

УДК 515.2:519.85

## **УЧЕТ ПСИХОФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ИНДИВИДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ**

Комяк В.М., д.т.н.,

Комяк В.В., к.т.н.,

Данилин А.Н.

*Национальный университет гражданской обороны Украины*

*(г. Харьков, Украина)*

***В работе рассматриваются подход к учету психофизических закономерностей в алгоритме индивидуально-поточного движения людей.***

***Ключевые слова: индивидуально-поточное движение людей, локальная оптимизация, психофизические закономерности.***

***Постановка проблемы.*** При моделировании движения по сети коридоров людей с ограниченными физическими возможностями в потоке смешанного состава и в зданиях со сложной инфраструктурой используется индивидуально-поточная модель. В ней учитывается маневренность, комфортность, различие в параметрах, описывающих размеры индивидов и т.д. На характер движения потока влияет также такой возмущающий параметр, как психика людей, составляющих поток. В связи с этим работа, которая посвящена моделированию движения потока людей с учетом вышеперечисленных факторов, является актуальной.

***Анализ последних достижений и публикаций.*** В работе [1] сформулирована математическая модель индивидуально-поточного движения людей, движение которых представляется движением набора эллипсов. Рассматриваемая задача сведена к задаче плотной упаковки эллипсов с разной плотностью. Разная плотность возникает в связи с учетом разных минимально допустимых расстояний между эллипсами. Соблюдение минимально допустимых расстояний вызвано учетом ряда ограничений, среди которых можно выделить движение людей с разной скоростью, учетом их комфортности и т. д.

В работе [2] исследована зависимость скорости движения людского потока от его плотности и показано, что в основе проявления влияния плотности на скорость лежат психофизические закономерности между физическими характеристиками различного характера стимулов, порождаемых плотностью людского потока, и интенсивностью ощущений, реакцией на которые и является

изменение скорости движения людей.

В [2] предложен способ получения зависимости математического ожидания скорости свободного движения людей в потоке от уровня эмоционального состояния  $\bar{V}_0^{\mathcal{E}} = f(\mathcal{E})$ , использующий методы математической статистики.

Поскольку скорость свободного движения людей в потоке является случайной величиной, то и ее зависимости от уровня эмоционального состояния (возбуждения) людей в потоке целесообразно искать в форме случайной функции [2]. В этой же работе предлагается следующий подход.

При моделировании эмоциональных состояний анализируется изменения активности отделов центральной нервной системы в соответствии с увеличением отрицательного эмоционального состояния  $\mathcal{E}$ , которое измеряется в относительных единицах от 0 до 1. Выделяются три характерные стадии развития отрицательного эмоционального состояния.

Первая стадия ( $0 < \mathcal{E} < 0,3$ ) связана с получением слабых сигналов о возможной опасности и происходит "...настройка организма, подготовка его к встрече с ожидаемой опасностью".

Второй стадии ( $0,3 < \mathcal{E} < 0,7$ ) соответствует "...состояние повышенной активности организма, сопровождающее целесообразное поведение, направленное на устранение опасности...". Развивается повышенная активность "двигательной" сферы организма, так как к данному моменту угроза становится очевидной и человек начинает активно вмешиваться в среду, чтобы устранить отрицательные раздражители ... движения становятся чрезмерными по всем динамическим признакам (скорость, ускорение, усилия).

Когда выход не найден, наступает третья стадия ( $0,7 < \mathcal{E} < 1$ ). Возникает чувство бессилия справиться с ситуацией, и, как следствие, – оцепенение, которое "... характеризуется резким спадом активности и переходом в зону запредельного торможения".

Получены зависимости [2] между максимальными значениями скоростей отдельных людей и соответствующими им вероятностями  $P(V_n)$ , а также получены зависимости для математических ожиданий скоростей свободного движения людей в потоке от уровня эмоционального состояния  $\bar{V}_0^{\mathcal{E}} = f(\mathcal{E})$ .

**Формулирование целей статьи.** Разработка алгоритма индивидуально-поточного движения людей с учетом психофизических закономерностей движения.

**Основная часть.** Пусть на  $k$ -ой итерации в области эвакуации  $\Omega_m$  находится  $N_k$  человек (эллипсов) с параметрами размещения

$u_{ki} = (x_{ki}, y_{ki}, \theta_{ki})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_k$ , где  $(x_{ki}, y_{ki})$  – координаты размещения начала локальной системы координат, связанной с  $i$ -тым эллипсом  $E_i$  с размерами полуосей  $(a_i, b_i)$ , а  $\theta_{ki}$  – угол его поворота. Для каждой точки с координатами  $(x_{ki}, y_{ki})$  определяется вектор скорости  $\bar{V}_{0,ki}^{\ominus} = (x_{ki,x}, y_{ki,y})$  и маневренности. Для каждого из эллипсов, попавших в область  $\Omega_m$ , на каждом шаге (с заданным временным интервалом, например, 1 сек.) определяется основное направление, после чего (возможно) вносятся небольшие индивидуальные изменения характеристик (скорости, направления, ускорения и т.п.). Угол поворота эллипса  $\theta_{ki}$  определяется между перпендикуляром к большой полуоси и вектором основного направления движения.

Тогда задача состоит в поиске максимума совместного перемещения (пройденного всеми индивидуумами суммарного расстояния) при ограничениях на угол поворота эллипсов, выбираемый в рамках маневренности, на непересечение эллипсов между собой и принадлежность их области с учетом минимально-допустимых расстояний, выбираемых из условий комфортности, а также с учетом психофизических закономерностей движения.

Предложен способ, в основе которого лежит последовательно-одиночное перемещение эллипсов (минимизация по группам переменных), этапы которого представлены в виде следующего алгоритма:

1. В зависимости от уровня эмоционального состояния людей  $\ominus$  в потоке выбирается математическое ожидание скорости свободного движения  $\bar{V}_0^{\ominus} = f(\ominus)$  по формуле [3]:

$$\bar{V}_0^{\ominus} = 49,25 - 9,27 \ln[-\lg P(V_n)] \cdot$$

Установлена зависимость между вероятностью  $P(V_n)$  и уровнем эмоционального состояния  $\ominus$ :

$$\lg P(V_n) = \lg(0,1 + 1,284\ominus).$$

2. Область эвакуации задается в виде дерева (графа). Ребра - сегменты коридоров, вершины – перекрестки и точки "склейки" сегментов. Сегмент может иметь переменную ширину (линейно). Для каждой точки сегмента рассчитывается расстояние до выхода и направление основного движения.

3. На область эвакуации накладывается сетка с достаточно мелким шагом для определения плотности потока.

4. Эллипсы сортируются по возрастанию расстояния до выхода.

5. В порядке сортировки, для каждого из эллипсов по координатам положения центра и углу поворота определяются локальная плотность потока и основное направление движения.

6. В зависимости от локальной плотности потока, используя логарифмические соотношения Вебера-Фехнера [2], определяется скорость перемещения людей:

$$\bar{V}_{Dj}^{\mathcal{E}} = \bar{V}_{0j}^{\mathcal{E}} - \Delta \bar{V}_{Dj}^{\mathcal{E}} = \bar{V}_{0j}^{\mathcal{E}} (1 - \bar{R}_{Dj}) = \bar{V}_{0j}^{\mathcal{E}} (1 - \alpha_j \ln \frac{D_j}{D_{0j}}), \quad (1)$$

где  $\bar{V}_{0j}^{\mathcal{E}}$  – средняя скорость движения, соответствующая уровню эмоционального состояния  $\mathcal{E}$ ,  $\Delta \bar{V}_{Dj}^{\mathcal{E}}$  – падение (изменение) скорости движения, вызванное увеличением плотности людского потока,

$\bar{R}_{Dj} = \frac{\Delta \bar{V}_{Dj}^{\mathcal{E}}}{\bar{V}_{0j}^{\mathcal{E}}} = \alpha_j \ln \frac{D_j}{D_{0j}}$  – функция, которая не зависит от уровня

эмоционального состояния, а отображает общую тенденцию влияния плотности потока на скорость и которая описывается соотношениями Вебера-Фехнера,  $D_j$  – значение локальной плотности людского потока, при котором определяется  $R_D$ ,  $D_{0j}$  – пороговое значение плотности потока, по достижению которого она начинает ощущаться как воздействующий фактор по  $j$  – тому пути,  $\alpha_j$  – эмпирический коэффициент, отображающий интенсивность воздействия плотности при движении по  $j$  – тому пути.

Значения искомых величин зависимостей (1) даны в таблице 1.

Таблица 1

Значение  $\alpha_j$  и  $D_0$  для различных видов (горизонтального) пути

Вид пути	$\alpha_j$	$D_0$ , чел./м <sup>2</sup>
Горизонтальный в здании	0,295	0,51
...	...	...

7. Для выбранного основного направления движения в пределах угла маневренности перебирается дискретно определенное число направлений и среди них отыскивается направление, по которому за секунду удастся осуществить максимальное перемещение без нарушений границ сегментов и без пересечений с другими эллипсами.

8. Полученные значения скорости и расстояния корректируются соответственно с учетом скоростей каждой категории индивидов и с учетом величины комфортности (учитываются силы “отталкивания” заданием расстояния между эллипсами).

**Выводы.** Таким образом, показана возможность учета психофизических закономерностей движения в потоке людей.

### Литература

1. Komyak Va. A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems / Va. Komyak, Vl. Komyak, A.Danilin // Eastern-European

Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. – 2017. – 1/4(85). – С.17–23.

2. Холщевников В.В. Обеспечение безопасной эвакуации людей с учетом стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара в высотных зданиях / В.В. Холщевников, И.С. Кудрин // Пожаровзрывобезопасность. – 2013.– № 4. – С.38–51.
3. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ...д-ра техн. наук: 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич. – М.,1983.

### **ВРАХУВАННЯ ПСИХОФІЗИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО РУХУ ЛЮДЕЙ**

Комяк В.М., Комяк В.В., Данілін О.М.

*В роботі розглядається підхід до врахування психофізичних закономірностей в алгоритмі індивідуально-поточного руху людей*

*Ключові слова: індивідуально-поточний рух людей, локальна оптимізація, психофізичні закономірності.*

### **ACCOUNTING OF PSYCHOPHYSICAL REGULATIONS FOR MODELING OF INDIVIDUAL-AND-FLOW MOVEMENT OF PEOPLE**

Komyak V., Komyak V., Danilin A.

*The paper considers the approach to accounting for psychophysical regularities in the algorithm of individual-and-flow movement of people*

*Keywords: individual-and-flow movement of people, local optimization, psychophysical patterns.*