

*А.Н. Данилин, адъюнкт, НУГЗУ,
В.В. Комяк, к.т.н., научн. сотр., НУГЗУ,
А.В. Панкратов, д.т.н., с.н.с., ИПМаш НАНУ*

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ПОТОКЕ

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

Анализируются существующие подходы к моделированию потоков людей, предлагается подход к моделированию индивидуально-поточного движения, приводится пример компьютерного моделирования процесса эвакуации людей.

Ключевые слова: индивидуально-поточное движение, моделирование, аналитические условия пересечения людей в потоке.

Постановка проблемы. Рост технических возможностей строительства, устройств систем искусственной вентиляции и искусственного освещения, а также средств пассажирского и грузового вертикального транспорта способствовали значительному увеличению этажности зданий. К увеличению этажности приводит также увеличение стоимости единицы площади зданий в крупных городах. На территории Украины в настоящее время размещено 4987 зданий повышенной этажности и высотных. В рассматриваемых зданиях комплексно размещаются бизнес-центры, супермаркеты со складами разнообразной продукции, стоянки автомобилей, офисы, жилые помещения и т.д. В период эксплуатации зданий преобладающим фактором остается безопасность людей. Для этого формируются научно-обоснованные планы эвакуации людей по путям эвакуации, включающие лестницы, лифты, коридоры на этажах. Для оценки эффективности планов эвакуации должны быть разработаны пакеты программ, главной составляющей которых является программы моделирования людских потоков, адекватно отражающие реальные процессы движения людей. Поэтому актуальной проблемой является разработка моделей моделирования людских потоков, адекватных реальным условиям движения.

Анализ последних исследований и публикаций. Эмпирическая база натуральных наблюдений людских потоков в зданиях различного назначения, на которую ориентировались теоретические исследования [1, 2], получившая широкое признание за рубежом [3-5], хотя и была самой обширной в мире в 60-х годах, но составляла лишь четверть той, которая была накоплена к концу 70-х годов. Количественное разнообразие результатов проведенных серий натуральных наблюдений поставило проблему теоретического обоснования наблюдаемых зависимостей между параметрами людских потоков. Появился графо-аналитический метод рас-

чета людских потоков [1, 2], хотя он трудоемок для проектной практики и недостаточно полно отражает словесное описание процесса движения людей. Появилась работа [6], в которой получены:

- описание людского потока, как случайного процесса;
- общий вид скорости людского потока в виде случайной функции; построена с использованием математического ожидания элементарная случайная функция

$$\overset{-\text{Э}}{V}_{D_j} = \overset{-\text{Э}}{V}_{D_0} \left(1 - \alpha_j \ln \frac{D_j}{D_{0j}}\right), \quad (1)$$

где $\overset{-\text{Э}}{V}_{D_j}$ – случайная величина скорости свободного движения в потоке при его плотности D_0 ; $\overset{-\text{Э}}{\Delta V}_{D_j}$ – математическое ожидание скорости движения, соответствующая уровню эмоционального состояния Э, при плотности потока D_j ; α_j – эмпирический коэффициент, отражающий психофизическую адаптацию людей к движению в составе потока по j – тому виду пути [7];

- математическая модель свободного движения людского потока (SDLP), основанная на соотношениях теории вероятностей;
- стохастическая имитационная модель анализа движения людских потоков (ADLPV) и ее детерминированный вариант (ADLP).

Были получены расчетные зависимости между параметрами людских потоков, которые являлись частными реализациями случайной функции (1). Значения скорости свободного движения $\overset{-\text{Э}}{V}_{D_j}$ в них выбраны таким образом, что эти зависимости аппроксимируют максимальные значения расчетного времени эвакуации, которое получено в результате моделирования по программе ADLPV движения людских потоков по выявленным общим для зданий различного назначения расчетным схемам путей эвакуации. Это достаточно широко известно [6-12].

Возникла проблема математического описания зависимостей между параметрами людских потоков и описания изменений состояний потока (его перемещений) в пространстве. Трудности моделирования людских потоков и незнание их закономерностей привело к попыткам подмены процессов движения реальных людских потоков моделями процессов иной физической природы. Так, например, моделируют параметры людских потоков, используя вместо них поток заявок или гидроаналогию [13, 14]. Следует заметить, что движение людских потоков имеет свои закономерные особенности: переформирование и растекания частей потока, их слияние и переход на смежные участки пути. Например, при переходе на участок меньшего сечения скорость движения людского потока снижает-

ся. Скорость же водного потока в таких случаях увеличивается. Поэтому ясно, что водный поток не может быть физической моделью людского потока, соответственно его математическое описание неправомерно распространять на людской поток. Возможны и другие аналогии и соответствующие им компьютерные программы. Западный рынок программных продуктов дает большое количество таких примеров [15]. Такие подходы не являются новостью для методологии моделирования и давно получили свою оценку в научной литературе: “Одних интересует структура и закономерности явления, приводящие к наблюдаемому результату, других – только сами результаты. Первые, моделируя, пытаются воспроизвести структуру и закономерности явления, вторые – только результаты, не вдаваясь в реальные механизмы их появления” [16].

В настоящее время в России наиболее распространенными являются программный продукт “Флоутек ВД” [17] для упрощенной аналитической и имитационно-стохастической моделей и “Эватек” для индивидуально-поточной модели движения людских потоков. Существует еще индивидуально-поточная модель, представленная ВНИИПО МЧС России. Результаты сравнения моделей “Флоутек ВД”, ADLPV-2 с индивидуально-поточной (официально нормированная) говорят о том, что индивидуально-поточная модель дает числовые значения параметров процесса эвакуации, которые неадекватны требуемым при вероятности эвакуации, равной 0,999 (показано на зависимостях плотности потока от времени прохождения).

Анализ аналогичных зарубежных моделей, имеющих многочисленные оперативные возможности и методы видеопредставления [18, 20-24)], показывают, что они используют некорректные зависимости между параметрами людских потоков.

Результаты этого анализа показывают отсутствие модели индивидуально-поточного движения людей, адекватной реальному потоку. Интерес к модели мотивируется необходимостью пристального внимания к движению людей с ограниченными мобильными возможностями в потоке смешанного состава в достаточно обширной номенклатуре общественных зданий разных классов функциональной пожарной опасности.

Постановка задачи и ее решение. Целью статьи является разработка подхода к моделированию индивидуально-поточного движения людей в потоке.

Представим путь перемещения людей в виде области S_0 . Область S_0 разделяется на зоны, пронумерованные соответственно $1, 2, \dots, m$ (для данного примера $m = 6$), ограниченные разделителями a_1, a_2, \dots, a_{m+1} (рис. 1).

Каждая зона характеризуется одинаковым законом формирования основного направления направлением движения и видом движения попавших в неё людей. Рассматриваются два вида движения – по прямой (зоны 1-3, 5) и по окружности (зона 4).

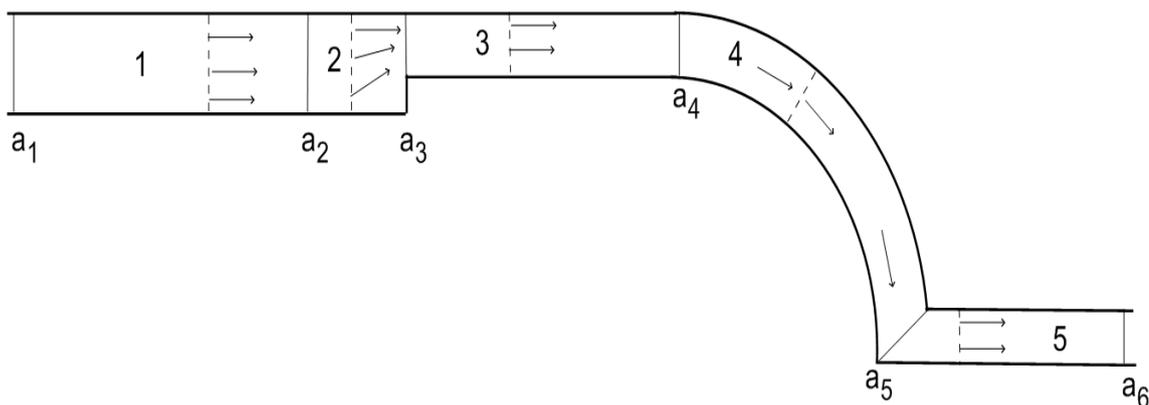


Рис. 1. Представление пути эвакуации

Для определения основного направления движения в i -зоне разделитель a_i транслируется для зон с прямолинейным видом движения или же перемещается с вращением для зон с круговым видом движения таким образом, чтобы ему принадлежала анализируемая точка. В случае, если коридор в зоне равномерно изменяет свою ширину, то соответствующим образом меняется длина отрезка-разделителя. После перемещения основное направление движения из точки для зоны с прямолинейным движением задается вектором, соединяющим подобные точки разделителей a_k и a_{k+1} (с учетом коэффициента гомотетии). Определение основного направления движения для этого случая наглядно проиллюстрировано на рисунке для второй зоны. Для определения основного направления движения в зоне с круговым движением используется соединение подобных точек разделителей дугами окружностей.

Для каждого из эвакуируемых, представим их в виде геометрических объектов (например, эллипсов) $S_i, i = 1, 2, \dots, n$, на каждом шаге определяется основное направление \vec{l}_i и вид движения, после чего (возможно) вносятся небольшие индивидуальные изменения характеристик (скорости V_i , изменения направления $\Delta\theta_i$, ускорения и т.п.). Угол поворота эллипса θ_i определяется углом перпендикуляра к вектору основного направления движения.

Возникает следующая задача. Необходимо минимизировать время прохождения людьми (объектами $S_i, i = 1, 2, \dots, n$) пути (области S_0) при соблюдении ограничений на направление их движения и скорость, а также условия их непересечения и принадлежности пути движения.

Таким образом, для предлагаемого подхода существенным представляется построение в аналитическом виде условий непересечения объектов между собой, а также условий их принадлежности области.

Пусть задано два объекта S_i и S_j и пусть объекты перемещаются в области S_0 с одинаковыми скоростями V_i и V_j в одинаковых направ-

лениях \vec{l}_i и \vec{l}_j ($\theta_i = \theta_j$) (случай 1). В начальный момент $t_0 = 0$ объекты занимают положение $(x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$ и $(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0)$. Пусть минимальное расстояние между ними равно ρ_{ji} . Построим $\Phi_{ji}^0(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0, x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$ – функцию объектов, в предположении, что объект S_j неподвижен и находится в точке $(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0)$ [25]. Через время $t_k = t_0 + k\Delta t, k = 0, 1, 2, \dots$ объекты пройдут одинаковые расстояния $\rho_k = V_1 \cdot t_k$ и займут новые положения $(x_i^k, y_i^k, \theta_i^k)$ и $(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k)$, однако расстояние между ними сохранится, равное ρ_{ji} . Построим $\Phi_{ji}^k(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k, x_i^k, y_i^k, \theta_i^k)$ – функцию объектов S_j и S_i уровня ρ_{ji} , в предположении, что объект S_j неподвижен и находится в точке $(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k)$. $\Phi_{ji}^k(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k, x_i^k, y_i^k, \theta_i^k)$ – это $\Phi_{ji}^0(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0, x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$, смещенная на расстояние ρ_k в направлении \vec{l}_j . Пусть ось z – это время. Изобразим построенные Φ – функции в системе координат $\{O; xyz\}$. Пусть построенные Φ – функции –я это сечения некоторого тела, образующие которого являются касательными к полученным сечениям. Полученное тело – наклонный усеченный (эллиптический) цилиндр E_{ji} .

Пусть объекты S_i и S_j перемещаются с разными скоростями V_i и V_j в одинаковых направлениях \vec{l}_i и \vec{l}_j ($\theta_i = \theta_j$) (случай 2).

Рассмотрим случай, когда $V_i > V_j$. В начальный момент $t_0 = 0$ объекты занимают положение $(x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$ и $(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0)$ и пусть $x_j^0 > x_i^0$. Пусть минимальное расстояние между ними равно ρ_{ji} . Построим $\Phi_{ji}^0(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0, x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$ – функцию объектов S_j и S_i уровня ρ_{ji} , в предположении, что объект S_j неподвижен и находится в точке $(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0)$. Через время $t_1 = t_0 + k\Delta t, k = 1$ объекты пройдут соответственно расстояния $\rho_i = V_i \cdot t_1$ и $\rho_j = V_j \cdot t_1$, займут новые положения $(x_i^1, y_i^1, \theta_i^1)$ и $(x_j^1, y_j^1, \theta_j^1)$, минимальное расстояние между ними сократится и станет равным ρ_{ji}^1 . Построим $\Phi_{ji}^1(x_j^1, y_j^1, \theta_j^1, x_i^1, y_i^1, \theta_i^1)$ – функцию объектов S_j и S_i уровня ρ_{ji}^1 , в предположении, что объект S_j неподвижен и находится в точке $(x_j^1, y_j^1, \theta_j^1)$. Наступит момент t_k , когда расстояние объектами будет минимальным (равным нулю в случае касания объектов). Тогда $\Phi_{ji}^k(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k, x_i^k, y_i^k, \theta_i^k)$ – это Φ -функция объектов S_j и S_i уровня $\rho_{ji}^{\min}(0)$. Изобразим построенные Φ – функции в системе координат

$\{O;xyz\}$ (ось аппликат – время), тогда при движении объектов образуется сужающийся усеченный эллиптический конус E_{ji} .

Рассмотрим случай, когда $V_i < V_j$. (случай 3). В начальный момент $t_0 = 0$ объекты занимают положение $(x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$ и $(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0)$ и пусть $x_j^0 > x_i^0$. Пусть минимальное расстояние между ними равно ρ_{ji} . Построим $\Phi_{ji}^0(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0, x_i^0, y_i^0, \theta_i^0)$ – функцию объектов S_j и S_i уровня ρ_{ji} , в предположении, что объект S_j неподвижен и находится в точке $(x_j^0, y_j^0, \theta_j^0)$. Через время $t = t_k$ объекты пройдут соответственно расстояния ρ_i и ρ_j , займут новые положения $(x_i^k, y_i^k, \theta_i^k)$ и $(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k)$, расстояние между ними увеличится и станет равным ρ_{ji}^k . Построим $\Phi_{ji}^k(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k, x_i^k, y_i^k, \theta_i^k)$ – функцию объектов S_j и S_i уровня ρ_{ji}^k , в предположении, что объект S_j неподвижен и находится в точке $(x_j^k, y_j^k, \theta_j^k)$. Как и в предыдущих случаях, изобразим тело E_{ji} в системе координат $\{O;xyz\}$, где ось z – это время. В результате получим тело – расширяющийся усеченный (эллиптический) конус E_{ji} .

Если объекты S_i и S_j перемещаются с разными скоростями V_i и V_j (в частном случае, с одинаковыми) в разных направлениях \vec{l}_i и \vec{l}_j ($\theta_i \neq \theta_j$) ($\frac{\pi}{2} < \angle(\vec{l}_i; \vec{l}_j) < \frac{\pi}{2}$), то в результате вышеизложенных рассуждений, в системе координат $\{O;xyz\}$ получим усеченный (эллиптический) конус E_{ji} (случай 2 или 3).

Рассмотрим моделирование перемещения объектов $S_i, i = 1, 2, \dots, n$ в области S_0 , движущихся со скоростями $V_i, i = 1, 2, \dots, n$, при выполнении условий их непересечения и условий размещения в области.

Определим возможное время перемещения первого объекта при выполнении перечисленных выше ограничений (условий непересечения с другими объектами), т.е. положим $i = 1$. Для выполнения этого пункта соориентируем объекты $S_i, i = 1, 2, \dots, n$, как сказано выше, положим $t_{11} = t_0 + \Delta t$ и построим тела $E_{ji}, j = i + 1, \dots, n$. Отметим, что только сужающиеся тела E_{ji} , дают возможность для нахождения объектов S_i и S_j , находящихся на минимальном расстоянии между ними ρ_{ji}^{\min} (в частном случае, $\rho_{ji}^{\min} = 0$) в момент время $t = t_k$. Из условия

$$\text{Fr}E_{ji} \cap \text{Fr}E_{(j+1)i} \neq \emptyset, j = i + 1, \dots, n - 1 \quad (2)$$

необходимо найти множество точек $\{(x_1, y_1, z_1, \theta_1)\}_{l=1,2,\dots} \mid \forall l, u_l = (x_1, y_1, z_1, \theta_1) \notin \text{int } E_{ji}, j = i + 1, \dots, n$, ($FrE_{ji}, \text{int } E_{ji}$ – соответственно граница и внутренние точки тела E_{ji}). Для множества непересекающихся тел $\{E_{ji}\}_j$ из их верхних оснований $(\hat{\Phi}_{ji}(x_j, y_j, \theta_j, x_i, y_i, \theta_i) = \rho_{ji}^{\min}(0))$, где $\hat{\Phi}_{ji}(x_j, y_j, \theta_j, x_i, y_i, \theta_i)$ – нормализованная Φ -функция [25]) необходимо определить точки

$$\{(x_1, y_1, z_1, \theta_1)\} = \min_{x_{ji}} \{x_{ji}, y_{ji}, z_{ji}, \theta_{ji}\} \mid (x_1, y_1) \in [a_{1l}, a_{1l+1}] \quad (3)$$

и дополнить множество $\{(x_1, y_1, z_1, \theta_1)\}$. Из полученного множества точек $\{(x_l, y_l, z_l, \theta_l)\}_{l=1,2}$ выбирается точка $(x_i, y_i, z_i, \theta_i) = \min_{z_1} \{(x_1, y_1, z_1, \theta_1)\} \mid S_i \in S_0$. Заметим, что условие $S_i \in S_0$ реализуется с помощью аппарата Φ -функций, т.е. условием $\Phi_{0i}(x_0, y_0, \theta_0, x_i, y_i, \theta_i) \geq 0$, где $\Phi_{0i}(x_0, y_0, \theta_0, x_i, y_i, \theta_i)$ – Φ -функция объектов S_i и $R^2 \setminus S_0$, а $t_i = z_i$.

Если условия (2-3) не выполняется, то время возможного перемещения определяется из интервала для времени $(t_0, t_{1l}), t_{1l} = t_0 + 1l\Delta t, 1l = 2$, что соответствует увеличению длины зоны $[a_{1l}, a_{1l+1}]$ на рис. 1 и т.д.

Определим время возможного перемещения для следующего объекта, положив $i := i + 1$ и т.д. Среди значений $t_i, i = 1, 2, \dots, n$ выбирается минимальное, т.е. $t = \min\{t_i\}_i$ – это допустимое время перемещений для всех объектов $S_i, i = 1, 2, \dots, n$ при соблюдении условий непересечения объектов, $S_i, i = 1, 2, \dots, n$ между собой и условия размещения объектов в области S_0 . Переместили объекты $S_i, i = 1, 2, \dots, n$ на расстояния $l_i = V_i \cdot t$ в заданном в условии задачи направлении и т.д.

Изложенный выше подход моделирования – это один шаг перемещения объектов при соблюдении ограничений задачи. Данный подход необходимо применять циклически в зависимости от условий прикладной задачи.

В качестве примера решена задача моделирования движения людей по коридору, изображенному на рис. 2. В начальный момент времени производится случайное размещение эвакуируемых (эллипсов) в коридоре и за дверьми в прилегающих помещениях, выходы из которых – прерывание сплошной, изображающей границу коридора; прямоугольники – области запрета для движения. Индивидуальные характеристики генерируются, используя нормальный закон распределения. Процесс эвакуации представлен на шести фрагментах на рис. 2.

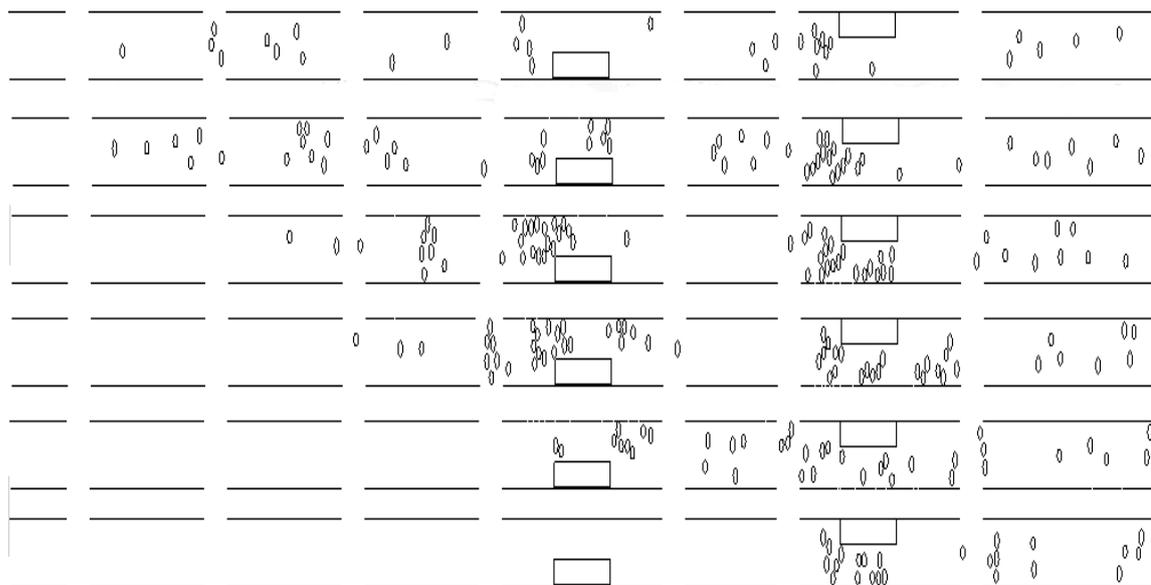


Рис. 2. Компьютерное моделирование процесса эвакуации

Выводы. Изложенный подход дает возможность моделировать движение людей с ограниченными мобильными возможностями в потоке смешанного состава в обширной номенклатуре общественных зданий разных классов функциональной пожарной опасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предтеченский В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков / В.М. Предтеченский, А.И.Милинский. - М.,Стройиздат, 1969.
2. Предтеченский В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.
3. Predtechenskii V.M. Personenstrome in Gebauden / V.M. Predtechenskii, A.I. Milinskii. – Berechnungsmethoden fur die Projektierung Koln Braunsfeld, 1971.
4. Predtechenskii V.M. Evakuace osobs bodov / V.M. Predtechenskii, A.I. Milinskii. – Ceskoslovensky Svaz pozami ochrany. – Praha, 1972.
5. Predtechenskii V.M. Planning for the foot traffic flow in buildings / V.M. Predtechenskii, A.I. Milinskii. – New Delhi, 1978.
6. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов / В.В. Холщевников: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.10. – М., 1983. – 36 с.
7. Холщевников В.В. Закономерность связи между параметрами людских потоков: диплом №24-5 на открытие в области социальной психологии. – М.: Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ас-

социация авторов научных открытий, 2005.

8. Холщевников В.В. Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре / В.В. Холщевников. – М.: МИПБ МВД РФ, 1999.

9. Холщевников В.В. Теория людских потоков / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность, 2001. – №6. – С.

10. Cholscevnikov V.V. Die Gesetzmäßigkeit der Bewegung von Personen – stromen and die Gestaltung raumlich-funktioneller Lösungen für Gebäude and Anlagen // Wissenschaftliche Zeitschrift. Jahrgang 3.1979. – Heft 6. – Technische Hochschule Leipzig.

11. Holschevnikov V.V., Predtetchenski M.V. Analyses and Modeling the relationships between pedestrian flow parameters. – CIB W 14/81/37, 1986.

12. Kholchevnicov Valery V. Foot Traffic flow: actual observations, experiments and theory / Fire Bridge: University of Ulster. – 4/15 September, 2000.

13. Таранцев А.А. Моделирование параметров людских потоков при эвакуации с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность. – 2002, – Т.23. – №6. – С. 46-55.

14. Таранцев А.А. Об одной задаче моделирования эвакуации с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность. – 2002, – Т.23. – №3. – С. 46-55.

15. Холщевников В.В., Самошин Д.А., Галушка Н.Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – Т.11. – №5. – С. 40-49.

16. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978.

17. Karkin I.N., Parfenenko A.P. Floiwtech VD – computer-simulation method from evacuation calculation // International Scientific and Technical Conference Emergency Evacuation of People from Buildings. – Warsaw, 2011. – P.111-118.

18. В.В.Холщевников. Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов / Холщевников В.В., Парфененко А.П. // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – №5. – С.68-74.

19. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей на пожарах: учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009.

20. Kubawara H., Doi H., Ishimi A. A fire-escape simulation method by describing actions of evacuation as probabilistic phenomena // CIB Symposium “Systems Approach to Fire Safety in Building”, Tzukuba (Japan). – 1979. –Vol.1. –P.105–122; Muta K., Sato H., Ouchi T., Hara V. Study on total Safety System / CIB Symposium “Systems Approach to Fire

Safety in Building”, Tzukuba (Japan). – 1979. – Vol. 1. – P.79-92.

21. Thompson P.A., Marchant E.W. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. – 1994. – Vol.24. Issue 2. –P.131–148. Doi:10.1016/0379-7112(95)00019-p.

22. Pathfinder: Technical reference. Thunderhead Engineering Consultants Inc., 2009. URL : <http://www.thun-derheadeng.com/pathfinder> (дата обращения 10.03.2015).

23. Mott MacDonald: Evacuation modeling URL: <http://www.mottmac.com> (дата обращения 10.03.2015).

24. Owen M., Galea E.R., Lawrence P.J. The Exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios // Journal of Fire Protection Engineering. – 1996. – Vol. 8. Issue 2. – P.65-84. doi: 10.1177/104239159600800202.

25. Стоян Ю.Г. Полный класс Ф-функций для базовых объектов / Ю.Г. Стоян, Т.Е. Романова, Н.И. Чернов, А.В. Панкратов // Доп. НАН України. – 2010. – № 12. – С. 25-30.

О.М. Данілін, В.В. Комяк, О.В. Панкратов

Підхід до моделювання індивідуально-поточного руху людей в потоці

Аналізуються існуючі підходи до моделювання потоків людей, пропонується підхід до моделювання індивідуально-поточного руху, наводиться приклад комп'ютерного моделювання процесу евакуації людей.

Ключові слова: індивідуально-поточний рух, моделювання, аналітичні умови неперетинання людей в потоці.

A.N. Danilin, V.M. Komyak, A.V. Pankratov

Approach to modeling of individual movement flow of people in the stream

Analyzes the existing approaches to modeling flows of people, the approach to modeling individualno-in-line movement, is an example of computer simulation process of evacuation.

Keywords: individualno-in-line movement is simulation, modeling, analytical conditions no intersection people in the stream.