

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНОГО ПОДХОДА

**Т.В. Михайловская, доцент, к.т.н., А.И. Михалев, профессор, д.т.н.,
А.И. Гуда, доцент, к.т.н., Е.Ю. Новикова, доцент, к.т.н.,
Национальная металлургическая академия Украины**

***Аннотация.** Рассмотрена математическая модель движения пассажиропотока, разработанная на основе клеточно-автоматного подхода. Приведена программная реализация клеточно-автоматной модели движения потока людей в переходах при наличии препятствий, при сужении профиля перехода. Определены оптимальные расстояния между препятствиями и угол сужения перехода, обеспечивающие безопасное движение потока пассажиров без образования заторов.*

***Ключевые слова:** клеточные автоматы, движение пассажиропотока, правила перехода, препятствия, угол сужения.*

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПАСАЖИРОПОТОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛІТИННО-АВТОМАТНОГО ПІДХОДУ

**Т.В. Михайловська, доцент, к.т.н., О.І. Михальов, професор, д.т.н.,
А.І. Гуда, доцент, к.т.н., К.Ю. Новикова, доцент, к.т.н.,
Національна металургійна академія України**

***Анотація.** Розглянуто математичну модель руху пасажиропотоку, що розроблена на основі клітинно-автоматного підходу. Наведено програмну реалізацію клітинно-автоматної моделі руху потоку людей у переходах при наявності перешкод, при звуженні профілю переходу. Визначено оптимальні відстані між перешкодами й кут звуження переходу, що забезпечують безпечний рух потоку пасажирів без утворення заторів.*

***Ключові слова:** клітинні автомати, рух пасажиропотоку, правила переходу, перешкоди, кут звуження.*

PASSENGER TRAFFIC MOVEMENT MODELLING BY THE CELLULAR-AUTOMAT APPROACH

**T. Mikhaylovskaya, associate professor, cand. eng. sc., A. Mikhaylev, professor,
dr. eng. sc., A. Guda, associate professor, cand. eng. sc., K. Novikova, associate
professor, cand. eng. sc., National Metallurgical Academy of Ukraine**

***Abstract.** The mathematical model of passenger traffic movement developed on the basis of the cellular-automat approach is considered. The program realization of the cellular-automat model of pedestrians streams movement in pedestrian subways at presence of obstacles, at subway structure narrowing is presented. The optimum distances between the obstacles and the angle of subway structure narrowing providing pedestrians stream safe movement and traffic congestion occurrence are determined.*

***Key words:** cellular automata, movement of passenger traffic, transition rules, impediments, the angle narrowing.*

Введение

Обеспечение безопасности движения пассажиропотока в условиях ограниченного пространства и большого количества движущихся людей является одним из важных факторов нормальной жизнедеятельности крупных городов. Как правило, угроза безопасности движения возникает при движении в толпе, пользовании общественным транспортом, в подземных переходах, в турникетах и на эскалаторах метро, существует серьезная проблема при эвакуации людей из зданий при возникновении паники, что порождает возникновение ЧП.

Одной из проблем, возникающей при движении группы людей, является образование заторов или «пробок» при наличии некоторых препятствий на пути движения такой группы. Если по каким-либо причинам такие препятствия должны обязательно находиться на пути людей, то является целесообразным заранее предусмотреть, насколько сильную помеху они могут создать. Поскольку натуральный эксперимент требует значительных затрат, и как правило, в качестве экспериментальных данных выступают лишь результаты уже произошедших ЧП, подчас с трагическим исходом, продуктивной может оказаться идея проведения численных экспериментов, моделирующих подобные ситуации [1].

Анализ публикаций

Клеточные автоматы широко применяют для создания физических, биологических, химических и прочих моделей, в силу того, что само понятие клеточного автомата отождествляется с понятием «поле». В этой связи клеточный автомат оказывается идеальной средой для решения дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных: уравнения Навье-Стокса, уравнения теплопроводности и волнового уравнения [2]. С другой стороны, клеточные автоматы показали свою высокую эффективность для решения задачи затвердевания при наличии фазовых переходов сложной структуры [3], что позволяет их эффективно использовать для описания поведения динамических систем на дискретном языке клеточных автоматов.

Т. Тоффоли и Н. Морголус предложили использовать для моделирования движения толпы клеточный автомат, описывающий

диффузионные процессы [4]. М.Е. Степанцов разработал клеточно-автоматную модель движения основанную на уравнении газодинамики и развил ее в дальнейшем путем добавления к диффузионной составляющей движения направленную [1]. Кроме того, при моделировании движения толпы значительное место занимает вопрос описания поведения человека в экстремальных ситуациях на языке клеточных автоматов, что приводит к определению вероятностей переходов в каждом направлении [5]. Вероятности могут быть вычислены с учетом степени знания геометрии пространства, желания двигаться в определенном направлении, свойства людей держаться на расстоянии от других людей и от препятствий, которые варьируются в зависимости от ситуации. Также необходимо предусмотреть правила разрешения конфликтных ситуаций, связанных с тем, что на одно и тоже место могут претендовать несколько человек одновременно.

Цель и постановка задачи

Целью данного исследования является разработка математической модели движения пассажиропотока с применением теории клеточных автоматов, программная реализация предложенной модели, исследование поведения пассажиропотока при его движении по переходу с препятствиями и возможным сужением.

Клеточно-автоматная модель движения пассажиропотока и ее исследование

Как известно, клеточные автоматы представляют собой дискретные динамические системы, поведение которых описывается в терминах локальных зависимостей [2, 4]. Классическая модель клеточных автоматов описывается следующими свойствами: локальность правил – на новое состояние клетки могут влиять только элементы её окрестности и, возможно, она сама; однородность системы – ни одна область решётки не может быть отлична от другой по каким-либо особенностям правил и т. п.; множество возможных состояний клетки – конечно; значения во всех клетках меняются одновременно, в конце итерации, а не по мере вычисления. Невыполнение последнего свойства приводит к тому, что порядок перебора клеток решетки существенно влияет на результат.

При разработке математической модели движения пассажиропотока была выбрана двумерная модель клеточных автоматов с окрестностью Неймана. На рис. 1 приведена группа клеток, каждая из которых является единицей потока пассажиров – юнитом.



Рис. 1. Схематическое изображение группы клеток

Поведение юнита (центральная клетка) описывается следующими правилами: если клетка 2 свободна, то с вероятностью 1 юнит переходит в клетку 2; если клетка 2 заполнена (препятствие, юнит), то юнит с вероятностью 0,5 переходит в клетку 1 или 3; если клетки 1, 2 и 3 заполнены (препятствие, юнит), то юнит остается на месте; переход в клетку 4 невозможен – запрещенное направление движения.

Программная реализация клеточно-автоматной модели движения пассажиропотока выполнена с использованием библиотеки *Qt* и содержит следующие возможности интерфейса: задается размер области моделирования в клетках; на область моделирования наносятся три типа клеток: пустая, юнит, препятствие; указывается область наблюдения, для которой строится график зависимости количества юнитов, находящихся в данной области от времени.

Наиболее интересными задачами исследования поведения пассажиропотока являются задачи связанные с движением по переходу, который содержит препятствия либо сужается.

Рассмотрим поведение пассажиропотока в переходе с двумя препятствиями, которые перекрывают 40% перехода (рис. 2).



Рис. 2. Схематическое изображение профиля перехода с двумя препятствиями

Для исследования данной задачи было проведено ряд численных экспериментов, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры вычислительных экспериментов

№	Расстояние между препятствиями L , %	Расположение препятствий в переходе
1	60	по бокам симметрично
2	40	по центру симметрично
3	20	по центру симметрично
4	60	с одной стороны оба
5	10	по центру симметрично

Результаты численных экспериментов приведены в табл. 2. Анализ полученных результатов показал, что наибольшая скорость прохождения юнитами через проход с препятствиями наблюдается в третьем случае, который соответствует такому расположению препятствий, что свободное пространство разбивается на три прохода равной ширины.

Таблица 2 – Время прохождения группы юнитов через переход при вариации расстояния между препятствиями и их местоположения

№	Время, итерации
1	987
2	1000
3	970
4	995
5	995

В свою очередь с использованием клеточно-автоматной модели были проведены численные эксперименты по исследованию поведения пассажиропотока при наличии сужения в профиле перехода (рис. 3). Численные эксперименты проводились для угла сужения: 30, 45, 60 и 90 градусов. Результаты численных экспериментов занесены в таблицу 3.

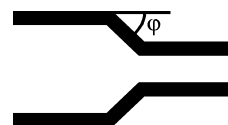


Рис. 3. Схематическое изображение профиля перехода с сужением

Таблица 3 – Время прохождения группы юнитов
через переход при вариации угла сужения
профиля перехода

Угол, градус	30	45	60	90
Время, итераций	940	900	920	960
Максимальная загрузка, юнит	600	550	580	600

Анализ параметров пассажиропотока при движении в профиле перехода при наличии сужения показал, что угол сужения равный 45 градусам обеспечивает наименьшую загрузку профиля перехода и наименьшее время его прохождения юнитами.

Выводы

1. Программно реализована клеточно-автоматная модель движения толпы с использованием библиотеки *Qt*.
2. Исследовано поведение пассажиропотока при движении по переходу при наличии препятствий и установлено их оптимальное расположение, при котором конструкции оставляют в проходе три зазора равные по ширине.
3. Исследовано поведение толпы при движении по сужающемуся переходу, и установлен оптимальный угол сужения равный 45°.

Литература

1. Степанцов М.Е. Математическая модель направленного движения группы людей // Математическое моделирование. – 2004. – Т. 16. – №3. – С. 43–49.
2. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Мир, 1971. – 381 с.
3. Михайловская Т.В. Применение клеточных автоматов для математического моделирования фазового перехода в эвтектических сплавах // Системные технологии: Региональный межвузовский сборник научных трудов. – 2007. – Вып. 5 (53). – С. 162–170.
4. Тоффоли Т., Марголюс Н. Машины клеточных автоматов. – М.: Мир, 1991.
5. Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. An intelligent floor field cellular automation model for pedestrian dynamics // Proceedings of The Summer Computer Simulation Conference 2007, The Mission Valley Marriott San Diego, California, 2007. – P. 1031–1036.

Рецензент: С.Н. Герасин, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 октября 2009 г.