

Всероссийский конкурс научно-технологических проектов  
«БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ДВИЖЕНИЯ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПОТОКОВ  
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

Россия, Мурманская область, г.Снежногорск

Автор: Волков Роман Сергеевич, 7 класс

МАОУ «СОШ №266 ЗАТО Александровск»

Научные руководители: Михедько Оксана

Григорьевна, учитель физики МАОУ СОШ №266,

Рзаев Роман Александрович, педагог

дополнительного образования

МБУДО «ДДТ «Дриада»

ЗАТО Александровск

2020

## Введение

Одной из важных составляющих обеспечения нормальной жизнедеятельности в городах является вопрос о безопасности движения людей в условиях ограниченного пространства и большого количества других движущихся людей. Так, жители современных городов часто сталкиваются с проблемой движения в толпе при пользовании общественным транспортом, в подземных переходах, в турникетах и на эскалаторах метро. Также существует серьезная проблема при эвакуации людей из зданий в экстренных случаях.

Обычно несколько раз в год в организациях и учреждениях отрабатывается процесс эвакуации из здания в случае возникновения различных внештатных ситуаций, угрожающих жизни и здоровью человека. Конечно, и в нашей школе постоянно проходят такие учения. Но все же иногда, как мы можем видеть из программ телевизионных новостей, при чрезвычайных ситуациях главной угрозой здоровью и жизни людей часто оказывается возникающая при этом паника.

Поскольку реальный эксперимент требует значительных затрат, а иногда в качестве экспериментальных данных могут выступать лишь результаты уже произошедших ЧП, подчас с трагическим исходом, возникает необходимость компьютерного моделирования движения людей, например, с целью определения наилучшей геометрии пространства, где предполагается скопление людей, или определения времени эвакуации.

Конечно, идея моделирования движения потоков людей не нова. Существует множество программ, но все они находятся в ограниченном доступе. Для их использования необходима покупка дорогостоящей лицензии, что недоступно большинству бюджетных организаций. Мы решили провести собственное моделирование, результаты которого смогли бы проверить на примере нашей школы. Мы считаем, что наша программа сможет помочь в проверке помещений, в которых проживают люди с ограниченными возможностями. Им труднее всего эвакуироваться при различных ЧС, и для

обеспечения их безопасности можно проверить как размеры выходов, их расположение, влияют на время эвакуации из здания.

Кроме того, нашу программу можно использовать при проведении массовых мероприятий. Можно заранее просчитать влияние расположения установленных лотков с продукцией, сцены, выходов с площади на время выхода людей при ЧС. В этом мы видим **актуальность нашего исследования**.

**Цель исследования** – разработка математической модели движения учащихся школы при эвакуации с применением теории клеточных автоматов, программная реализация модели и исследование движения потока при различных препятствиях.

**Объект исследования** – движение потока людей при эвакуации, **предмет** – влияние конфигурации помещений и наличия препятствий на характер движения эвакуационных потоков.

Для реализации поставленной цели нам необходимо было решить ряд задач:

1. Изучить теорию клеточных автоматов с имеющимися практическими реализациями.
2. Провести отбор методик моделирования поведения потока людей;
3. Создать математическую модель движения людей;
4. Разработать программу, описывающую движение эвакуационных потоков с учетом различных препятствий.

В процессе исследования нами выдвинута **гипотеза**: геометрические параметры помещений нашей школы **не** препятствуют своевременному выводу людей при эвакуации.

При выполнении исследования нами использовались следующие методы: наблюдение, анализ, эксперимент, моделирование.

## Глава 1. Понятие клеточного автомата

Идея клеточных автоматов зародилась в середине XX века в работах независимых учёных (Конрада Цузе, Джона фон Неймана). Наиболее полно она проработана известным математиком Джоном фон Нейманом.

Клеточный автомат в простейшем виде представляет собой двумерную сетку (массив) произвольного размера, образованную ячейками. Состояние сетки (конфигурация) обновляется с течением времени, причём состояние каждой ячейки в следующий момент времени зависит от состояния ближайших её соседей (смежных ячеек) и, возможно, от её собственного состояния на текущей итерации.

Количество возможных состояний ячейки конечно. Обновление конфигурации происходит параллельно, в соответствии с определёнными для данной модели правилами.

Клеточные автоматы в информатике являются аналогом физического понятия «поле». Клеточный автомат может мыслиться как стилизованный мир. Пространство представлено равномерной сеткой, каждая ячейка (клетка) которой содержит несколько битов данных, время идет вперед дискретными шагами, а законы мира выражаются единственным набором правил (небольшой справочной таблицей) по которым любая клетка на каждом шаге вычисляет свое новое состояние по состояниям ее близких соседей. Таким образом, законы системы являются локальными и повсюду одинаковыми. «Локальный» означает, что для того, чтобы узнать, что произойдет здесь мгновение спустя, достаточно посмотреть на состояние ближайшего окружения: никакое дальноедействие не допускается. «Одинаковость» означает, что законы везде одни и те же: я могу отличить одно место от другого только по форме ландшафта, а не по какой-то разнице в законах.

Классический клеточный автомат обладает следующими свойствами:

1. Локальность правил – на новое состояние клетки могут повлиять только элементы её окрестности и, возможно, она сама.

2. Однородность системы – ни одна область решётки не может отличаться от другой по каким-либо особенностям правил. Однако на практике решётка оказывается конечным множеством клеток (ввиду ограниченности объёма памяти вычислительной машины). В результате могут иметь место краевые эффекты – клетки, стоящие на границе решётки, будут отличны от остальных по числу соседей. Во избежание этого вводятся периодические краевые условия.

3. Конечность множества возможных состояний клетки – это условие необходимо, чтобы для получения нового состояния клетки требовалось конечное число операций.

4. Одновременный переход в новое состояние для всех клеток – значения во всех клетках меняются единовременно, в конце итерации, а не по мере вычисления. В противном случае порядок перебора клеток решётки оказывал бы существенное влияние на результат.

Наиболее известным примером применения теории клеточных автоматов в науке является, вероятно, игра «Жизнь», созданная Джоном Хортоном Конуэем в 1970 году и опубликованная в журнале «Scientific American» в колонке «Математические игры».

## **Глава 2. Клеточный автомат, моделирующий движение потока людей**

### **2.1. Правила «игры»**

Полное математическое описание поведения отдельно взятого человека на данном этапе развития науки не представляется возможным, поскольку его действия определяются очень большим количеством факторов, как рациональных, так и иррациональных. Однако известно, что поведение достаточно большой группы людей в стандартной ситуации легко поддаётся предсказанию и хорошо описывается вероятностным образом. В данном случае работает закон больших чисел: даже если один человек по каким-то причинам решит действовать нетривиально, его поведение никак не повлияет на группу в целом.

В основе данного автомата лежит модель решеточного газа на ортогональной решетке. При разработке математической модели эвакуации была выбрана двумерная модель клеточных автоматов с окрестностью Мура (*Рисунок 1*).

Пространство клеточного автомата (включая внешние стены) представляет собой плоскую область, разбитую на ячейки 40x40 см (это средний размер, занимаемый человеком в толпе), которые могут быть либо свободными, либо занятыми только одним человеком (частицей). Каждая клетка имеет 8 соседей.

Клетка может находиться в одном из двух состояний: «заполнена» (в ней находится человек) или «пуста» (место свободно). Задано также приоритетное направление «вперед», в котором люди движутся при отсутствии препятствий. Препятствиями могут служить как другие люди, так и стационарные препятствия – стены, столы.

Каждый временной шаг автомата состоит из двух этапов: анализ ситуации в каждой клетке; перемещение людей в соответствии с правилами автомата.

Перемещение по клеткам автомата происходит в соответствии со следующими правилами:

- Выбирается кратчайшее направление на выход и затем вносится вероятность изменения направления по схеме 1 – 73%, 2 и 8 – по 10%, 3 и 7 – по 2% , 4, 5 и 6 – по 1% (где 1 – направление предполагаемого движения)
- При возможности человек двигается вперед (по отношению к некоторому заданному направлению);
- Если движение вперед невозможно, человек двигается вправо вверх/влево вверх;
- Если движение вправо вверх/влево вверх невозможно, человек двигается вправо/влево;
- Если движение вперед, вправо вверх/влево вверх, вправо, влево невозможно (клетки 1,2,3,7,8 заполнены), человек шагает с вероятностью 1% вниз/вправо вниз/ влево вниз;

- Если два человека претендуют на одну и ту же ячейку, перемещаемый человек выбирается случайным образом;
- Наличие в каком-либо направлении других людей или стен уменьшает вероятность движения в этом направлении.

## **2.2. Основные характеристики, используемые для описания движения потока людей при эвакуации**

Эвакуация – сложный процесс поведения людей в различных условиях их жизнедеятельности, вынуждающих их покидать места в помещениях зданий, на которых они находятся, осуществляя свои жизненные, духовные и социальные потребности. Возможное состояние окружающей среды определяет и характер эвакуации людей. При проектировании, строительстве и оборудовании зданий и сооружений всегда предусматриваются инженерно-технические решения и мероприятия, направленные на обеспечение в той или иной мере защиты зданий и находящихся в них людей при чрезвычайных ситуациях.

Людские потоки образуются при эвакуации, когда масса людей движется одновременно по общим коммуникационным путям в одном направлении. Весь путь движения людского потока подразделяется на участки. Участками могут быть проходы, дверные проемы, коридоры, лестницы. Проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т.п. являются начальными участками.

Для моделирования движения школьников нашей школы при эвакуации мы выбрали следующие критерии:

- Площадь горизонтальной проекции человека в среднем принимается 40х40см.
- Один шаг человека в модели равен длине клетки 40 см.

- Значения скоростей свободного движения людей в потоке взяты из исследовательской работы профессора В.М.Предтеченского<sup>1</sup> (*Таблица 1, Приложение 1*).
- Размеры классных помещений, парт, проходов между рядами, расстояние до доски взяты в соответствии с ГОСТами<sup>2</sup> в масштабе, соотнесенном с горизонтальной площадью человека. Модели классных помещений и коридора представлены в *Приложении 2*.

### 2.3. Описание работы программы

Программа, моделирующая движение потока людей при эвакуации из школы, написана в программной среде Pascal ABC.NET Версия 3.1.

Скриншоты программы представлены в *Приложении 3*.

Часть текста программы приведена в *Приложении 4*.

Работа программы осуществляется в следующей последовательности:

1. Выбор программой файла с моделью помещения. Заполнение массива с размером и конфигурацией помещения;
2. Заполнение массивов людей и выходов;
3. Определение направления на выход волновым методом;
4. Начало движения, рандомизация направления движения с учетом правила клеточного автомата;
5. Проверка наличия на пути препятствия или другого человека, выбор – «стоим», «двигаемся»;
6. Вывод информации на экран;
7. Повторение цикла движения и поиска направления пока не эвакуируются все люди.

<sup>1</sup>Предтеченский В.М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Архитектурно-строительное образование и научные основы проектирования. - М.: Стройиздат, 1983.

<sup>2</sup> СанПиН 2.4.2.576-96 «Гигиенические требования к условиям обучения школьников в различных видах современных общеобразовательных учреждений»



Ссылки на программу и модели:

<https://drive.google.com/file/d/1f3gJ691Cd67btEiOVowW-hraRXjiN7Oa/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/14f2Zon4Z0tVkStQ0EGv7anNqLkmdT3zX/view?usp=sharing>

## 2.4. Исследование зависимости времени эвакуации для различных видов препятствий и случаев расположения выходов

Чтобы применить нашу модель к различным помещениям мы решили исследовать, как влияют размеры и расположение препятствий на время эвакуации (*Таблица 2*).

Для этого мы рассмотрели препятствия, изображенные на *Рисунке II*.

**Таблица 2:**

Модель помещения	Кол-во людей	Среднее количество шагов	Время эвакуации в спокойном состоянии	Время эвакуации в активном состоянии	Время эвакуации в возбужденном состоянии
1	25	71	26	19	10
2	25	73	27	19	10
3	25	87	32	23	12
4	25	69	25	18	9

Препятствия, расположенные горизонтально по отношению к движущемуся потоку людей, положительно влияют на время эвакуации и скорость движения потока людей.

С помощью построенной модели мы проверили соответствие расчетного времени эвакуации результатам, полученным при эвакуации учащихся во время проведения учебных тренировок.

Среднее значение времени эвакуации при наличии различных препятствий рассчитываем по формуле:  $t = \frac{N \cdot 0,4}{V}$ , где N – количество шагов программы до полной эвакуации, V – скорость движения в различных состояниях (м/с).

Результаты расчётов указаны в *Таблице 3*:

Модель помещения	Кол-во людей	Среднее количество шагов	Время эвакуации в спокойном состоянии	Время эвакуации в активном состоянии	Время эвакуации в возбужденном состоянии	Время эвакуации при учебной тренировке
Класс с партами и боковым выходом	25	51	18	14	7	15
Класс с партами и выходом впереди класса	25	64	23	17	9	17
Коридор с двумя выходами	75	269	98	72	36	64

Таким образом, время эвакуации, рассчитанное по нашей модели, примерно совпадает с практическими результатами. Доработки требует модель с двумя выходами. В этом случае расчётное время оказывается больше реального.

По нашим расчетам получается, что из тех классов нашей школы, в которых выходы расположены в боковой части стен, эвакуация происходит быстрее.

Построенный график зависимости количества вышедших людей от времени (*Рисунок III.*), показывает, что при наличии боковых выходов наибольшее количество эвакуировавшихся в единицу времени наблюдается уже к 9 секунде эвакуации.

## Заключение

Эвакуация – сложный процесс поведения людей в различных условиях, вынуждающих их покидать места в помещениях зданий, на которых они находятся, в различных чрезвычайных ситуациях, угрожающих жизни и здоровью людей. Возможное состояние окружающей среды определяет и характер эвакуации людей.

В нашей работе мы разработали математическую модель движения учащихся школы при эвакуации с применением теории клеточных автоматов, написали программу, моделирующую поведение людей в замкнутом пространстве при движении к выходу на основе клеточных автоматов. При построении модели мы использовали в масштабе реальные размеры классных помещений и коридора нашей школы, учли известные значения скорости движения людей при эвакуации для расчёта времени эвакуации.

Программа, моделирующая движение потока людей при эвакуации из школы, написана в программной среде Pascal ABC.NET Версия 3.1.

С помощью построенной модели мы исследовали время эвакуации из помещений при наличии различных видов препятствий. Препятствия, расположенные горизонтально по отношению к движущемуся потоку людей, положительно влияют на время эвакуации и скорость движения потока людей.

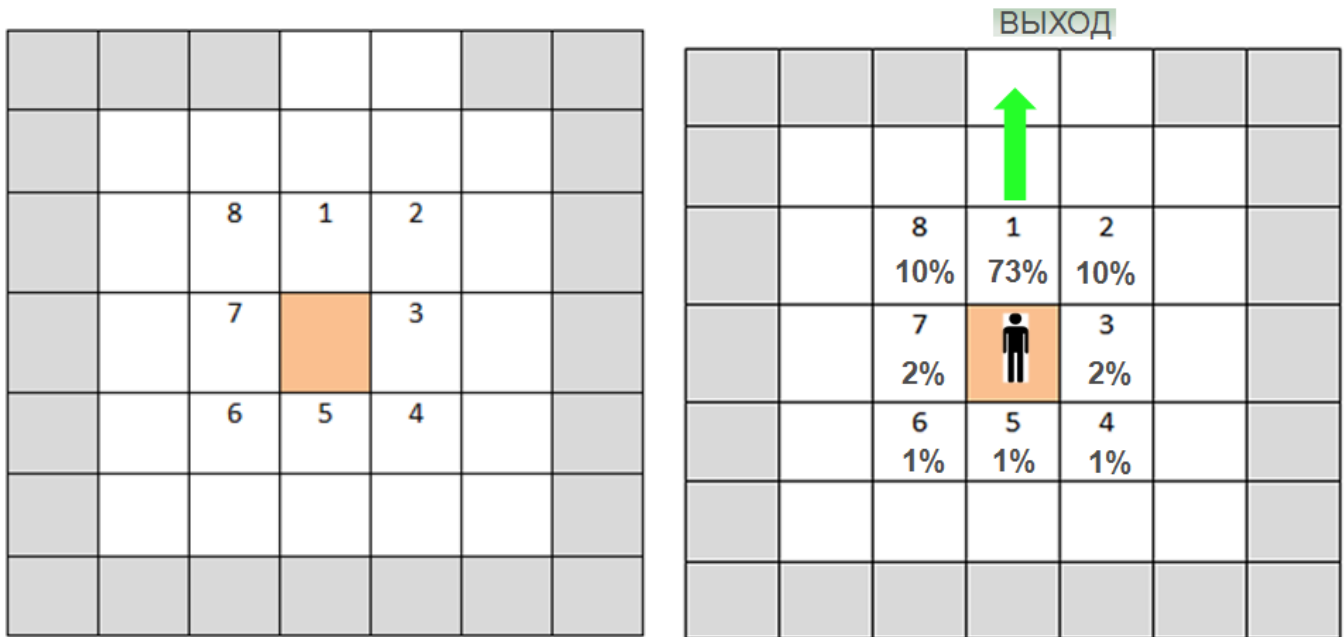
Мы применили нашу модель к расчету времени эвакуации и классов нашей школы. Время эвакуации, рассчитанное по нашей модели, примерно совпадает с практическими результатами. Доработки требует модель с двумя выходами. В этом случае расчётное время оказывается больше реального. По нашим расчетам получается, что из тех классов нашей школы, в которых выходы расположены в боковой части стен, эвакуация происходит быстрее.

Таким образом, гипотеза о том, что геометрические параметры помещений нашей школы не препятствуют своевременному выводу людей при эвакуации, подтвердилась частично.

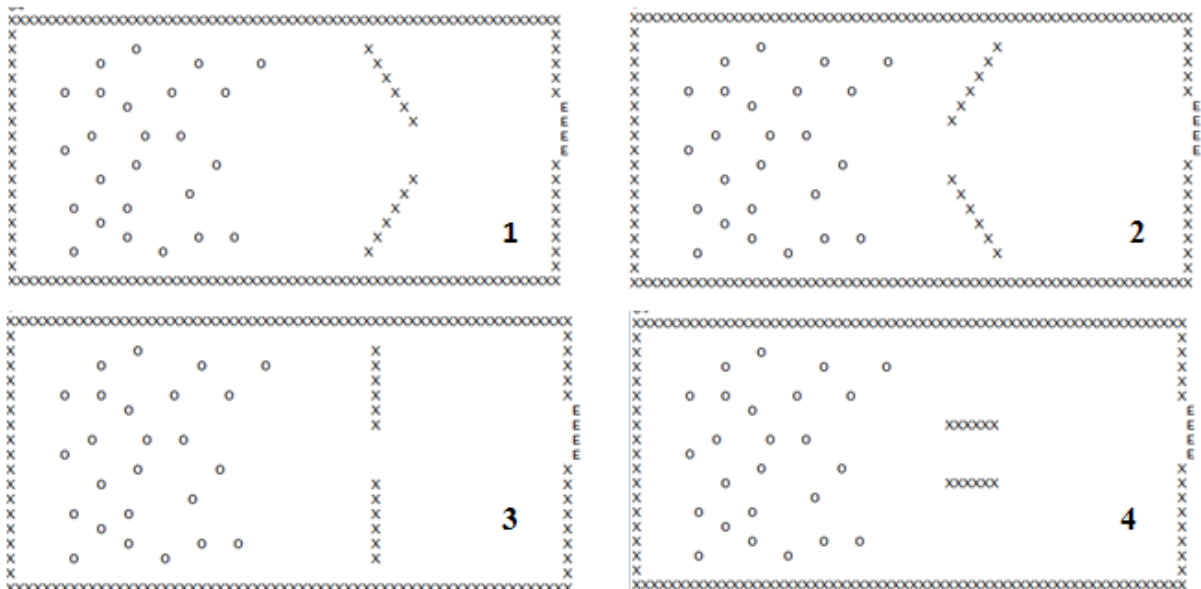
## Список литературы

1. Астафьев Г.Б., Короновский А.А., Храмов А.Е. Клеточные автоматы: Учебно-методическое пособие. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2003. 24с.
2. Майер Р. В. Компьютерное моделирование: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов [Электронное учебное издание на компакт-диске]. – Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2015.
3. Малинецкий Г. Г., Степанцов М. Е., Применение клеточных автоматов для моделирования движения группы людей, Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 2004, том 44, номер 11, 2094–2098
4. Предтеченский В.М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Архитектурно-строительное образование и научные основы проектирования. - М.: Стройиздат, 1983.
5. СанПиН 2.4.2.576-96 «Гигиенические требования к условиям обучения школьников в различных видах современных общеобразовательных учреждений».
6. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков. – М. : АГПС МЧС России, 2009.
7. Холщевников В. В. Нормирование путей эвакуации в учебных заведениях // Пожарное дело. – 1980.– № 12.

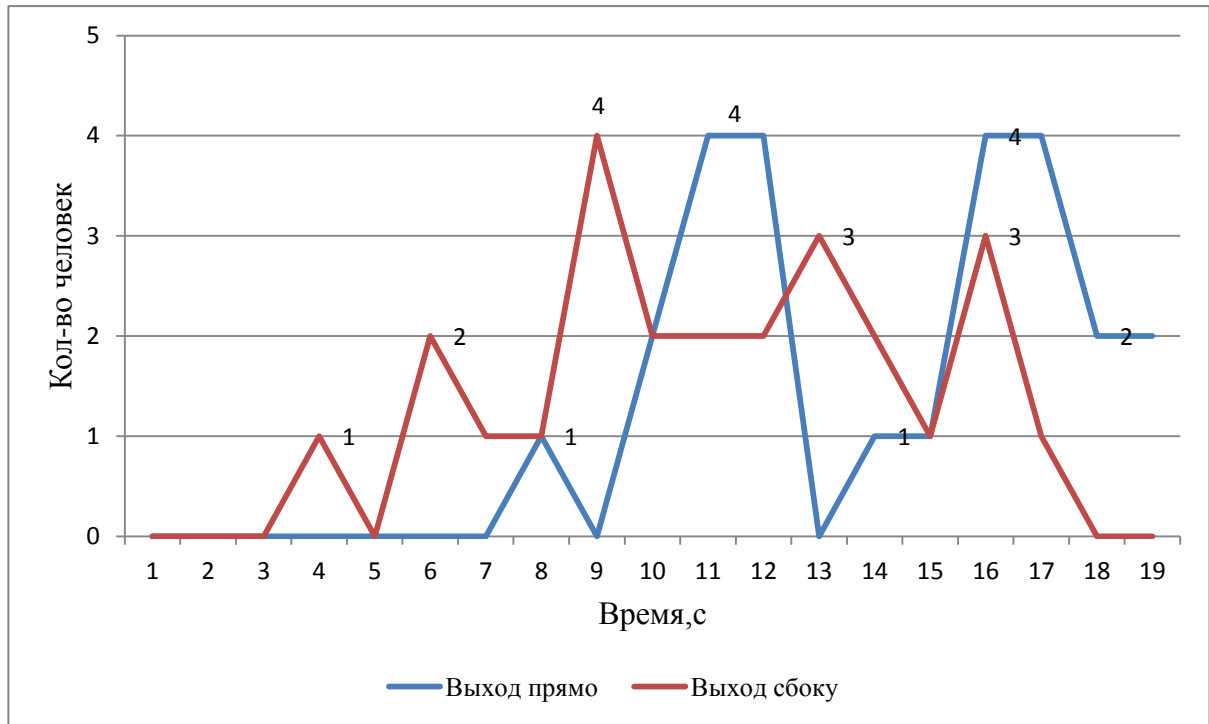
*Рисунок 1. Модель с окрестностью Мура*



*Рисунок II. Модели препятствий*



**Рисунок III. График зависимости количества вышедших людей в единицу времени от расположения выходов**

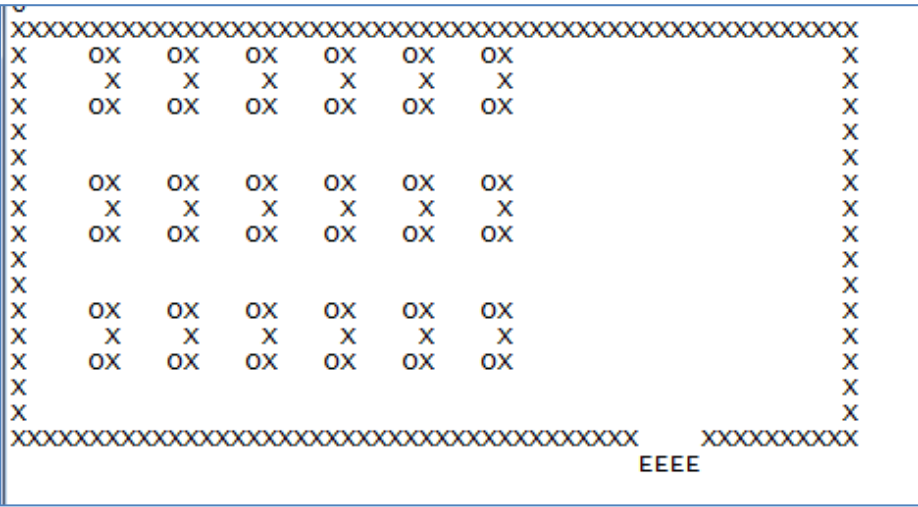


**Приложение 1. Значения скоростей свободного движения людей в потоке при различных категориях движения.**

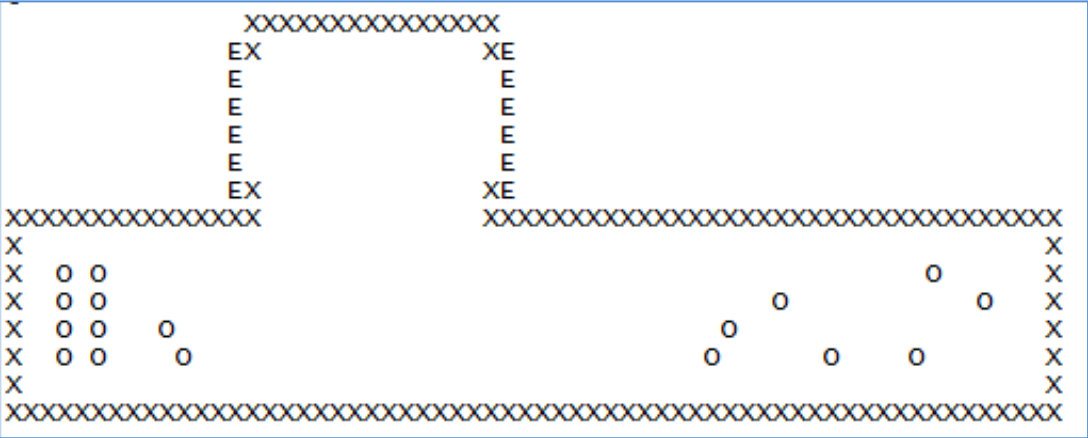
*Таблица 1.*

Категории движения	Скорость свободного движения, м/с, по видам пути	
	Горизонтальный, лестница вниз, проем	Лестница вверх
Комфортное	0,82	0,45
Спокойное	1,10	0,63
Активное	1,50	0,92
Повышенной активности	3,00	1,25

**Приложение 2. Модели классных помещений**



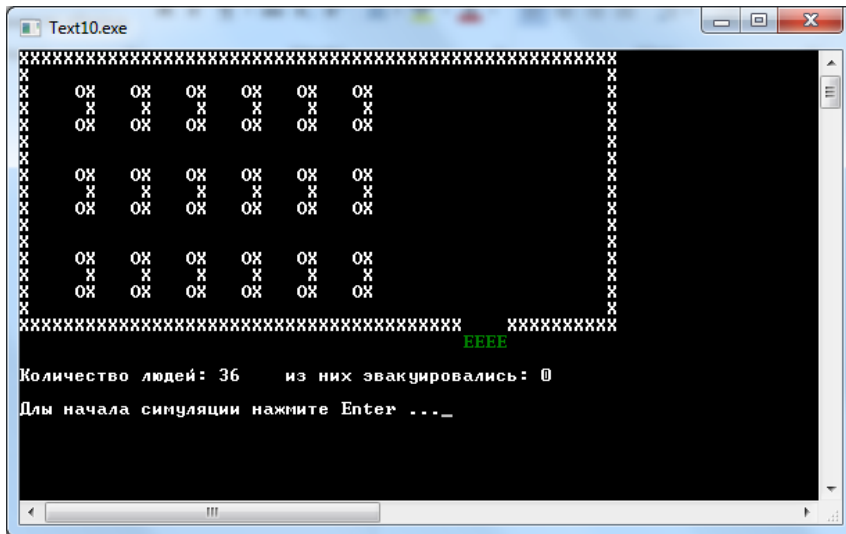
*Класс с боковым выходом*



*Коридор 2 этажа*

## Приложение 3. Скриншоты работы программы

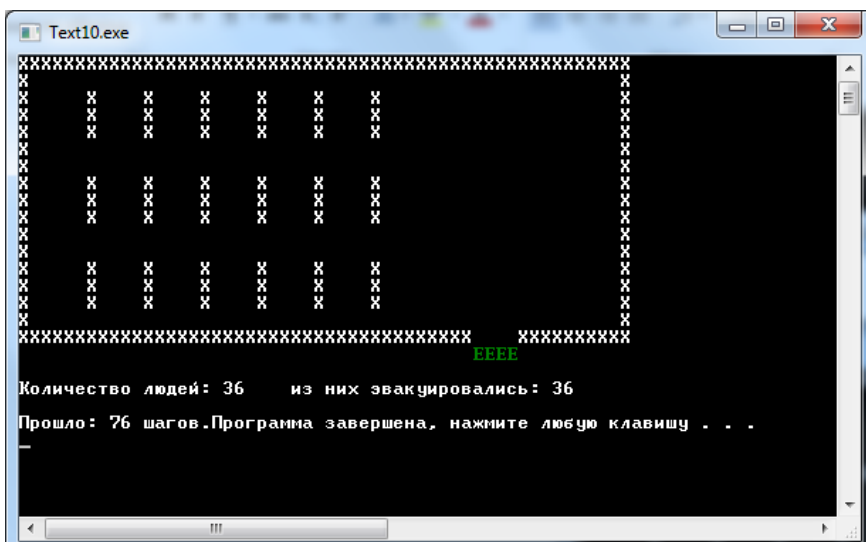
### Случай 1. Начальная расстановка



### Ход эвакуации

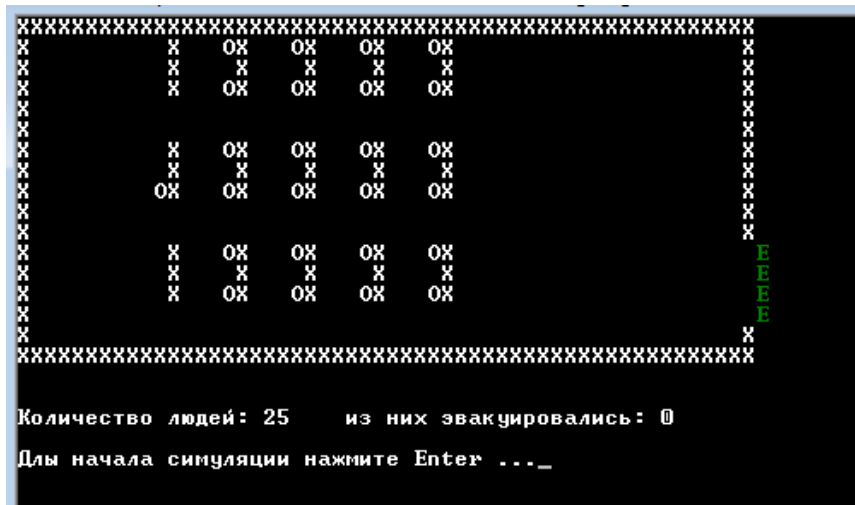


### Итог эвакуации:

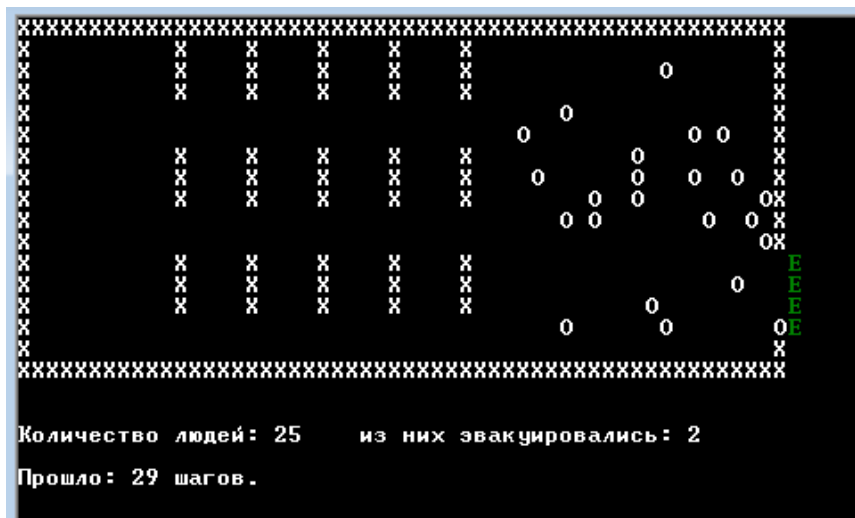




## Случай 2. Начальная расстановка



## Ход эвакуации



## Итог эвакуации:

