зонах стадиона, создать карты плотности потоков.

В данной модели агентный подход используется в сочетании с дискретно-событийным моделированием. Связь двух подходов осуществляется через общее пространство модели, которое они используют.

Комплекс спортивных сооружений занимает площадь примерно 150000 м², располагается в холмистой местности (Рис. 1). Общая вместимость объекта около 15 000 зрителей, в т. ч. на стационарных трибунах могут размещаться более 10 000 болельщиков. На стадионе регулярно проводятся этапы Кубка мира по биатлону, во время которых заполняемость стадиона составляет 100 %.

Стадион разделён на спортивно-служебную зону и зону для зрителей. В описываемой модели присутствует только зона для зрителей. Стадион имеет два входа для зрителей и две основные трибуны: северную (основную) и южную. Трибуны соединены пешеходной зоной сложной конфигурации, переменной ширины, включающей мостик с подъёмом и спуском.



Рисунок 1 – Схема Центра зимних видов спорта имени А. В. Филипенко в г. Ханты-Мансийске

Кроме того, на территории стадиона имеется торговая зона для сувенирной продукции и несколько кафе. Другие места для болельщиков в данной модели не учитывались. В модели предполагается, что спортивное мероприятие состоит из одного состязания в день. Общая протяжённость спортивного мероприятия составляет примерно 3,5 часа, которые можно разбить примерно на 3 фазы. Первая фаза составляет около 90 минут, в этот период зрители проходят турникеты, накапливаются в пешеходной зоне, посещают торговую зону, занимают места на трибунах. Пешеходная активность максимальна в последние 30 минут этой фазы. Вторая фаза, собственно состязание, длится в среднем около 60 минут, во время этой фазы пешеходная активность минимальна, болельщики находятся на трибунах. Третья фаза, заключительная, состоит из массового движения болельщиков на выход из стадиона. Именно во время этого промежутка времени возникают скопления зрителей в узких местах пешеходной зоны, формируются пробки, возникает угроза безопасности зрителей. Фазы выделены таким образом, чтобы оставалась возможность моделировать каждый из них автономно. Параметрами модели являются интенсивности движения пешеходов, вероятности выбора направления движения, геометрические размеры различных участков пешеходной зоны, вместимость трибун. В 2016 году во время очередного этапа Кубка мира по биатлону был проведён статистический сбор данных по движению пешеходов.

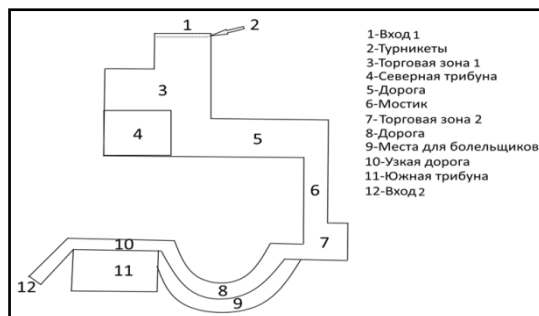


Рисунок 2 – Схема пешеходной зоны

При построении модели было произведено упрощение физической (реальной) зоны движения зрителей, оставлены наиболее значимые её участки и опущены второстепенные. Модельная (упрощённая) схема пешеходной зоны приведена на рисунке 2.

Имитационная модель разрабатывалась в среде AnyLogic [2].

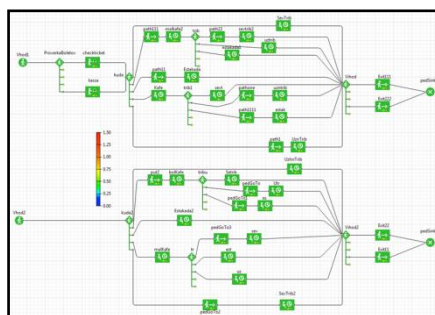


Рисунок 3 – Блок-схема модели

Программный продукт AnyLogic содержит высокоуровневую Пешеходную библиотеку моделирования движения болельщиков в физическом пространстве. Модели движения пешеходов состоят из двух составляющих – среды и поведения. Под средой подразумеваются объекты физической среды – стены, различные области, сервисы, очереди и т. д. Объект среды задаётся специальным графическим элементом разметки, у которого имеются параметры. Ресурсы (сервисы) также являются объектами среды.

Поведение пешеходов определяется логикой блок-схемы. На рисунке 3 приведена блок-схема модели пешеходного движения на биатлонном центре.

Блок-схема содержит следующие объекты Пешеходной библиотеки: Ped-Source; PedService; PedGoTo; PedWait; PedSink.

В данной работе приведены некоторые результаты прямых задач, «что будет, если?». В качестве контролируемых переменных на входе выступают: интенсивность прибытия зрителей, параметры объекта PedSelectOutput, а также геометрия пешеходной зоны. Единицей модельного времени выбрана минута.

В качестве выходных результатов представлены визуальные диаграммы и карты плотности. Карта плотности является инструментом AnyLogic и представляет собой план пешеходной зоны, который динамически закрашивается различными цветами в соответствии с измеренной в этой точке плотностью пешеходов.

На рисунке 4 приведена карта плотности пешеходного движения, соответствующая 60-ой минуте первой фазы. Данный момент времени соответствует максимуму входной интенсивности. Зрители размещаются в пешеходной зоне согласно параметрам (вероятности) объекта PedSelectOutput.

Рис. 5 содержит карту плотности для второй фазы, когда практически все болельщики находятся на трибунах. Рисунки 6 и 7 демонстрируют карты плотности для 3-ей фазы, соответственно, в начале фазы и ближе к её завершению.

Компьютерная модель позволяет лучше понять процессы поведения пешеходных потоков на стадионе, визуализировать эти потоки, рассчитать пропускную способность и среднее время пребывания пешеходов в различных зонах стадиона, создать динамические карты плотности зрительских потоков. Полученные результаты могут быть использованы в целях обеспечения безопасности во время проведения крупных спортивных мероприятий, а также учтены при очередной реконструкции стадиона.

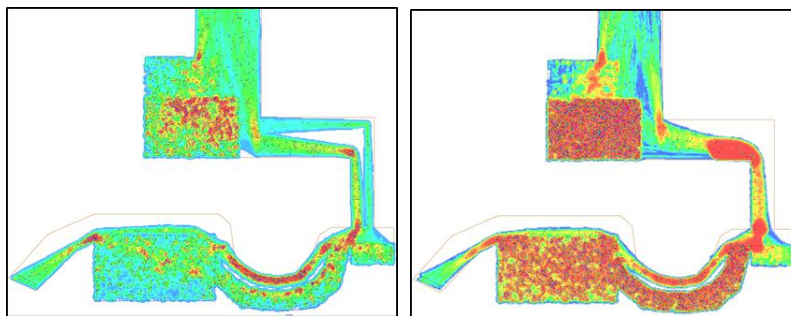


Рисунок 4 – Первая фаза, 60-ая минута Рисунок 5 – Вторая фаза, 100-ая минута

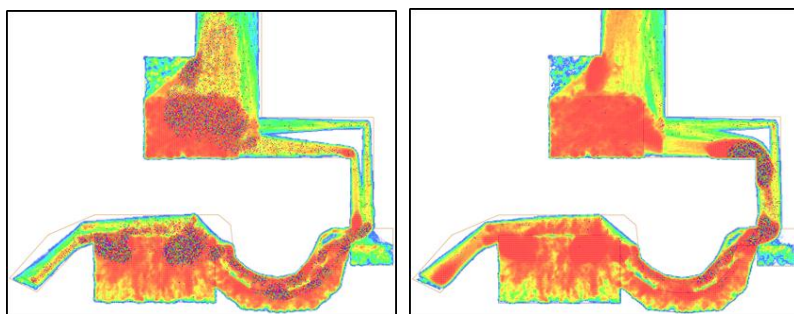


Рисунок 6 – Третья фаза, 165-ая минута Рисунок 7 – Третья фаза, 200-ая минута

Литература

1. Борщев, А. AnyLogic – универсальная среда для моделирования пешеходных потоков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.anylogic.ru/seminar-modelirovanie-peshekhodnykh-potokov>.
2. Инструмент многоподходного имитационного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.AnyLogic.ru>.
3. Шеннон, Р. Имитационное моделирование – искусство и наука [Текст] / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978.