

Динамика паникующей толпы

К. БОГДАНОВ

ПАНИКА – ЭТО ЧУВСТВО СТРАХА, КОТОРОЕ, охватывая сначала небольшую группу людей, затем передается остальным, перерастая в неуправляемый процесс. Природа человека такова, что часто в экстренных ситуациях каждый человек ведет себя так же, как и все вокруг. Именно поэтому коллектив людей, объятых паникой, по существу перестает быть коллективом, теряет его признаки, становясь неуправляемой толпой.

История хранит много примеров того, к каким человеческим трагедиям приводила паника толпы. Одна из них – Ходынская катастрофа, или просто «Ходынка»

– произошла на северо-западе Москвы во время народного гулянья 18 мая 1896 года в дни коронации императора Николая II. По традиции, народ, присутствующий при коронации нового царя, всегда одаривали подарками. А в тот раз ходили слухи, что подарки будут очень дорогими.¹ Поэтому привлеченная бес-

¹ На самом деле, подарочный набор включал в себя завязанные в платок булку, пряник, колбасу, немного сушеных фруктов и орехов, а также эмалированную – в то время большая диковинка – кружку с императорскими вензелями. С этой кружкой можно было подойти к многочисленным крамам с пивом и медовухой.



платными гостинцами и зрелищами публика начала стекаться к Ходынскому полю еще с вечера, а к рассвету, когда число страждущих увеличилось до полумиллиона, если не более, прошел слух, что буфетчики начали оделять «своих» и что припасенного на всех не хватит. По свидетельству очевидцев, толпа вдруг вскочила, как один человек, и бросилась вперед, как будто от пожара. Между тем, местность, на которой были выстроены 150 будок с подарками и 10 пивных павильонов, была отделена от страждущих огромным оврагом (3 метра в глубину и 30 в ширину), откуда муниципальные службы обычно брали песок, необходимый для содержания в порядке московских улиц. В ответ на летевшие со всех сторон требования начать раздачу гостинцев растерявшиеся буфетчики принялись швырять узелки в толпу наугад – и тут началось самое страшное. Киоски брали штурмом, задние ряды напирала на средние... Произошла давка, в которой погибли, по официальным данным, 1389 человек и около 1300 получили увечья. По свидетельству А.С.Суворина, кружка из подарочного набора стоила 10 копеек и на 5 копеек было гостинцев – вот и вся стоимость подарка, за который столько людей заплатили жизнью. Для очистки совести Николай II распорядился выплатить каждой семье погибших по 1000 рублей.

Кстати сказать, и в других странах случалось подобное. Так, в 1887 году, когда в Великобритании отмечали 50-летие вступления на трон королевы Виктории, в Лондоне при схожих обстоятельствах погибли около 4000 человек – и ничего, придворные церемонии не были нарушены.

Можно ли избежать давки? Конечно, да! Но прежде чем давать конкретные советы, посмотрим, как возникает давка, используя для этого методы физики сложных систем – раздела физики, изучающего системы, состоящие из большого числа объектов, взаимодействие между которыми подчиняется каким-либо определенным законам. Такими объектами могут быть атомы, молекулы или песчинки, образующие дюны, а также люди, механически взаимодействующие друг с другом в толпе.

Какие силы действуют на человека в толпе

В соответствии со вторым законом Ньютона, для того чтобы предсказать поведение толпы через интервал времени Δt , необходимо знать положение и скорость каждого человека и силы, действующие на него в данный момент t . Другими словами, нам необходимо написать соответствующие уравнения для всех членов толпы, а потом решить эту систему уравнений.

Сначала перенумеруем всех людей в толпе, состоящей из N человек, выберем человека под номером i и рассмотрим силы, действующие на него. Очевидно, что одна из сил, заставляющих человека i двигаться, это горизонтальная проекция силы реакции опоры, т.е. земли, отталкиваясь от которой он и движется в избранном направлении. Обозначим эту силу \overline{F}_{3i} . Наталкиваясь на препятствия, которыми могут быть и

остальные люди из толпы, человек i испытывает на себе действие силы сопротивления, которую мы обозначим \overline{F}_{ci} . Таким образом, если допустить, что все люди в толпе имеют одинаковую массу m (например, 80 кг), то уравнение второго закона Ньютона для i -го человека толпы принимает вид

$$m \frac{\Delta \overline{v}_i}{\Delta t} = \overline{F}_{3i} + \overline{F}_{ci}, \quad (1)$$

где $\Delta \overline{v}_i$ – изменение скорости i -го человека, произошедшее за интервал времени Δt в результате действия сил, стоящих в правой части уравнения.

Теперь займемся каждой из упомянутых сил. Рассмотрим сначала, чем руководствуется каждый из нас, оказавшись в толпе одержимых идти куда-то. Пусть, например, все стремятся выйти из помещения, где начался пожар. Тогда, очевидно, вектор силы \overline{F}_{3i} будет направлен к ближайшей двери, а абсолютная величина F_{3i} будет зависеть от того, насколько человек удовлетворен своей скоростью движения в сторону заветной двери. Иными словами, F_{3i} можно считать пропорциональной разности между «желаемой» для данного человека скоростью движения \overline{v}_{0i} и настоящим ее значением \overline{v}_i . Это предположение позволяет записать следующее соотношение для \overline{F}_{3i} :

$$\overline{F}_{3i} = m \frac{\overline{v}_{0i} - \overline{v}_i}{\tau}, \quad (2)$$

где τ – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность времени, который сопоставим с интервалом, необходимым человеку для разгона до «желаемой» скорости (пусть, например, $\tau = 0,5$ с). Нетрудно догадаться, что вектор \overline{v}_{0i} всегда направлен в сторону двери, а его абсолютная величина характеризует стремление охваченного паникой человека выбраться из горящего помещения. Каждому человеку кажется, что, чем больше будет значение v_{0i} , тем раньше он выберется оттуда. Таким образом, v_{0i} может служить мерой паники в толпе.

После того как с помощью формулы (2) описана сила, влекущая i -го человека к двери, рассмотрим силы его взаимодействия с препятствиями, встречающимися на пути. Очевидно, что даже в условиях паники человек предпочитает не подходить вплотную к впереди идущему, если, конечно, его не толкают в спину сзади. Такое нежелание находиться очень близко к другим людям эквивалентно существованию некой силы отталкивания между людьми, которая возрастает с уменьшением расстояния между ними, аналогично кулоновской силе взаимодействия одноименных зарядов. Для простоты последующих вычислений можно считать, что на i -го человека со стороны j -го человека действует отталкивающая сила, абсолютное значение которой равно

$$F_{ij} = Ae^{-\frac{|\overline{z}_i - \overline{z}_j| - D}{B}}, \quad (3)$$

где D – поперечный размер человека (пусть $D = 0,6$ м), A и B – постоянные (равные 2000 Н и 0,08 м

соответственно), а вертикальными скобками обозначено абсолютное значение разности векторов, проведенных из начала координат к i -му человеку (\vec{z}_i) и j -му человеку (\vec{z}_j), которое равно расстоянию между этими людьми. Так, в соответствии с формулой (3), коснувшись друг друга люди противостоят отталкивающей силе в 2000 Н, которая при их взаимном отдалении уменьшается в e раз через каждые 8 см.

Как показывает житейский опыт, двигаясь, человек избегает касания не только с другими пешеходами, но и со стенами и прочими ограждениями. Для описания этой характеристики движения i -го человека введем отталкивающую силу, действующую на него со стороны ближайшего участка стены перпендикулярно ее поверхности, и обозначим ее $\overline{F_{cti}}$. Очевидно, что формула для значения абсолютной величины этой силы может иметь вид, аналогичный (3), а именно

$$F_{cti} = Ae^{-\frac{d_i - D/2}{B}}, \quad (4)$$

где d_i – кратчайшее расстояние между i -м человеком и ближайшей стеной, A и B – те же, что и для силы (3).

Силы, «отталкивающие» человека от препятствий, описанные формулами (3) и (4), помогают ему избегать столкновений, но не всегда. В тех случаях, когда плотность людей и их «желаемая» скорость велики, сумма сил $\overline{F_{ij}}$ и $\overline{F_{cti}}$ не спасает их от столкновений. Кроме того, столкновению людей между собой и со стенами способствуют необходимые иногда повороты на пути к выходу. Поэтому для полного описания сил, действующих во время давки, необходимо ввести силы упругого взаимодействия и трения при столкновении людей между собой и людей со стенами.

Для простоты будем считать, что при столкновении людей между собой и со стеной их можно заменить вертикально стоящими цилиндрами с круговым поперечным сечением диаметром D . Очевидно, что столкновение таких цилиндров, моделирующих людей под номерами i и j , происходит тогда, когда расстояние между их осями становится меньше D . Величину силы упругого взаимодействия, отталкивающей их друг от друга, в соответствии с законом Гука, можно описать формулой

$$F_{yij} = k(D - |\vec{z}_i - \vec{z}_j|), \quad (5)$$

где k – коэффициент, пропорциональный жесткости человека в поперечном направлении (120000 Н/м). Формула, аналогичная (5), очевидно, справедлива и для столкновения i -го человека со стеной и имеет следующий вид:

$$F_{ycti} = k(D/2 - d_i), \quad (6)$$

где d_i – минимальное расстояние между осью i -го цилиндра и стеной в области их контакта.

Что касается силы трения $\overline{F_{tpi}}$, действующей на i -го человека при столкновении с «чужой» поверхностью, то ее величина будет зависеть, во-первых, от того, с

какой скоростью v_{pi} он будет двигаться вдоль «чужой» поверхности, и, во-вторых, от величины деформации Δ при столкновении, которая заключена в скобки в формулах (5) и (6). Если эти величины известны, то сила трения при столкновении, действующая в сторону, противоположную скорости, равна

$$\overline{F_{tpi}} = -b\overline{V_{pi}}\Delta, \quad (7)$$

где b – коэффициент трения (120000 кг/(м·с)).

Таким образом, сила $\overline{F_{ci}}$, стоящая в правой части равенства (1), является суммой сил, описанных формулами (3) – (7). При этом если i -й человек одновременно сталкивается с несколькими другими, то выражения (3), (5) и (7) следует вычислять для всех столкнувшихся людей. Кроме того, для всех них необходимо вычислять алгебраическую сумму сил, приложенных к каждому из них в радиальном направлении, так как известно, что если эта величина превысит 3000 Н, то человек может потерять сознание и стать жертвой паники. А всякий, кто теряет сознание в результате давки, перестает двигаться и поэтому становится дополнительным препятствием для толпы на ее пути.

Пора включить компьютер!

Читатель уже наверняка устал от формул и коэффициентов, взятых, как он, возможно, считает, с потолка. Автор частично разделяет такую оценку, обещая больше не испытывать терпение читателя. Искусство моделирования и заключается в том, чтобы вовремя остановиться. Кроме того, очевидно, что полностью описать в терминах физики и математики такие сложные процессы, как поведение человека, вообще невозможно. И все-таки попробуем предсказать движение толпы, используя формулы (1) – (7), хотя наверняка такое описание является весьма приближенным.

Пусть в прямоугольном зале дискотеки размером 20 на 7 метров находится N человек и в момент времени $t = 0$ внезапно происходит возгорание электроаппаратуры, стоящей в углу зала. В результате возникает паника, и все устремляются к выходу. Чтобы начать моделировать движение толпы, нам необходимо задать начальные условия – положение людей и скорости их движения в момент времени $t = 0$. Поэтому с помощью компьютера распределим людей по залу так, как это показано на рисунке 1, и для простоты положим, что в момент времени $t = 0$ все люди стояли практически неподвижно и ждали, когда наконец включат музыку, т.е. $v_i = 0$ для $1 \leq i \leq N$. Ну, а теперь начнем писать программу, которая могла бы отслеживать движение каждого человека в толпе.

Программа должна, учитывая расположение и скорости людей в момент времени t , для каждого i -го человека вычислить сумму сил, стоящую в правой части уравнения (1), а потом найти приращение $\overline{\Delta v_i}$, произошедшее за интервал времени $\overline{\Delta t}$. После этого программа вычисляет новые значения $\overline{v_i}$, соответству-

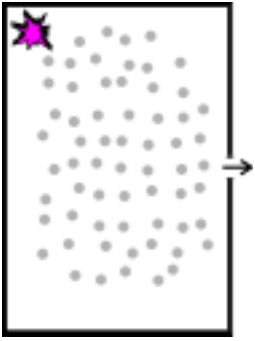


Рис.1. Распределение людей в прямоугольной комнате размером 20 × 7 м в начальный момент времени $t = 0$ ($v_0 = 0$). Люди обозначены серыми кружочками диаметром 0,6 м. Стрелкой показан выход через дверь шириной $b = 1,5$ м

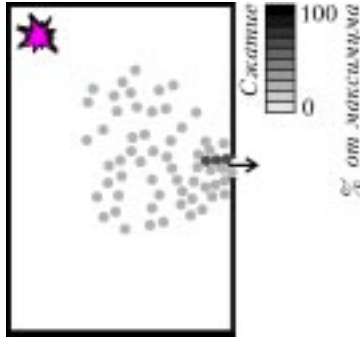


Рис.2. Полученное в результате моделирования распределение людей в комнате через 4 с после начала паники ($v_0 = 1,1$ м/с, $b = 1,5$ м). Плотность закрашивания соответствует величине суммарной силы сжатия, приложенной к каждому человеку со стороны окружающих людей и стены, в соответствии со шкалой, показанной здесь же

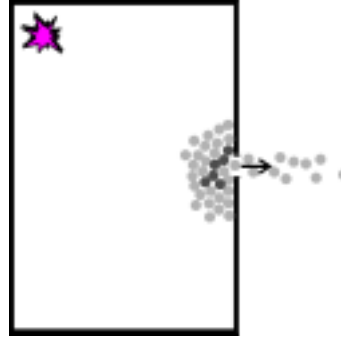


Рис.3. Распределение людей в комнате через 22 с после начала паники ($v_0 = 1,1$ м/с, $b = 1,5$ м), когда почти половина из них уже вышли из помещения. Как видно, перед дверью образовалась группа людей мешающих друг другу выйти (блок)

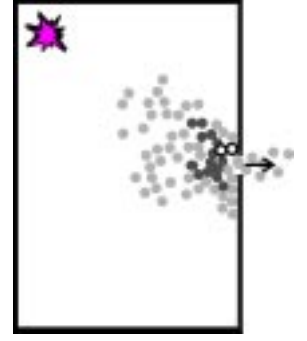


Рис.4. Распределение людей в комнате через 4 с после начала паники ($v_0 = 1,7$ м/с, $b = 1,7$ м). Появились первые жертвы (изображены черными бубликами), суммарная сила сжатия которых превысила допустимый максимум 3000 Н

ющие моменту $t + \Delta t$, и передвигает i -го человека в направлении вектора $\vec{v}_i + \Delta \vec{v}_i$ на расстояние, равное $|\vec{v}_i + \Delta \vec{v}_i| \Delta t$. И все повторяется снова.

Очевидно, что чем меньше будет значение Δt , тем точнее будут наши расчеты. Однако одновременно с увеличением точности расчетов растет время, необходимое компьютеру для решения задачи. Следует заметить, что с какого-то значения Δt , назовем его критическим, дальнейшее его уменьшение уже приводит к едва заметным изменениям. Поэтому Δt берут, например, в два раза меньше критического значения, значительно экономя, таким образом, время для вычислений. Исходя из этих соображений, было выбрано $\Delta t = 0,002$ с, что позволило потратить около 40 минут для моделирования движения толпы, состоящей из 60–70 человек, в течение одной минуты. Как оказалось, одной минуты вполне хватало этой «толпе», чтобы покинуть в панике помещение, правда оставив за собой нескольких «сдавленных» вертикальных цилиндров. Чтобы упростить вычисления, предполагалось, что абсолютное значение «желаемой» скорости v_{0i} у всех людей из толпы одинаково, и поэтому в дальнейшем оно обозначается как v_0 .

Посмотрим, что получилось

Как показывают результаты моделирования (рис. 2), проходит совсем короткий промежуток времени t_1 , всего несколько секунд, до того момента, когда первый человек выскакивает из помещения, и это время, конечно, уменьшается с ростом панических настроений (при увеличении v_0). Например, для начальных условий, изображенных на рисунке 1, время t_1 уменьшается с 7 до 4 с при увеличении v_0 с 0,7

до 1,7 м/с соответственно. Так что для людей, оказавшихся вблизи выхода, подтвердилось известное правило: «чем больше паникуешь, тем быстрее убежишь от неприятностей». Отметим, однако, что несколько человек, следующих за счастливицами, оказались сжатыми друг другом, что показано на рисунке 2 более интенсивным закрашиванием соответствующих кружочков.

На рисунке 3 изображено положение людей в толпе в момент времени $t_{1/2}$, когда уже половина людей вышли из помещения. Видно, что к этому времени у дверей образовалась почти симметричная толпа, и поэтому человек, оказавшийся в проеме двери, испытывает сжатие с разных сторон.

В таблице 1 приведена зависимость времени выхода первого человека (t_1 , лев. верх), половины всех людей ($t_{1/2}$, лев. низ), максимальной силы сжатия у дверей в процентах к допустимой (прав. верх) и количества жертв (прав. низ) от уровня паники (величины скорости v_0) и ширины дверей для начальных условий, изображенных на рисунке 1. Из таблицы следует, что рост скорости v_0 дает очень малый выигрыш для

Таблица 1

	Ширина двери $b = 1,1$ м		Ширина двери $b = 1,3$ м		Ширина двери $b = 1,5$ м		Ширина двери $b = 1,7$ м	
	t_1	%	t_1	%	t_1	%	t_1	%
Паника, $v_0 = 0,7$ м/с	7	46	7	46	6	44	6	39
	50	нет	40	нет	29	нет	24	нет
Паника $v_0 = 1,1$ м/с	5	75	5	86	4	79	4	78
	60	нет	32	нет	22	нет	18	нет
Паника, $v_0 = 1,5$ м/с	4	95	4	> 100	4	99	3	93
	блок	нет	33	1	19	нет	15	нет
Паника, $v_0 = 1,7$ м/с	4	> 100	4	> 100	4	>100	3	> 100
	блок	3	27	2	35	2	17	5

большинства людей в толпе, особенно для маленьких дверей. Так, для двери шириной 1,3 м увеличение v_0 с 1,1 до 1,5 м/с вообще не приводит к уменьшению $t_{1/2}$. Кроме того, как иллюстрируют таблица 1 и рисунок 4, при панике и недостаточной ширине двери давление, сжимающее людей в центре толпы, часто достигает критического значения, после чего очередной «сдавленный» человек становится дополнительным препятствием для толпы, затрудняя ее движение. Поэтому для каждой группы людей, находящейся в данном помещении, существует некое значение v_0 , зависящее от ширины выходных дверей помещения, превышать которое не рекомендуется, если мы хотим избежать человеческой давки.

Как нетрудно догадаться, относительно малый эффект влияния увеличения v_0 на $t_{1/2}$ объясняется тем, что люди, сжимая друг друга, увеличивают силы трения между собой (см. уравнение (7)). В результате относительная доля усилий, затраченных на движение в сторону двери, уменьшается, а вместе с этим уменьшается и выигрыш от увеличения v_0 . В этом и заключается основное отличие между движением вязкой (но несжимаемой) жидкости через место сужения и движением толпы через дверь. В первом случае скорость потока жидкости прямо пропорциональна приложенному давлению. Толпа же по своим механическим свойствам близка к сжимаемой жидкости (например, жидкой резине), у которой вязкость (трение между соседними движущимися слоями) растет с ростом давления, и поэтому увеличение прикладываемого давления приводит к непропорционально меньшему росту скорости потока.

Как видно из таблицы 1, с ростом паники и сужением двери растет количество «сдавленных» людей, большая часть которых находится вблизи дверей. Это и неудивительно. Ведь у двери, находящейся в центре стены, сталкиваются, по крайней мере, три потока людей, стремящихся к выходу, — два вдоль стен и один перпендикулярный проему двери. В итоге давление на каждого человека, достигшего дверей, увеличивается, и если оно достигает критического значения, то этот человек становится жертвой толпы.

На рисунке 5 показано, как изменяется максимальное давление (сжатие) в толпе по мере того как люди покидают помещение. Видно, что самых высоких значений давление достигает в первые секунды после возникновения паники, когда разогнавшиеся люди, расположенные близко к дверям, сталкиваются друг с другом. Потом, с уменьшением количества людей в толпе, давление постепенно падает, испытывая большие колебания, соответствующие образованию и разрушению «дуги» из людей, не желающих пропускать друг друга (см., например, рисунок 3). Поэтому росту сжатия соответствует временное прекращение выхода людей из помещения (интервалы между 11 и 12 с, а также между 14 и 16 с на рисунке 5).

Очевидно, чтобы уменьшить количество жертв, нуж-

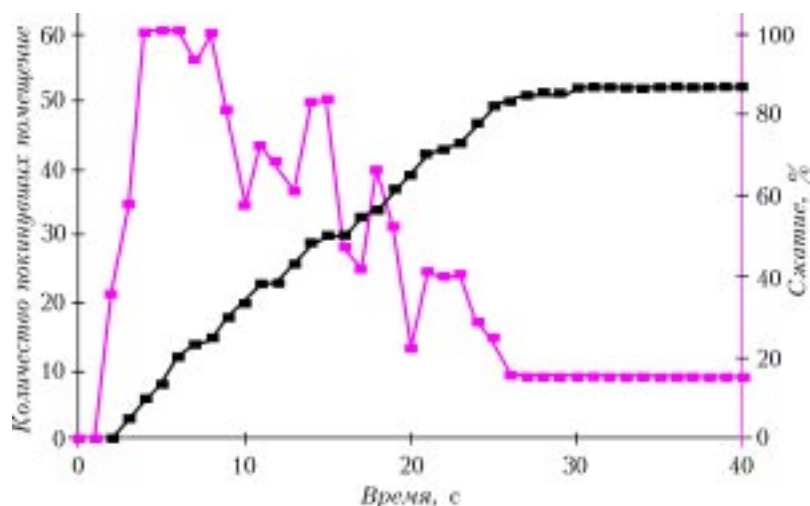


Рис.5. Зависимость количества людей, покинувших помещение (черная кривая), и максимальной величины сжатия в толпе (красная кривая) от времени, прошедшего после начала паники ($v_0 = 1,7$ м/с, $b = 1,7$ м, исходное число человек в комнате 63, пять из которых стали жертвами давки)

но уменьшить число пересекающихся потоков вблизи дверей, а еще лучше — исключить их пересечение вообще. Самое первое, что приходит в голову, это попросить всех стать в очередь. Конечно, в условиях паники это нереально, но помещение можно спроектировать так, чтобы даже паникующая толпа, подходя к дверям, вынуждена была выстраиваться в очередь.

Выстраиваем толпу в очередь

На рисунке 6 изображено помещение, выходя из которого, люди должны пройти через сужающийся коридор, в результате чего все они у дверей имеют один и тот же вектор «желаемой» скорости \bar{v}_0 . Иными словами, направляющий коридор, предшествующий дверям, препятствует возникновению встречных людских потоков у дверей. Поэтому разумно предположить, что при тех же начальных условиях толпа выйдет из помещения через сужающийся коридор быстрее и без жертв.

Результаты моделирования бегства толпы из такого помещения показаны на рисунках, которые иллюстрируют различные моменты движения: подход к направляющему коридору (рис.7), выстраивание в очередь и выход первого человека через дверь (рис.8), а также момент, когда половина людей покинули помещение (рис.9). Зависимость времени выхода первого человека (лев. верх), половины всех людей (лев. низ), максимальной силы сжатия у дверей в процентах к допустимой (прав. верх) и количества жертв (прав. низ) от уровня паники и ширины дверей для начальных условий, изображенных на рисунке 6, приведена в таблице 2 (построенной аналогично таблице 1).

Как и следовало ожидать, направляющий коридор значительно уменьшает давление людей друг на друга, делая его меньше критического, что исключает появление жертв давки в том же диапазоне изменения шири-

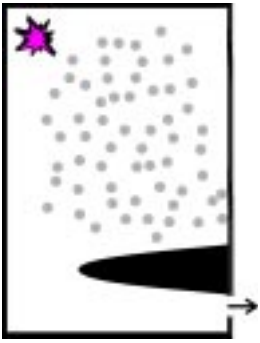


Рис.6. Помещение тех же размеров, что и на рисунке 1, но с направляющим коридором, предшествующим выходу. Исходное расположение людей то же, что и на рисунке 1, $v_0 = 0$

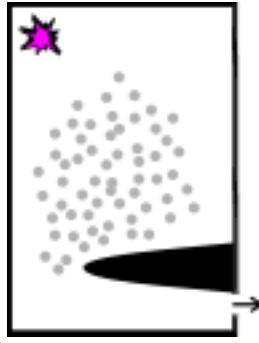


Рис.7. Распределение людей в комнате через 3 с после начала паники, когда первые люди достигли направляющего коридора ($v_0 = 1,7$ м/с, $b = 1,1$ м)

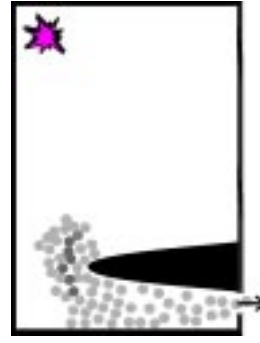


Рис.8. Распределение людей в комнате через 11 с после начала паники, когда первый человек покидает помещение ($v_0 = 1,7$ м/с, $b = 1,1$ м)

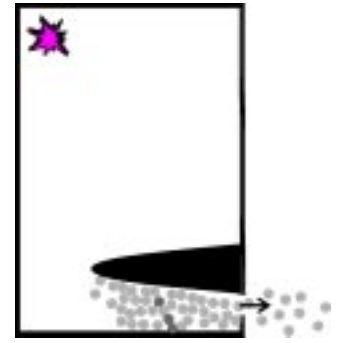


Рис.9. Распределение людей через 21 с после начала паники, когда почти половина людей покинули помещение ($v_0 = 1,7$ м/с, $b = 1,1$ м)

ны дверей и скорости v_0 . Кроме того, как иллюстрирует таблица 2, направляющий коридор делает зависимость времени $t_{1/2}$ от ширины двери еле заметной. Значит, действительно зависимость $t_{1/2}$ от ширины двери, имевшая место в том случае, когда дверь была

Продолжите сами, если вам интересно!

Моделируя движение толпы, мы рассмотрели всего два случая – дверь расположена в центре стены или имеется направляющий коридор. При этом всех людей мы сделали одинаковыми. А что будет, например, если в толпе есть дети, «диаметр» и масса которых, как известно, меньше, чем у взрослых? Как зависит количество жертв от разброса параметров людей? Кто страдает в первую очередь?

Мало того, что мы в своей модели сделали всех людей одинаковыми, мы лишили их разума, наделив только стремлением – вектором, направленным к двери. На самом деле, каждый человек даже в условиях паники оглядывается по сторонам и, если видит, что движение в направлении выхода затруднено, начинает искать обходные пути. Если ваша программа уже написана, попробуйте включить «оглядывание» в ее текст – полученные данные вас, по-видимому, удивят.

Мы не успели рассмотреть, как зависит давка от того, во что одеты люди. А ведь для этого достаточно только изменить коэффициент трения либо у всех сразу (давка под дождем), либо ввести разброс значений этого коэффициента. Кто окажется с большей вероятностью жертвой давки: человек в плаще из скользкой или из шершавой ткани? Как влияют трибологические (т.е. ответственные за трение) свойства покрытий внутренних стен помещений на количество жертв?

Заметим, что на все поставленные выше вопросы до сих пор нет достаточно вразумительных ответов.

Таблица 2

	Ширина двери $b = 1,1$ м		Ширина двери $b = 1,3$ м		Ширина двери $b = 1,5$ м		Ширина двери $b = 1,7$ м	
Паника, $v_0 = 0,7$ м/с	24	61	24	21	24	18	23	23
	45	нет	43	нет	42	нет	42	нет
Паника, $v_0 = 1,1$ м/с	16	58	16	48	16	58	16	32
	30	нет	28	нет	28	нет	27	нет
Паника, $v_0 = 1,5$ м/с	12	64	12	60	12	86	12	44
	23	нет	22	нет	22	нет	21	нет
Паника, $v_0 = 1,7$ м/с	11	68	11	77	11	94	11	60
	21	нет	20	нет	21	нет	18	нет

в середине стены (таблица 1), возникает из-за пересечения там нескольких потоков людей.

Интересно, что в тех случаях, когда ширина двери не позволяет через нее пройти сразу двоим (1,1 м), направляющий коридор практически устраняет зависимость сил сжатия и от уровня паники (v_0), которая присутствует при более широких дверях. Отсутствие роста сил сжатия при панике в этом случае тоже говорит о том, что траектории движения людей не пересекаются.

Направляющий коридор не только помогает исключить жертвы при выходе из помещений, но и значительно уменьшает длительность давки у дверей – интервал между тем как первый и последний человек покинули помещение. Таким образом, пропускающая способность двери растет не только с увеличением ее ширины, что естественно, но и в тех случаях, когда толпа вытягивается в очередь.