

6. Olajide J.D. and Ade-Omowaye B.I.O. Some physical properties of locust bean seed //Journal of Agricultural Engineering Research. 1999. Vol. 74 (2). P. 213-215.

7. Sacilik K., O'ztu'rk R., Keskin R.. Some physical properties of hemp grain // Biosystems Engineering. 2003. Vol. 86 (2). P. 213-215.

Modeling of the form of the lima bean seeds (phaseolus limensis l.)

Irina Semyenovna Vinogradova, senior researcher, professor physics department
Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, Russia

The form of seeds is a very significant characteristic which is required for designing the equipment, for the harvest in plantations, transport, drying, storage and airing of dried seeds. In these work the calculations of the volume and surface area of Lima bean seeds in the process of their maturation were carried out from the measured dimensions - length, width and thickness.

Some models from the literature were used for the calculations, a comparison with the experimentally measured values of the volume was carried out.

Keywords: lima bean, seeds, the growing, volume and surface area measurement and calculations.

УДК 51.77

О ТЕСТИРОВАНИИ ДИСКРЕТНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ SIGMA.CA В РАЗЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИТУАЦИЯХ

Татьяна Брониславовна Витова, младший научный сотрудник

Тел. 8 391 249 4784, e-mail: tata_yurgel@mail.ru

ИВМ СО РАН

http://icm.krasn.ru

В работе описываются проведённые исследования для дискретной стохастической модели движения людей SIGMA.CA. Рассматривались различные тестовые ситуации, в которых реализуются основные явления, свойственные движению людей. Приведены некоторые построенные зависимости потока от плотности (фундаментальные диаграммы).

Ключевые слова: движение людей, модель движения людей, фундаментальная диаграмма.

1. Введение

Моделирование движения людей представляет интерес, как с научной точки зрения, так и с точки зрения практических применений. Такие модели могут использоваться для организации безопасной эвакуации и нормального функционирования процесса движения людей в различных зданиях и сооружениях. И, как следствие, пригодны для решения задач пожарной безопасности и для организации людских потоков в местах массового скопления людей (для определения времени эвакуации, мест скопления людей и длительности существования заторов и т.д.). На сегодняшний день существует достаточное количество, как коммерческих предложений подобных моделей, так и научных исследований в этой области.

Вместе с развитием моделей появляются и новые данные о движении людей: зависимости скорости от плотности, поведение людей в сужениях, на поворотах и т.д. Основной в этой области можно считать работу Предтеченского и Милинского [1], где описаны основные расчётные случаи движения людей.



Т.Б. Витова

Вместе с тем, работ, где широко представлены тесты для анализа адекватности моделей движения людей, не так много (работа Роха [2] и проект Римеа [3]).

На сегодняшний день единственным широко распространённым количественным и качественным критерием проверки модели является проверка её на соответствие свойствам фундаментальной диаграммы (ФД). ФД – это кривая, отображающая зависимость скорости человека от плотности или потока от плотности. ФД, полученные различными исследователями в различных странах, отличаются друг от друга [4]. Тем не менее, у всех ФД есть одно общее свойство: с ростом плотности до определённого значения поток растёт до некоторого максимального значения, а затем падает. Несмотря на то, что ФД – важнейшая характеристика, она не отражает всего спектра особенностей, присущих движению людей. Дело осложняется ещё и тем, что нет единого соглашения о виде ФД [4]. В остальном, анализ работ показывает ([5, 6] и другие работы), что разработчики исследуют модели по своему усмотрению. Исследования отличаются друг от друга следующим: тем, что исследуется, геометрией пространства, граничными условиями (периодические и непериодические), плотностью и расположением частиц в области.

Часто работа модели показывается на больших и сложных объектах: самолёты, корабли, офисные, высотные здания и другие здания и сооружения. В этом случае трудно проследить локальные взаимодействия между частицами, невозможно проследить динамику эвакуации на отдельных участках и оценить работу модели в других пространственных условиях. Либо модель рассматривается на небольшом количестве простых тестовых примеров (прямой коридор, квадратные или прямоугольные комнаты), что также не даёт полного представления о её возможностях.

В работе представлены исследования, которые были проведены для дискретной стохастической модели движения людей SIGMA.CA [7].

2. Модель движения людей SIGMA.CA

Известны геометрия рассматриваемого пространства и начальное расположение частиц (людей) в этом пространстве. Пространство представляет собой плоскость, разбитую на ячейки 40×40 см², которые могут быть либо свободными, либо занятыми только одной частицей. В ячейках также могут располагаться стены и другие недвижимые препятствия. Пространство представлено двумя массивами:

$$f_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ячейка } (i, j) \text{ занята частицей;} \\ 0, & \text{ячейка } (i, j) \text{ свободна,} \end{cases} \quad w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ячейка } (i, j) \text{ занята препятствием;} \\ 0, & \text{ячейка } (i, j) \text{ свободна.} \end{cases}$$

Целью передвижения частиц является ближайший выход, который находится с помощью статического поля S . Оно отражает кратчайшее расстояние до ближайшего или заданного выхода и его можно интерпретировать как «карту» местности. Каждой ячейке пространства соответствует свое значение поля S_{ij} .

На каждом временном шаге частица может переместиться в одну из четырех свободных соседних ячеек или остаться на месте (окрестность фон Неймана). Шаблон соседства имеет вид $\{\varphi_k, k = \overline{0,4}\} = \{(i, j), (i-1, j), (i, j+1), (i+1, j), (i, j-1)\}$. φ_k – соответствующая соседняя клетка, которую также можно рассматривать как направление движения. Направление частицы предполагается случайным и определяется на основе вероятностей переходов в каждом направлении для каждой частицы в каждый дискретный шаг времени и набором правил переходов частиц.

Правила переходов следующие: сначала вычисляется статическое поле S [8], затем происходит расчёт вероятностей переходов и выбор направления перемещения. Причём, переходные вероятности равны нулю тогда и, только тогда, когда клетка в рассматриваемом направлении является недвижимым препятствием или стеной. Т.е. вероятность перехода в занятом направлении не равна нулю. При выборе направления

перемещения, если клетка в рассматриваемом направлении занята, то частице предоставляется возможность, либо выбрать другое направление для перемещения, либо остаться на прежнем месте. Такая процедура позволяет сначала определять направление желаемого движения, а потом корректировать его в зависимости от ситуации: остаться на месте и подождать, пока желаемое направление освободится, или выбрать другое. Что в целом соответствует принятию решения человеком в реальной жизни. И тот факт, что занятая ячейка является фиктивным кандидатом для передвижения при разыгрывании направления, даёт возможность перераспределить вероятность занятого направления (в случае его выбора) на возможность «остаться на месте». Тем самым вводится способ моделирования «терпеливого человека».

Если две или более частицы претендуют на одну и ту же ячейку, то вступает в силу процедура разрешения конфликтов: выбирается только одна частица для перемещения, остальные остаются на своих прежних местах. После того, как выбрано окончательное направление, следует перемещение частиц на новое место. Правила применяются ко всем частицам в один и тот же момент времени.

Правила переходов преимущественно отвечают на вопрос: как осуществляется перемещение частиц. Переходные вероятности p_{φ_k} определяют: куда передвигаться. Их ещё можно интерпретировать, как степень желания двигаться в том, или ином направлении.

При вычислении p_{φ_k} учитываются следующие свойства движения людей. Человек, двигаясь к цели, учитывает информацию и условия, предоставляемые окружающей обстановкой. В нормальных (не экстренных) условиях эвакуации движение людей характеризуется, как минимум, следующими особенностями. Люди выбирают кратчайший путь к цели следования. Если использование кратчайшего пути невозможно, то выбирается альтернативный путь. Т.е. человек старается минимизировать длину пути и/или минимизировать время пути. Итак, при движении люди используют две стратегии, назовём их «самый короткий путь» и «самый быстрый путь», и в зависимости от ситуации выбирают либо одну, либо другую стратегию, либо стратегии совпадают. Также люди стараются избегать излишнего контакта друг с другом и выбирают свои траектории таким образом, чтобы как можно меньше задевать соседей. Такое же «отталкивание» (психологическое) происходит и по отношению к стенам и другим препятствиям. С увеличением плотности, комфортное расстояние уменьшается.

Таким образом, в модели частицы должны двигаться направленно к цели следования, используя для этого кратчайший путь, либо альтернативный (более быстрый), если использование кратчайшего невозможно. Должны учитываться плотность частиц, близость стен и других недвижимых препятствий. С учётом описанного, формула переходных вероятностей имеет следующий вид:

$$p_{\varphi_k} = \frac{\tilde{p}_{\varphi_k}}{Norm} = Norm^{-1} A_{\varphi_k}^{SFF} A_{\varphi_k}^{people} A_{\varphi_k}^{wall} (1 - w_{\varphi_k}), \quad k = \overline{1,4}.$$

$$Norm = \sum_{k=1}^4 \tilde{p}_{\varphi_k}, \quad Norm \neq 0, \quad \tilde{p}_{\varphi_k} \geq 0.$$

$$A_{\varphi_k}^{SFF} = \exp[k_S \Delta S_{\varphi_k}] - \text{главная движущая сила, } \Delta S_{\varphi_k} = S_{\varphi_0} - S_{\varphi_k}.$$

$A_{\varphi_k}^{people} = \exp[-k_P D_{\varphi_k}(r^*)]$ – учитывает плотность частиц в рассматриваемом направлении. $0 \leq r^* \leq r$ – расстояние (в ячейках) до ближайшего препятствия в направлении ячейки φ_k . $D_{\varphi_k}(r^*)$ – плотность частиц в направлении φ_k на расстоянии r^* . Чтобы оценить плотность частиц, использовалась идея ядерной оценки плотности Розенבלата-Парзена [9-10]:

$$D_{\varphi_k}(r^*) = \frac{\sum_{m=1}^{r^*} \Phi\left(\frac{m}{C(r^*)}\right) (f_m)_{\varphi_k}}{r^*},$$

где $\Phi(z) = \begin{cases} (0,335 - 0,067 z^2) 4,4724, & |z| \leq \sqrt{5} \\ 0, & |z| > \sqrt{5} \end{cases}$, $C(r^*) = \frac{r^* + 1}{\sqrt{5}}$, $(f_m)_{\varphi_k}$ – значение

ячейки в направлении φ_k на расстоянии m от текущей. Например, если $\varphi_k = (i-1, j)$, то $(f_m)_{\varphi_k} = f_{i-m, j}$. Если все ячейки в направлении φ_k заняты частицами, тогда $D_{\varphi_k}(r^*) = 1$, если свободны – $D_{\varphi_k}(r^*) = 0$.

$$A_{\varphi_k}^{wall} = \exp\left[-k_W \left(1 - \frac{r^*}{r}\right) \tilde{\Gamma}'(\Delta S_{\varphi_k} - \max \Delta S_{\varphi_0}) (1 - \tilde{\Gamma}(D_{\varphi_k}(r^*)))\right] - \text{учитывает влияние стен}$$

и других препятствий, когда в рассматриваемом направлении нет других частиц, и данное направление ведёт к выходу.

$$\max \Delta S_{\varphi_0} = \max_{k=1,4} \{\Delta S_{\varphi_k}\}, \quad \tilde{\Gamma}(z) = \begin{cases} 1, & z \neq 0 \\ 0, & z = 0 \end{cases}, \quad \tilde{\Gamma}'(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases}.$$

r, k_S, k_P, k_W – параметры модели.

$r > 0, r \in Z$ – радиус видимости. Параметр, определяющий максимальное расстояние, в пределах которого окружающая обстановка влияет на принятие решения о выборе направления. Расстояние понимается в смысле количества клеток. При минимальном значении $r = 1$ берутся в рассмотрение только соседние ячейки.

$k_S \geq 0$ – параметр чувствительности статического поля S . Определяет степень знания «карты местности» и желание двигаться по направлению к выходу. Чем выше k_S , тем более направленно в совокупности частицы двигаются к выходу.

$k_P \geq 0$ – параметр чувствительности для плотности частиц. Отвечает за психологическое отталкивание между людьми, параметр разуплотнённости. Чем выше k_P , тем в большей степени реализуется стратегия быстрого пути. $k_P = 0$ означает, что другие частицы, находящиеся в радиусе видимости, не влияют на выбор направления, частицы не «боятся» друг друга.

$k_W \geq 0$ – параметр чувствительности, определяющий степень влияния стен и других препятствий. Чем выше k_W тем, больше частицы «боятся» стен. $k_W = 0$ – недвижимые препятствия не учитываются.

С помощью параметров модели можно регулировать использование стратегий и, соответственно, динамику движения.

3. Тестовые примеры

Сценарий – это пространственная ситуация и условия, в которых находятся частицы, и предписание им определённых действий (например, движение к заданному выходу). Сценарии характеризуются следующим: геометрией пространства, расположением и плотностью частиц в нем, граничными условиями (открытые или периодические), предписанием частицам определённых действий, параметрами модели.

С помощью одних сценариев модель проверяется на соответствие заявленным требованиям. С помощью других – на соответствие официальным требованиям (например, на выполнение свойств фундаментальной диаграммы или на соответствие национальным стандартам). В некоторых сценариях отслеживают динамику модели в ситуациях, которые часто встречаются в реальных зданиях и сооружениях (например, динамика на поворотах, в сужениях, при пересечениях или слиянии потоков и т.д.).

Под эвакуацией понимается простой выход частиц из области, не в аварийной ситуации.

Исследования проводились по следующим направлениям:

- исследование времени эвакуации;
- исследование динамики модели;
- построение фундаментальных диаграмм.

Для исследования времени эвакуации проводилась серия из M наблюдений времени эвакуации, и затем находились статистические характеристики времени эвакуации: гистограммы или полигоны частот, оценки математического ожидания T_{cp} , дисперсии D_T и среднего квадратического отклонения σ_T .

Для отслеживания динамики модели делались снимки стадий эвакуации, находились интегральные характеристики и частоты выбора каждого из возможных направлений $fr_{\varphi_k} = \{fr_{i,j}, fr_{i-1,j}, fr_{i,j+1}, fr_{i+1,j}, fr_{i,j-1}\}$, вычисленные по серии наблюдений:

$$fr_{\varphi_k} = \frac{\sum_{m=1}^M L_{\varphi_k}^m}{\sum_{\substack{\varphi_k \\ k=0,4}} \sum_{m=1}^M L_{\varphi_k}^m}, \quad k = \overline{0,4}, \quad \begin{array}{l} \text{где } M - \text{число наблюдений в серии,} \\ L_{\varphi_k}^m - \text{число сдвигов в направлении} \\ \varphi_k \text{ в } m\text{-ом наблюдении серии.} \end{array}$$

Интегральные характеристики движения:

- интенсивность посещения – все ячейки, в которых находились частицы;
- двигательная активность – ячейки, из которых произошло перемещение;
- простаивание – ячейки, в которых частицы на протяжении одного или более шага оставались на прежнем месте;
- конфликтность – ячейки, на которые претендовало две или более частицы.

Построение фундаментальных диаграмм проводилось следующим образом. Для открытых граничных условий находилось среднее время T_{cp} по серии наблюдений, за которое из области выйдут все частицы при заданной начальной плотности ρ_0 . Для периодических – время, за которое через сечение пройдет K частиц при заданной плотности ρ . Затем каждой рассмотренной плотности ставился в соответствие вычисленный поток $J = N/T$ [1/step] или удельный поток $J_s = N/(T * b)$ [1/(m×step)], где N – число частиц в области, b – ширина проема.

Площадь проекции частиц принимается равной $0,4 \times 0,4 = 0,16$ [м²]. Плотность частиц определяется либо как соотношение суммы проекций всех частиц в области к площади области, либо как отношение количества частиц к площади области, [1/м²].

Далее кратко представим рассмотренные тестовые примеры и отразим наиболее значимые результаты.

Пример 1. Рассматривалась комната 7,2 м × 6,8 м (18 × 17 клеток) с выходом 0,8 м (2 клетки), расположенном посередине стены. Одна частица располагалась в углу комнаты возле противоположной от выхода стены. Граничные условия – открытые. Исследовалось влияние параметров r и k_s на время эвакуации и динамику движения частицы [11].

Пример 2. Рассматривалась комната 16 × 16 м (40 × 40 ячеек) с выходом 0,8 м (2 ячейки) посередине стены. В начальный момент времени в ней располагалось $N = 300$ частиц ($\rho_0 \approx 1,17$ [1/м²]), распределенных по всему пространству комнаты в случайном порядке. Граничные условия – открытые. Исследовалось влияние параметров r , k_s и k_p , на время эвакуации и динамику движения частиц [11].

Примеры 3, 4. Рассматривались две геометрии пространства. Комната в виде прямого коридора длиной 50 м (125 ячеек) и шириной 2 м (5 ячеек). В начальный момент времени частицы были равномерно распределены по всему пространству с различной начальной плотностью. И помещение со сложной внутренней планировкой, рис. 1. Частицы располагались в выделенной области с различной начальной плотностью. Начальные плотности для представленных примеров принимали значения $\rho_0 = \{0,04; 0,16; 0,32; 0,4; 0,48; 0,56; 0,64; 0,8; 0,92\}$. Граничные условия – открытые.

В данных примерах было исследовано, как в модели реализуются стратегии кратчайшего пути и быстрого пути и как выбор параметров k_p и r влияет на время эвакуации и динамику движения. Для коридора стратегии движения совпадают, для помещения со сложной планировкой использование стратегии зависит от пространственной ситуации, в которой оказалась частица на текущий момент. Напомним, что выбор стратегий регулируется параметрами модели. Проведённые исследования [12] показали, что динамика модели зависит от вида пути, от начальной плотности и от параметров модели.

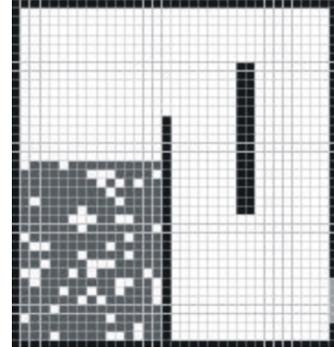


Рис. 1.

Выбор оптимальных параметров, а значит и стратегии, влияет на значение времени эвакуации и динамику модели, рис. 2 и рис. 3. При минимальных плотностях выбор стратегии не влияет на время эвакуации и в одном и другом

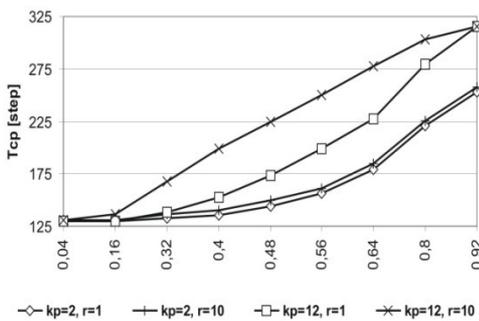


Рис.2.

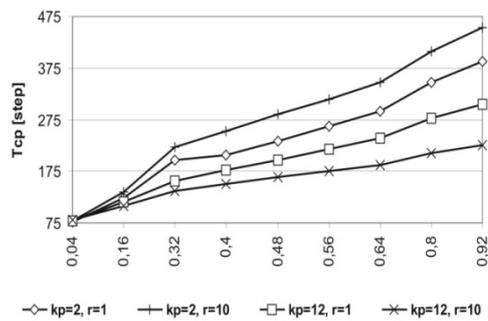


Рис. 3.

примере. Пространства со сложной внутренней структурой гораздо больше чувствительны к значениям параметров и начальной плотности частиц, чем пространства с простой геометрией.

Пример 5. Было показано, что в модели реализуется растекание (разуплотнение) потока [13]. Для этого было рассмотрено три коридора 50 м, 100 м и 150 м (125, 250 и 375 ячеек соответственно), шириной 2 м. Частицы располагались на первых пятидесяти метрах с различной начальной плотностью от $\rho_0 = 0,25 [1/m^2]$ до $5,75 [1/m^2]$. Параметры модели $k_s = k_p = k_w = 4, r = 10$. Граничные условия – открытые.

Для каждого примера и каждой начальной плотности были найдены средние времена эвакуации T_{cp} по серии наблюдений. Затем для коридоров длинами 100 м и 150 м были найдены времена, за которые частицы пройдут первые 50 м. Для этого от полученного среднего времени эвакуации отнималось 125 и 250 шагов соответственно (это минимальные теоретические времена эвакуации из коридоров длиной 50 м и 100 м соответственно). После этого для каждого примера вычислялись удельные потоки в зависимости от начальной плотности. Полученные потоки для коридоров 100 м и 150 м были ниже, чем поток для коридора 50 м, что позволяет сделать вывод о том, что в модели реализуется растекание потока.

Пример 6. Рассматривалось пересечение потоков в различных ситуациях: встречное движение и пересечение потоков под прямым углом в ограниченной зоне движе-

ния, рис. 4. Частицы располагались в выделенных областях с начальной плотностью $\rho_0 = \{0,5; 1; 1,5; 2; 3\}$ [1/м²]. Параметры модели $k_S = k_W = 4$, $k_P = \{4; 12\}$, $r = \{1; 10\}$. Граничные условия – открытые. Исследовалось время эвакуации и динамика движения в зависимости от плотности частиц и параметров модели.

Было показано [14], что в модели, так же как и реальности, существует предел плотности пересекающихся потоков, который при определённых параметрах модели соответствует значению, полученному в натуральных наблюдениях [1].

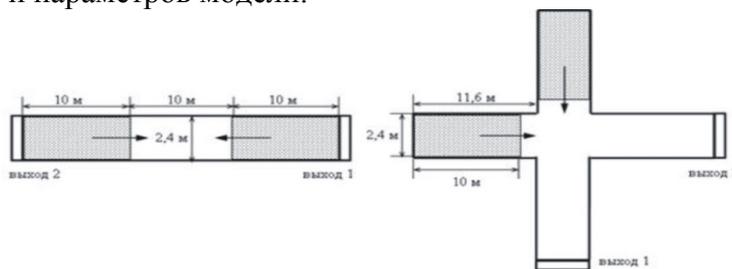


Рис. 4.

Также исследовалось пересечение потоков в неограниченной зоне движения. Рассматривалась большая квадратная комната, в которой было два источника потоков и, соответственно, две точки притяжения. Пересечение потоков было организовано под прямым углом. Граничные условия – периодические. Параметры модели $k_S = k_W = 4$, $k_P = 4$ и $r = 10$.

Пример 7. Рассматривалось слияние потоков: объединение потоков из трех коридоров, объединение потоков из двух коридоров различным способом, рис. 5. В выделенных областях находилось различное количество частиц: 20, 40, 60 и 80. Параметры модели $k_S = k_W = 4$, $k_P = 4$ и $r = 1$. Граничные условия – открытые.

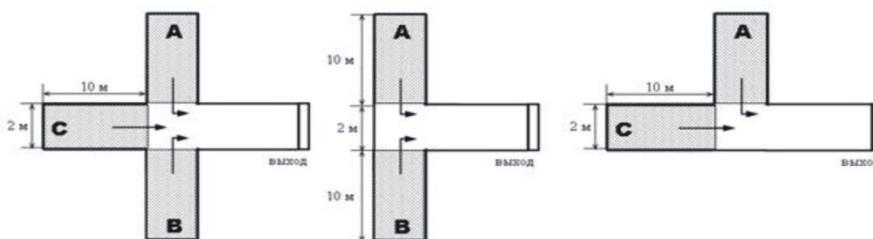


Рис. 5.

Исследовались динамика слияния, время эвакуации и поток [14].

Пример 8. Рассматривались геометрии с сужением. Движение людского потока через проем, как и через любую резко сужающуюся часть пути, – довольно сложный процесс, знание которого имеет большое значение, поскольку с ним связано возникновение ситуаций, чреватых серьёзными последствиями (от задержки движения до несчастных случаев с людьми). При этом избежать наличия проёмов и различных сужений в зданиях и сооружениях невозможно.

Сначала была рассмотрена динамика движения при сужении прохода. Рассматривалось три геометрии пространства.

Для исследования динамики движения перед сужением, в самом сужении и после него рассматривались две комнаты $7,6 \times 4$ м (19×10 ячеек), соединённые коридором длиной 4,8 м (12 ячеек), ширины коридора и выхода изменялись и были равны 0,8 м, 1,2 м, 1,6 м и 2 м (2, 3, 4 и 5 ячеек соответственно), частицы были расположены в одной комнате, расстояние от фронта частиц до сужения – 2,8 м (7 ячеек).

Также исследовалась динамика движения частиц в зависимости от их расположения (находятся они на расстоянии от выхода или стоят вплотную к нему): комната $7,6 \times 4$ м (19×10 ячеек), частицы стоят на расстоянии 2,8 м от сужения; комната $4,8 \times 4$ м (12×10 ячеек), частицы стоят вплотную к сужению. Ширина выхода – 0,8 м (2 ячейки).

Количество частиц во всех трех примерах одинаковое и $N = 60$. Частицы расположены по пространству в шахматном порядке. Граничные условия – открытые. Параметры модели $k_S = k_W = 4$, $k_P = \{2; 4; 12\}$, $r = \{1; 10\}$.

Перед сужением возникает затор из частиц. Поэтому в сужении и во второй комнате плотность движения становится меньше. Перед сужением частицы образуют своего рода арку, что особенно заметно при ширине сужения $b=0,8$ м. С увеличением b арка расширяется. В то же время конфликтные ситуации чаще всего возникают на углах перед сужением, что можно интерпретировать, как образование ложного проёма [1]. В сужении проявляется наибольшая двигательная активность по сравнению с другими участками пространства. Здесь частицы очень мало стоят и редко возникают конфликтные ситуации. После прохождения узкого места частицы ещё некоторое время продолжают двигаться прямо, а затем траектории движения расширяются.

Исследование динамики движения частиц в зависимости от их расположения показало, что динамика различается в начале эвакуации. Одним частицам надо сначала дойти до выхода, значит, есть возможность переформироваться, они перед выходом выстраиваются в форме воронки. После переформирования динамика в одном и другом случае выглядит одинаково. И время эвакуации в этих двух случаях примерно отличается друг от друга на время прохождения частицами расстояния до выхода.

Для исследования влияния расположения выходов и их количества на динамику модели рассматривались четыре комнаты $7,6 \times 4$ м (19 x 10 ячеек), но с различным расположением выхода, рис. 6. Ширина выхода равна 0,8 м (2 ячейки). Частицы расположены на расстоянии 2,8 м от стены с плотностью $\rho_0 = 0,5$, $N = 60$. Параметры модели $k_s = k_w = 4$, $k_p = 4$ и $r = 10$.

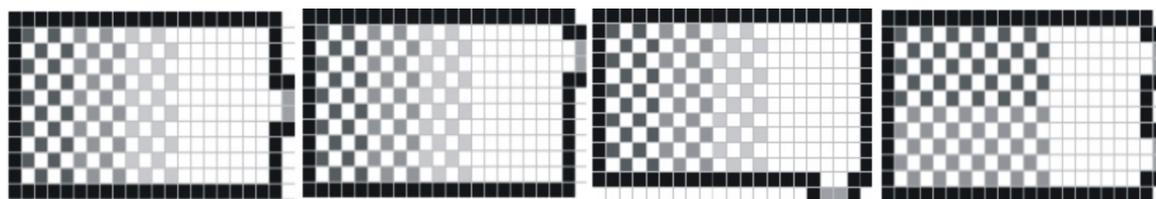


Рис. 6.

Было найдено, что расположение выхода незначительно влияет на время эвакуации, но изменяет динамику движения. Наличие дополнительного выхода уменьшает время эвакуации.

Было также проведено исследование общего и удельного потока в сужениях [15]. Исследование величины потока в модели проводилось при различных начальных условиях: изменялись ширина проема b , начальная плотность ρ_0 , количество частиц N . Частицы стояли вплотную к проему. Ширина проема принимала следующие значения $b = \{0,8 \text{ м}; 1,2 \text{ м}; 1,6 \text{ м}; 2,4 \text{ м}; 4 \text{ м}\}$. Параметры модели $k_s = k_w = 4$, $k_p = \{2; 4; 12\}$, $r = \{1; 10\}$. Граничные условия – открытые.

При исследовании потока при постоянной начальной плотности $\rho_0 = 0,5$ рассматривалась комната шириной 4 м (10 ячеек). Количество частиц в комнате менялось и $N = \{20, 40, 60, 120\}$. Чтобы плотность частиц оставалась одинаковой при различных N , изменялась длина комнаты: 1,6 м (4 ячейки), 3,2 м (8 ячеек), 4,8 м (12 ячеек) и 9,6 м (24 ячейки) соответственно. Частицы были расположены по пространству в шахматном порядке.

При исследовании потока при различных начальных плотностях рассматривалась комната $4,8 \times 4$ м (12×10 ячеек). Размеры пространства не менялись. Изменялась начальная плотность частиц $\rho_0 = \{0, 25; 0, 5; 0, 75; 1\}$, что соответствует количеству частиц $N = \{30; 60; 90; 120\}$.

Потоки ведут себя аналогично и в том и другом случае. С увеличением ширины проема общий поток J растёт и при постоянной плотности ρ_0 и при изменяющейся.

Удельный поток J_s уменьшается. С увеличением количества частиц N или начальной плотности ρ_0 и общий и удельный потоки растут.

Натурные данные показывают, что поток возрастает, а удельный поток практически не изменяется и увеличением ширины проёма [1]. Но при натуральных наблюдениях плотность перед проёмом постоянная. Чтобы сравнить полученный модельный результат с натурным, модельные данные были сгруппированы по следующему принципу: изменение удельного потока при изменении b было показано вместе с пропорциональным изменением начальной плотности. Такое представление даёт более постоянные условия перед сужением. Рис. 7 показывает, что удельный поток практически не изменяется с увеличением b , что согласуется с натурными данными. Таким образом, дискретная модель, где люди рассматриваются как несжимаемые частицы, может воспроизводить явления свойственные движению людей в сужениях.

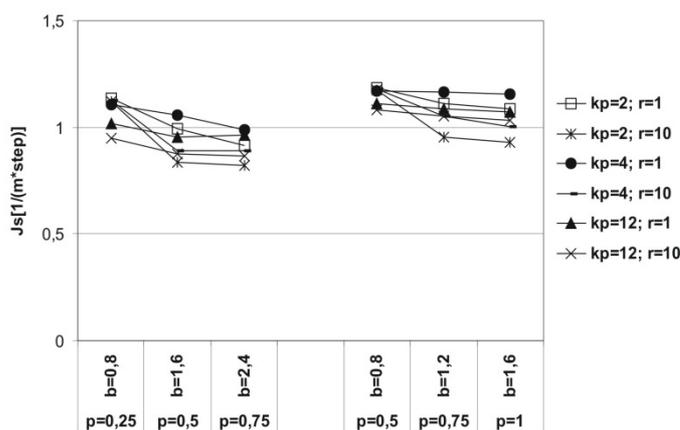


Рис. 7.

4; 5; 5, 75} [1/м²]. Замерялось время эвакуации частиц из области. Для каждой начальной плотности было сделано 100-500 наблюдений.

По полученным данным было найдено среднее время выхода T_{cp} и вычислена величина удельного потока. В случае периодических начальных условий замерялось время, за которое через сечение пройдет 1000 частиц. Параметры модели

$$k_s = k_w = 4, k_p = \{2;4;12\}, r = \{1;10\}.$$

На рис. 8 и рис. 9 представлены полученные зависимости удельного потока от плотности при различных параметрах модели. Рис. 9 соответствует натурным данным и свойству фундаментальных диаграмм.

Также были рассмотрены коридоры с поворотами: с одним, с двумя и четырьмя на 90 градусов, с одним поворотом на 180 градусов и коридор с двумя поворотами на 90 градусов, но с различным направлением поворотов. Граничные условия – периодические. В начальный момент времени частицы равномерно располагались по пространству с определенной плотностью. Замерялось время T (в шагах), за которое через сечение пройдет определенное количество частиц K для заданной плотности потока. Параметры модели $k_s = k_w = 4, k_p = \{2;4;12\}, r = \{1;10\}$.

На рис. 10 представлены полученные удельные потоки для коридора с четырьмя поворотами при различных параметрах модели.

Пример 9. Построение фундаментальных диаграмм на прямых участках пути и при наличии на пути движения поворотов [16-17].

Рассматривается коридор 2 × 50 м. В начальный момент времени частицы равномерно располагались по всему пространству коридора с различной плотностью. В случае открытых граничных условий начальная плотность частиц составляла $\rho_0 = \{0, 25; 1; 2; 2, 5; 3; 3, 5;$

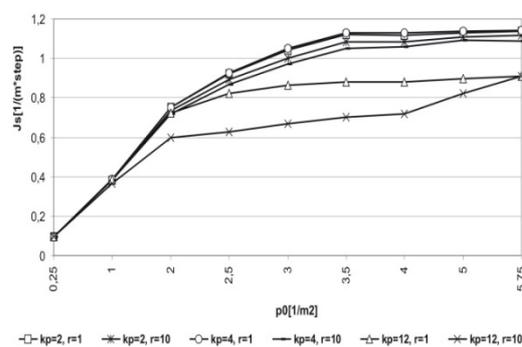


Рис. 8.

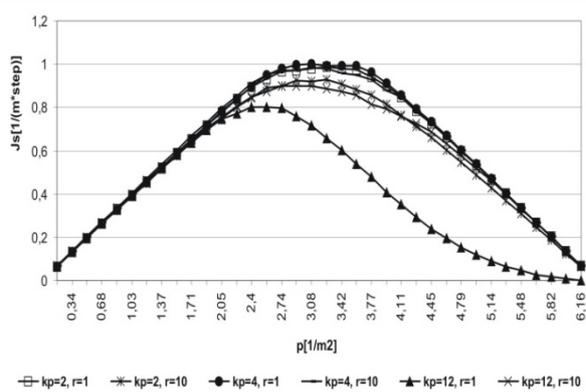


Рис. 9.

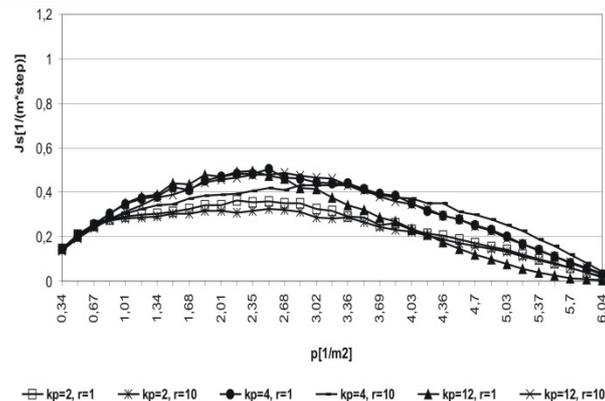


Рис. 10.

Проведенные исследования показали, что следует различать потоки, полученные при разных граничных условиях. Наличие поворотов на пути движения влияют на величину потока в модели, уменьшая его примерно в два раза на средних плотностях. Количество поворотов существенного влияния на величину потока не оказывает [17].

4. Заключение

Автор считает, что в данной работе новым является следующий результат: собраны воедино расчетные ситуации для тестирования дискретной стохастической модели движения людей SIGMA.CA. Примеры 1-4 показывают влияние параметров модели на динамику движения частиц и, соответственно, время эвакуации. Остальные проверяют работу модели на ее соответствие свойствам движения людей в ситуациях, которые часто возникают в реальных зданиях и сооружениях. Проведённые исследования (модельная фундаментальная диаграмма, поток в сужениях (при определённых условиях), динамика при слиянии и пересечении потоков) позволяют сделать вывод о том, что рассмотренная модель на качественном уровне соответствует натурным наблюдениям [1].

Литература

1. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учётом организации движения людских потоков: учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.
2. Rogsch C. Vergleichende Untersuchungen zur dynamischen Simulation von Personenstromen / Diploma thesis of the University of Wuppertal and the Research Center Julich, 2005. – 102 p.
3. Meyer-Koig T., Waldau N., Klufel H. The RiMEA Project – Development of a new Regulation // Pedestrian and Evacuation Dynamics. 2005. – Berlin, 2007. P. 309-313.
4. Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A. Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications// Encyclopedia of Complexity and System Science. 2009.V. 3, P. 3142-3176.
5. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008/ W.W. F. Klingsch, C. Rogsch, A. Schadschneider, M. Schreckenberg. – Berlin:Springer, 2010. – 806 p.
6. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2010 / R.D. Peacock, E.D. Kuligowski, J.D. Averill. – US:Springer, 2011. – 910 p.
7. Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. On realizing the shortest time strategy in a CA FF pedestrian dynamics model // Cybernetics and Systems. 2011. V.42, № 1, P. 1-15.
8. Nishinari K., Kirchner A., Namazi A., Schadschneider A. Extended floor field CA model for evacuation dynamics// IEICE Transactions on Information and Systems. 2004. V. E87-D. N. 3. P. 726-732.
9. Parzen E. On estimation of probability Density Function // Ann. Math. Stat. 1962. V. 33. P. 1065-1076.
10. Rosenblat M. Remarks on some non-parametric estimates of a density function // Ann. Math. Stat. 1956. V. 27, P. 832-837.
11. Кирик Е.С., Круглов Д.В., Юргельян Т.Б. О дискретной модели движения людей с элементом анализа окружающей обстановки // Журн. СФУ. Сер. Матем. и физ. 2008. Т. 1. № 3. С. 266-276.
12. Юргельян Т.Б., Кирик Е.С., Круглов Д.В. О чувствительности математической модели движения людей SIGMA.CA к геометрии пути // Журн. СФУ. Сер. Матем. и физ. 2011. Т. 4. № 4. С. 556-568.

13. Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. On time scaling and validation of a stochastic CA pedestrian dynamics model // Pedestrian and Evacuation Dynamics. 2010. 2011. P. 819-822.
14. Витова Т.Б. Об исследовании пересечения и слияния потоков в модели движения людей SIGMA.CA // Моделирование неравновесных систем. – Красноярск, 2013. С. 19-24.
15. Kirik E., Vitova T. On validation of the SIGMA.CA pedestrian dynamics model with bottleneck flow // Lecture Notes in Computer Science. 2012. V. 7495. P. 719-727.
16. Юргельян Т.Б., Кирик Е.С., Круглов Д.В. О валидации модели движения людей SIGMA.CA по данным фундаментальных диаграмм // Вестник СибГАУ имени академика М.Ф. Решетнева. 2010. №5. С. 162-166.
17. Кирик Е.С., Витова Т.Б., Круглов Д.В. Об исследовании модели движения людей SIGMA.CA с помощью фундаментальных диаграмм в пространствах типа «коридор» // Моделирование неравновесных систем. – Красноярск, 2011. С. 120-126.

On testing the discrete stochastic pedestrian dynamics model SIGMA.CA in different spatial situations

Tat'yana Bronislavovna Vitova, Junior Researcher

Institute of Computational Modeling SB RAS

This paper deals with investigation of discrete stochastic pedestrian dynamics model SIGMA.CA. Variety of case studies when basic people movement phenomena realize were considered. Fundamental diagrams (specific flow versus people density) for some cases are presented.

Keywords: people movement, mathematical model, fundamental diagram.

УДК 630.43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Георгий Алексеевич Доррер, д.т.н., профессор

Тел.: 8 913 534 1066, e-mail: g_a_dorrer@mail.ru

Павел Сергеевич Шаталов, аспирант

Тел.: 8 913 594 0584, e-mail: shatalovp@gmail.com

Сибирский Государственный Технологический Университет

<http://www.sibstu.kts.ru>

Обсуждается проблема создания математических моделей лесных пожаров на основе решения уравнений Навье-Стокса с использованием высокопроизводительных кластерных вычислительных систем. Исследуется эффективность алгоритмов моделирования. Приводятся примеры расчёта динамики пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, математическое моделирование, кластерные вычислительные системы

Благодарность. Авторы выражают признательность г-ну Вильяму Меллу (William Mell) из Национального Института Стандартов и Технологий (NIST) США за консультации по системе WFDS.