

УДК 515.2:519.85

ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОГО ПОТОКОВОГО РУХУ ЛЮДЕЙ

Кязімов К.Т., к.т.н.*

*Академія Міністерства по надзвичайним ситуаціям Азербайджана
(м. Баку, Азербайджан)*

Надзвичайні ситуації становлять особливий ризик для висотних будівель через особливості їх індивідуального проектування, будівництва, зведення та подальшої евакуації. У разі виникнення та розвитку надзвичайних ситуацій у будівлях виникає проблема оптимізації виконання рятувальних робіт, переважачою та найважливішою частиною якої є забезпечення безпеки людей.

Можливі форми захисту населення включають організацію керованої евакуації людей з надзвичайних ситуацій, зокрема із будівель на необхідний час, розраховану на основі їх проектно-планувальних рішень. З цією метою розробляються науково обгрунтовані плани евакуації людей, головним компонентом яких є програми моделювання людського потоку, які адекватно відображають реальні процеси руху людини. Тому актуальним завданням є розробка моделей моделювання людських потоків.

При переміщенні людей в потоці виділяють такі категорії руху: комфортні, спокійні, активні, підвищеної активності. Коли категорія руху людей стає активною з можливою силовою дією, щільність потоку збільшується. Зміни щільності впливають на характер руху людей у потоці, змінюючи його від вільного, при якому людина може вибрати швидкість і напрямок свого руху, до стисненого руху, при якому людина відчуває зростаючу силу людей навколо нього.

В даній роботі пропонується при моделюванні руху враховувати природну деформацію тіла людини шляхом повороту частин його тіла (наприклад, плеча). Для цього пропонується представляти проекцію тіла людини набором трьох еліпсів: основного з можливістю його повороту в рамках маневреності відносно основного напрямку руху, так і двома допоміжними, що задаються півосями, які рівні половині довжини та товщини плеча з можливістю їх обертання в заданому діапазоні кутів в горизонтальній площині відносно піднятої руки людини.

Показано, що трикомпонентна модель проекції тіла людини дає більшу точність апроксимації природних деформацій тіла людини

* Науковий консультант – д.т.н., проф. Комяк В.М.

ніж врахування мінімально-допустимих відстаней між людьми, що є важливим при визначенні щільності потоку людей при моделюванні активного руху людей.

Півосями, які рівні половині довжини та товщини плеча з можливістю їх обертання в заданому діапазоні кутів в горизонтальній площині відносно піднятої руки людини.

Ключові слова: людський потік, щільність, активний потоковий рух, трикомпонентна модель проєкції тіла людини

Постановка проблеми. В останнє десятиліття спостерігається тенденція до зростання кількості і масштабів наслідків надзвичайних ситуацій (НС). НС супроводжуються не тільки матеріальними, а й людськими втратами, тому в умовах НС дуже важливо швидко і правильно прийняти рішення як по ліквідації наслідків НС, так і по порятунку людей.

Серед можливих форм захисту населення є організація керованої евакуації людей з місць розвитку НС, зокрема з будівель за необхідний час, що розраховується виходячи з їх об'ємно-планувальних рішень. Для цього розробляються науково-обґрунтовані плани евакуації людей, головною складовою яких є програми моделювання людських потоків, які адекватно відображають реальні процеси руху людей. Тому актуальною задачею є розробка моделей моделювання людських потоків.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. В роботі [1] розглянута задача обґрунтування кількості, розмірів шляхів евакуації з висотних будівель та місця їх розташування, які включають сходи та коридори на поверхах з точки зору як мінімального часу евакуації, так і з точки зору врахування існуючого нормування для проектування будівель. Для моделювання руху потоків людей використовуються мережі Петрі. Швидкість руху визначається в залежності щільності потоку [2] для середньо статистичного контингенту евакуйованих.

Існує досить широкий клас будівель як різної пожежної небезпеки, так різного контингенту, який мешкає в них, наприклад люди з обмеженими мобільними можливостями змішаного складу. Результати аналізу [3] показують відсутність моделі індивідуально-поточного руху людей, що адекватна реальному потоку, з обмеженими мобільними можливостями в ньому змішаного складу в досить широкій номенклатурі громадських будівель різних класів функціональної пожежної небезпеки.

В роботі [4] поставлена та вирішена задача моделювання руху гетерогенних потоків людей (люди представляються еліпсами), яка зводиться до задачі щільного розміщення (переміщення) людей з різною щільністю, тобто розташуванням їх в кожний момент часу з

урахуванням різних мінімально допустимих відстаней між ними згідно з рядом додаткових технологічних обмежень, серед яких можна виділити рух з різною швидкістю, урахування їх маневреності, комфортності, тощо.

Згідно [2] при русі людей в потоці спостерігаються наступні категорії руху: комфортний, спокійний, активний, підвищеної активності. Модель [4] може бути використана при комфортному і спокійному русі людей.

Коли категорія руху змінюється і переходить в категорію активного руху з можливими силовими діями, щільність потоку збільшується [2]. Зміни щільності чинять сильний вплив на характер руху людей в потоці, змінюючи його від вільного, при якому людина може вибирати швидкість і напрямок свого руху, до стиснутого руху в результаті подальшого збільшення щільності потоку, при якому він відчуває дедалі більші силові дії оточуючих його людей.

У зв'язку з вище переліченими властивостями, моделювати рух з урахуванням мінімально-допустимих відстаней нема сенсу. Тому актуальною проблемою є моделювання руху людей з враховуванням природних деформацій тіла людини.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є моделювання руху потоків людей по мережі, що включає сходи, коридори з враховуванням природних деформацій тіла людини.

Основна частина. Множина людей, що одночасно йдуть загальним шляхом в одному напрямку, утворює людський потік [2]. Параметрами людського потоку є: кількість людей в потоці N , щільність D , швидкість V , величина потоку P , тобто кількість людей, що проходить через поперечний переріз ділянки, який зайнятий потоком, в одиницю часу.

У роботах [2,4] на ділянках формування людського потоку, що мають ширину b і довжину l , утворюється щільність людського потоку D , значення якої визначається за формулою:

$$D = \frac{N}{bl}, \text{чол./ м}^2. \quad (1)$$

Слід відзначити, що вільний простір в потоці залежить не тільки від кількості осіб, але і від площі, що займає кожна з них. Тому для обліку цього чинника автори [3] окремо вводять в розрахунок "щільності потоку" (тобто коефіцієнта заповнення [4]) площу горизонтальної проекції f_i , i -тої людини і позначають так:

$$D_i = \frac{N_i f_i}{b_i l_i}, \text{ м}^2 / \text{ м}^2, \quad 0 \leq D_i \leq 1.$$

Формою горизонтальної проекції людини прийнято еліпс, діаметри якого (a_i, c_i) відповідають ширині і товщині тіла людини [2-4],

а комфортність, яка враховує природні рухи людини, задається мінімально-допустимими відстанями $\Delta\delta$ між людьми, яка враховується проведенням еквідистантних ліній на відстані $\Delta\delta$ від еліпсів, що описують проекцію тіл людей на площину xOy [4].

Необхідно побудувати проекцію людини на горизонтальну площину, яка враховувала б природні деформації тіла людини при русі в потоці великої щільності і оцінити її точність.

В даній роботі пропонується при моделюванні руху враховувати природну деформацію тіла людини шляхом повороту частин його тіла (наприклад, плеча). для цього пропонується представляти проекцію людини набором трьох еліпсів: основного з можливістю його повороту в рамках маневреності відносно основного напрямку руху, так і двома допоміжними, що задаються півосями, які рівні половині довжині та ширині плеча з можливістю їх обертання в діапазоні кутів $(-\alpha_1; +\alpha_2)$ в горизонтальній площині відносно піднятої руки людини.

Представимо проекцію тіла людини у вигляді нежорсткого з'єднання трьох еліпсів: E_c з розмірами піввісь A і B , E_l і E_r з розмірами a і b (рис 1).

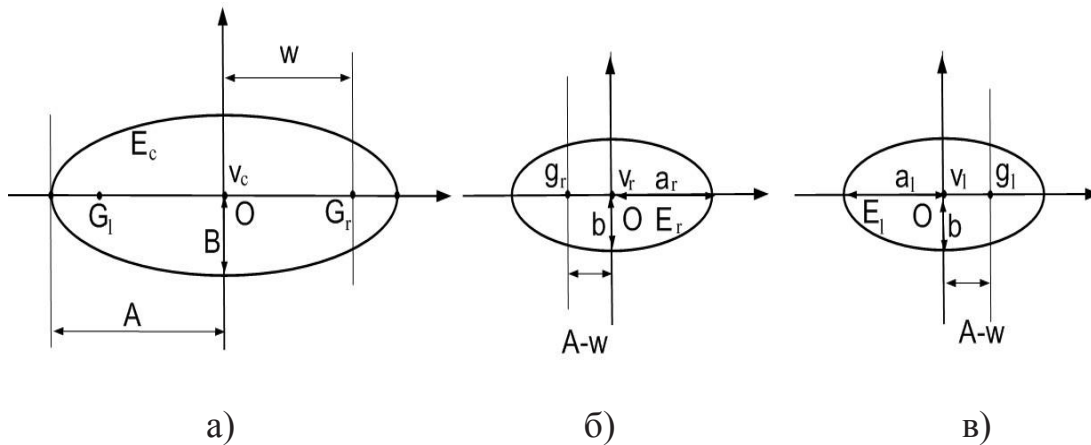


Рис 1. Три компоненти моделі людського тіла: (а) тулуб, (б) праве плече, (в) ліве плече

Кожному об'єкту E зіставлені параметри розміщення $v = (t, j)$, де $t = (x, y)$ – вектор трансляції об'єкта E відносно нерухомої системи координат, а j – кут його повороту. При цьому довільна точка $p = p(0)$ об'єкта відображається в точку $p(v) = t + M(j)p^T(0)$, де $M(j)$ – матриця оператора повороту простору на кут (див. рис 2).

Позначимо через $E(v)$ об'єкт $E = E(0)$, який повернений на кут ϕ і трансльований на вектор t .

Пари точок G_l , g_l і G_r , g_r відмічені на рис. 3,а, використовуються для «склеювання» компонент моделі в єдиний об'єкт H (рис. 3, а).

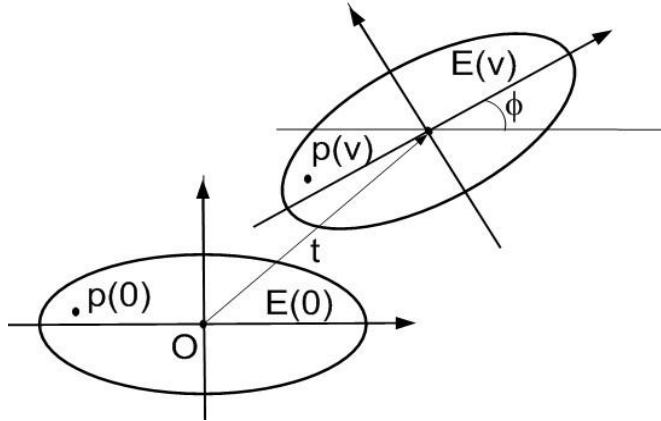


Рис 2. Ілюстрація до параметричного опису положення еліпса на площині

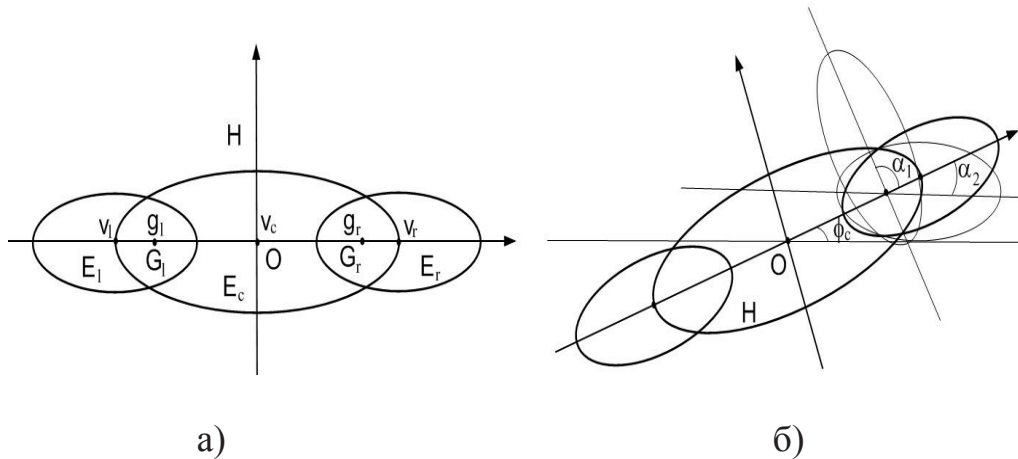


Рис 3. Трикомпонентна модель людського тіла з обмеженнями, що забезпечують: (а) умови склейки компонент моделі в єдиний об'єкт, (б) обмеження на рухливість еліпса, що моделює плече людини

Крім умов склеювання, на взаємне положення об'єктів накладаються обмеження на співвідношення кутів повороту, що впливають із фізичних обмежень на взаємне положення частин людського тіла (рис. 3). Так, кут повороту j_r еліпса E_r не може бути більше, ніж кут $j_c + \alpha_1$ і менше, ніж $j_c - \alpha_2$, де j_c - кут повороту об'єкта E_c (рис. 3, б). Відповідно, кут повороту j_l еліпса E_l не може бути більше, ніж кут $j_c + \alpha_2$ і менше, ніж $j_c - \alpha_1$.

Оцінимо точність апроксимації представлення природних фізичних рухів людини представленням її трикомпонентною моделлю (рис.4.а) і шляхом врахування їх проведенням еквідистантної лінії навколо основного еліпса (рис.4.б).

Отримаємо *верхню* оцінку площі проекції тіла людини на площину xOy з урахуванням природних деформацій її тіла представленням її трикомпонентною моделлю. Нехай еліпси E_c та E_r співпадають вершинами (центр еліпса E_r знаходиться в точці $(A + a_l, 0)$). Нехай еліпси E_c та E_r однаково орієнтовані. Площа еліпса E_r дорівнює $\pi a_r b_r$. Відповідно, площа E_l з центром в точці $(-A - a_l, 0)$ матиме площу $\pi a_l b_l$. Тоді додаткова площа, що враховує природні рухи плеча складатиме $\pi a_l b_l + \pi a_r b_r$, або $2\pi a_l b_l$, так як еліпси E_r та E_l рівні. Позначимо через $\Delta S_D = 2\pi a_l b_l$. Так як $(a_l > b_l)$, то

$$\Delta S_D < 2\pi a_l^2. \quad (2)$$

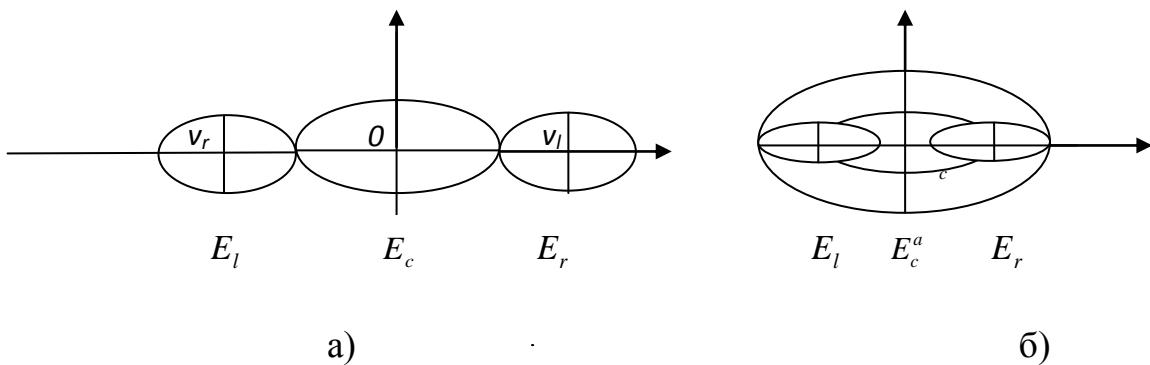


Рис.4 Ілюстрація до оцінки додаткової площі, що враховує природні фізичні рухи людини шляхом побудови трикомпонентної моделі (рис.4.а) (верхня оцінка) та проведенням еквідистної лінії (нижня оцінка) (рис.4.б)

Таким чином, верхня оцінка загальної площі проекції людини з урахуванням природних деформацій складе:

$$S_D = \pi AB + 2\pi a_l b_l.$$

Оцінимо *мінімальну* оцінку, коли ці обмеження задаються проведенням еквідистантних ліній на відстані a_l від еліпсу E_c . Нехай півосі такого апроксимованого еліпса E_c^a складають відповідно $A_e = A + a_l$, $B_e = B + a_l$. Площа еліпса з півосями (A_e, B_e) дорівнює $(\pi A_e B_e) = \pi(A B + A a_l + B a_l + a_l^2)$. Тоді площа еквідистантного кільця складе:

$$\Delta S_E = \pi(A a_l + B a_l + a_l^2). \quad (3)$$

Так як згідно антропологічних даних людини $(A > a_l, B > a_l)$, то можна записати

$$\Delta S_E > 3\pi a_l^2. \quad (4)$$

Враховуючи вирази (2) та (4), можна зробити висновок, що мінімальна оцінка (4) більше максимальної оцінки, тобто $\Delta S_D < \Delta S_E$,

Таким чином показано, що $\Delta S_D < \Delta S_E$, що вказує на більш високу точність завдання природних деформацій тіла людини трьома еліпсами, які можуть обертатись в допустимих межах, ніж завданням мінімально-допустимих відстаней між ними. що є важливим при визначенні щільності потоку людей при оцінці часу їх руху.

Висновки. Показано, що трикомпонентна модель проекції тіла людини дає більшу точність апроксимації природних деформацій тіла людини ніж врахування мінімально-допустимих відстаней між людьми, що апроксимуються еліпсами, що є важливим при визначенні щільності потоку людей при моделюванні активного руху людей.

Трикомпонентна модель проекції тіла людини в подальшому буде використана при моделюванні активного руху людей з врахуванням природних їх деформацій.

Литература

1. Комяк В.В. Моделі та методи розбиття і трасування для оцінки шляхів евакуації у висотних будівлях при проектуванні : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02. Харків, 2014. 25 с.
2. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей на пожарах: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 210 с.
3. Холщевников В.В. Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов. *Пожаровзрывобезопасность*. М., 2015. Т.24. №5. С.68-74.
4. Комуяк Va. A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 1/4(85). P. 17-23.

ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОГО ПОТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ

Кязимова К.Т.

Чрезвычайные ситуации представляют особый риск для высотных зданий из-за особенностей их индивидуального проектирования, строительства, возведения и дальнейшей эвакуации. В случае возникновения и развития чрезвычайных ситуаций в зданиях возникает проблема оптимизации выполнения спасательных работ, преобладающей и важнейшей частью которой является обеспечение

безопасности людей.

Возможные формы защиты населения включают организацию управляемой эвакуации людей из чрезвычайной ситуации, в том числе из зданий за необходимое время, рассчитываемое на основе их проектно-планировочных решений. С этой целью разрабатываются научно обоснованные планы эвакуации людей, главным компонентом которых являются программы моделирования движения потока людей, которые адекватно отражают реальные процессы их движения. Поэтому актуальной задачей является разработка моделей моделирования движения потоков людей.

При перемещении людей в потоке выделяют такие категории движения: комфортные, спокойные, активные, повышенной активности. Когда категория движения людей становится активной с возможными силовыми действиями, плотность потока увеличивается. Изменение плотности глубоко влияют на характер движения людей в потоке, изменяя его от свободного, при котором человек может выбрать скорость и направление своего движения, к сжатому движению, при котором человек испытывает растущую силу людей вокруг него.

В данной работе предлагается при моделировании движения учитывать естественную деформацию тела человека путем поворота частей его тела (например, плеча). Для этого предлагается представлять проекцию тела человека набором трех эллипсов: основного с возможностью его поворота в рамках маневренности относительно основного направления движения, так и двумя вспомогательными, задаваемыми полуосями, которые равны половине длине и ширине плеча с возможностью их вращения в заданном диапазоне углов в горизонтальной плоскости, относительно поднятой руки человека

Показано, что трехкомпонентная модель проекции тела человека дает большую точность аппроксимации природных деформаций тела человека, чем учет минимально допустимых расстояний между людьми, которые аппроксимируются эллипсами, что является важным при определении локальной плотности потока людей при моделировании активного движения людей.

Ключевые слова: поток людей, плотность, активное поточное движение, трехкомпонентная модель проекции тела человека

CHARACTERISTICS OF ACTIVE MOVEMENT OF FLOW PEOPLE

Kyazimov K.

Emergencies pose a particular risk to high-rise buildings due to their individual design, construction, erection, and subsequent evacuation. In the event of emergence and development of emergencies in buildings, there is a problem of optimizing the performance of rescue work, the predominant and most important part of which is ensuring the safety of people.

Possible forms of population protection include the organization of managed evacuation of people from emergencies, in particular from buildings for the necessary time, WHICH calculated on the basis of their design-planning decisions. To this end, scientifically sound evacuation plans are being developed, the main component of which are human flow simulation programs that adequately reflect real human movement processes. Therefore, the urgent task is to develop models for modeling human flows.

When moving people in the stream, the following categories of movement are distinguished: comfortable, calm, active, of high activity. When the category of movement of people becomes active with a possible force action, the flux density increases. Changes in density profoundly affect the nature of the movement of people in the stream, changing it from free, at which a person can choose the speed and direction of his movement, to a compressed movement, in which the person feels the increasing force of the peoples around him.

In this work, it is proposed to take into account the natural deformation of a person's body by rotating of parts of his body (eg, shoulder) when modeling movement. For this purpose it is proposed to represent the projection of the human body by a set of three ellipses: the main with the possibility of its rotation within the maneuverability relative to the main direction of movement, and two of auxiliary, given half axes, which equals half of the length and width of the shoulder with the possibility of their rotation in a given range of angles in the horizon plane relative to the raised arm of the person.

It is shown that the three-component model of the human body projection gives greater accuracy of approximation of natural deformations of the human body than taking into account the minimum permissible distances between people, which are approximated by ellipses, which is important in determining the density of human flow in modeling the active movement of people.

Keywords: human flow, density, active flow, three-component model of human body projection.