

УДК 681.518 : 004.942

А.Н. Одейчук<sup>1</sup>, Н.И. Адаменко<sup>2</sup>, В.И. Ткаченко<sup>1,2</sup><sup>1</sup> *Национальный научный центр Харьковский физико-технический институт, Харьков*<sup>2</sup> *Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ «ПАНИКУЮЩАЯ ТОЛПА»

*Проведен обзор существующих моделей, описывающих поведение паникующей толпы: модель ADLPV, основанная на графоаналитическом методе; модели, основанные на клеточных автоматах; модели, основанные на уравнениях психофизического взаимодействия; модели, основанные на мультиагентном подходе; модели, основанные на потенциальных скалярных полях. Определены достоинства и недостатки анализируемых в работе моделей. Проведен сравнительный анализ рассмотренных моделей паникующей толпы и сформулированы рекомендации, которые необходимо учитывать при разработке новых моделей.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, паника, толпа, чрезвычайная ситуация.

### Введение

В настоящее время ситуации, в которых погибает множество людей, разрушаются материальные ценности, наносится вред окружающей среде, в большинстве случаев связаны с возникающей паникой. Несмотря на проводимые исследования в данной области наблюдается дефицит знаний, которые позволили бы избежать непрогнозируемого поведения людей и негативных последствий, связанных с паникой [1]. В первую очередь это связано с высокой сложностью проведения натурных экспериментов и обработкой полученной информации. В этой связи исследователи все чаще применяют для этих целей различные имитационные модели [2 – 4].

Однако в настоящий момент моделирование толпы представляет собой развивающуюся область науки. Разработанные модели не универсальны. Они имеют свои внутренние ограничения, точность моделирования и область применения. Это может приводить к затруднениям при принятии решений в выборе той или иной модели поведения людей в той или иной ситуации.

Таким образом, проведение сравнительного анализа моделей поведения толпы в экстремальных ситуациях является достаточно актуальной задачей.

**Целью данной работы** является проведение сравнительного анализа моделей, описывающих поведение паникующей толпы, что позволит выявить достоинства и недостатки существующих моделей и дать рекомендации при разработке новых подходов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи**:

- выполнить обзор основных моделей, описывающих поведение паникующей толпы, и определить их достоинства и недостатки;

- провести сравнительный анализ основных моделей паникующей толпы;
- сформулировать рекомендации по разработке новых моделей описания поведения паникующей толпы в экстремальных условиях.

### Анализ основных моделей, описывающих поведение паникующей толпы

При отсутствии ЭВМ наиболее точным и наглядным методом моделирования поведения толпы является графоаналитический метод [5, 6]. Суть данного метода может быть представлена следующим образом.

Рассмотрим движение потока людей по горизонтальному пути (рис. 1).

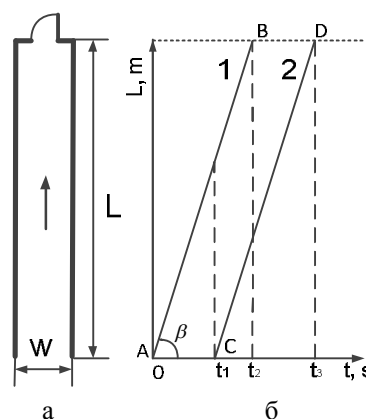


Рис. 1. Анализируемый участок пути:  
а – план помещения; б – графоаналитическое представление движения потока людей

На рис. 1, а представлен план помещения длиной  $L$  и шириной  $w$ , являющийся участком горизонтального пути, который заканчивается проемом. Движение людей происходит в направлении, пока-

занном стрелкой. Расчетная схема этого же участка дана в виде набора прямых линий на координатной сетке (рис. 1? б): по оси ординат – длина пути  $L$ , а по оси абсцисс – время  $t$ .

Пусть в начальный момент времени ( $t = 0$ ) на участке движения появляется головная часть потока людей. Через время  $t_1$  весь поток людей входит в зону участка, включая и его замыкающую часть. Рассматриваемый поток людей состоит из  $N$  человек и имеет плотность  $D$ .

Порядок построения графика движений следующий. Зная плотность потока людей  $D$  по специальным таблицам, основанным на экспериментальных данных, находится скорость движения  $v$ , соответствующая данной плотности и условиям движения (аварийное, нормальное, комфортное).

По скорости потока людей  $v$  и длине участка  $L$  определяется время  $t_2$ , необходимое для прохождения данного участка:  $t_2 = L / v$ . Точка  $B$  с координатами  $(t_2, L)$  соединяется с началом координат прямой  $AB$ . Прямая  $AB$  показывает характер движения головной части потока людей на данном участке пути.

На основании условия, что через время  $t_1$  весь поток людей входит в зону участка, и, учитывая, что скорость движения потока людей остается неизменной, можно без предварительных вычислений из точки  $C$ , соответствующей началу пути и времени  $t_1$ , провести прямую  $CD$ , параллельную  $AB$ , до ординаты, соответствующей длине  $L$ . Прямая  $CD$  выражает движение замыкающей части потока. Подробнее процедура анализа движения потока людей на других типовых участках при различных условиях описана в [6]. Достоинством данного метода является его относительная простота, наглядность и возможность применения его без использования ЭВМ.

В тоже время метод не лишен и недостатков, к которым следует отнести: возможность оценки только набора статистических параметров толпы; не подходит для исследования гетерогенных толп, в которых разные группы людей имеют различные цели и характеристики; применимость исключительно для типовых участков пути; невозможность применять метод для исследования распространения информации и настроений в толпе; неприменимость для моделирования поведения людей, когда они должны выполнить определенную последовательность действий.

Моделирование потока людей графоаналитическим методом, несмотря на свою простоту, весьма трудоемко. Поэтому с появлением ЭВМ была разработана модель ADPLV, которая автоматизирует процесс моделирования [7, 8]. Предполагается задание путей эвакуации и разбиение их на «элементарные» участки, а затем выполнение моделирования движения потоков людей, основываясь на процедуре

подобной графоаналитическому методу. Подробное изложение математического описания модели ADPLV представлено в работе [7].

Адекватность имитационной модели реальному процессу движения людского потока неоднократно проверялась натурными наблюдениями. Ошибка моделирования составляет около 15 % [7].

Недостатками данной модели являются те же, что и у графоаналитического метода, а также необходимость знаний до моделирования маршрута эвакуации.

Рассмотрим подходы, в которых присутствует сущность отдельного человека.

Для моделирования поведения толпы наибольшее распространение получили двумерные клеточные автоматы на ортогональной сетке, которая задает пространство для перемещения индивидов. Размер каждой клетки сетки равен размеру усредненного индивида. Каждый индивид в моделях, построенных на основе клеточного автомата, может характеризоваться достаточно обширным перечнем характеристик, кроме линейных размеров, которые у всех одинаковы. Моделирование перемещения человека осуществляется исходя из вероятностей перемещения в ту или иную клетку, которые рассчитываются по правилам, описанным в модели. Индивид перемещается в ту клетку, вероятность перемещения в которую максимальна. В случае если на пути возникают непреодолимые препятствия или значительные скопления людей, индивид способен просматривать область вокруг него на некоторое расстояние и выбирать то направление движения, которое имеет наименьшее количество людей и препятствий [9].

К достоинствам данного подхода следует отнести простоту реализации самого клеточного автомата и несложное задание правил.

Недостатком моделей, основанных на клеточном автомате, является дискретность поведения индивидов в толпе, как во времени, так и в пространстве. Горизонтальная проекция человека по ширине и толщине имеет одинаковые значения, что не соответствует действительности. Учитывая, что размер клеток и ассоциированные ограничения нуждаются в настройке перед началом моделирования, то результаты таких моделей сильно зависят от квалификации пользователя.

Другой подход моделирования поведения толпы основывается на уравнениях психофизического взаимодействия [3, 10, 11].

В рамках данного подхода каждый  $i$ -й человек в толпе абстрактно представляется в виде вертикального сплошного однородного цилиндра радиусом  $R_i$ , а правила взаимодействия между людьми задаются потенциальными силами психосоциального и физического происхождения.

Рассмотрим множество из  $N$  людей, каждый из которых имеет массу  $m_i$ , где  $i = \overline{1, N}$ . Пусть поведение каждого индивида характеризуется радиус вектором  $\vec{r}_i$ , актуальной скоростью передвижения  $\vec{V}_i$  и скоростью, с которой человек хотел бы передвигаться,  $\vec{V}_i^{\text{want}}$ . Именно несоответствие желаемой скорости и актуальной скорости и формирует основную силу, инициирующую движение [3]:

$$\vec{F}_i^t = m_i \frac{\vec{V}_i^{\text{want}} - \vec{V}_i}{\tau}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – параметр, характеризующий время вовлечения индивида в паникующую толпу, с.

Сила, инициирующая движение (1), устроена таким образом, что в случае превышения желаемой скорости над актуальной скоростью человек ускоряется. Если индивид не желает никуда двигаться, то его движение со временем затухает. Помимо силы, инициирующей движение (1) на человека действуют иные силы, связанные с взаимодействием человека с другими людьми и препятствиями.

Рассмотрим силу, действующую на индивида  $i$  со стороны индивида  $j$  [3]:

$$\vec{F}_i^p = \left( A \exp(D_{ij}/B) + kH(D_{ij})D_{ij} \right) \vec{n}_{ij} + \eta H(D_{ij})D_{ij} \left\langle \left( \vec{V}_j - \vec{V}_i \right) \vec{\tau}_{ij} \right\rangle \vec{\tau}_{ij}, \quad (2)$$

где  $D_{ij} = R_i + R_j - |\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ ;  $\vec{n}_{ij}$  и  $\vec{\tau}_{ij}$  – нормальный и тангенциальный единичные вектора;  $H$  – функция Хэвисайда, определяющая момент возникновения взаимодействия;  $A$ ,  $B$ ,  $k$ ,  $\eta$  – постоянные величины, задаваемые эмпирическим путем.

Первое слагаемое в (2) представляет собой силу, так же как и в формуле (1), психосоциальной природы. Она описывает нежелание человека вступать в слишком тесный физический контакт с другими людьми. Значение данной силы тем больше, чем ближе люди между собой и когда расстояние между индивидами становится меньше суммы их радиусов, сила отталкивания становится особенно значительной. На больших расстояниях вклад этого слагаемого достаточно слаб. Второе слагаемое в (2) описывает упругое отталкивание при лобовом столкновении между индивидами, а третье – силу трения при касательном движении. Оба взаимодействия возникают только при положительном значении  $D_{ij}$ , поэтому эти слагаемые умножаются на функцию Хэвисайда  $H(D_{ij})$ .

Аналогично (2) рассматривается сила взаимодействия человека с препятствием [3].

С учетом формул (1, 2) уравнения динамики паникующей толпы:

$$m_i \frac{d\vec{V}_i}{dt} = \vec{F}_i^t + \sum_{i \neq j} \vec{F}_{ij}^p + \sum_z \vec{F}_{iz}^w, \quad \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \vec{V}_i.$$

Достоинствами данного подхода является возможность описывать движение людей непрерывно во времени, в отличие от клеточных автоматов. Учитываются силы, которые действуют на людей и имеющие некоторый психофизический смысл.

Однако в предложенных уравнениях, описывающих динамику толпы, присутствуют величины, не поддающиеся прямому измерению, поэтому исследователю приходится самому присваивать этим параметрам значения. Наличие таких коэффициентов, вообще говоря, уменьшает достоверность результатов, а значит и уменьшает предсказательную силу модели.

Также уравнение силы психологического отталкивания, моделирующее нежелание человека вступать в плотный контакт с другими людьми, построено таким образом, что не дают возможности моделировать реальную давку в аварийных ситуациях, когда наблюдается изменение или даже уменьшение профиля горизонтальной проекции человека [6]. Кроме того, этот профиль описывается в данном подходе в виде круга, а не эллипса, который наиболее точно соответствует эмпирическим измерениям [6].

Модели, основанные на клеточных автоматах и уравнениях психофизического взаимодействия, изначально не были нацелены на описание механизмов передачи информации между людьми, обеспечение движения к какой-либо цели или же следованию некоторому плану действий. Любое добавление в них подобных возможностей приводит к чрезмерному усложнению и субъективизму модели.

На новый уровень моделирование толпы позволил поднять мультиагентный подход, в рамках которого каждый человек рассматривается как интеллектуальный агент [12].

Под агентом принято понимать сущность, которая моделирует поведение человека в процессах сбора и обработки информации и автономно перемещается внутри информационного пространства в направлении цели [12, 13].

Наибольшее распространение получили делиберативные агенты [8, 12, 13]. Каждый такой агент имеет библиотеку планов (сценариев), определяющих варианты возможных действий, которые могут быть предприняты агентом для достижения его намерений. Планы, таким образом, реализуют процедурные знания агента. Каждый план содержит несколько компонентов. Триггер или условие вызова определяют обстоятельства, при которых план должен рассматриваться как возможный для применения. План имеет контекст или предусловия, определяющие обстоятельства, при которых выполнение

плана может начаться. План также имеет тело, которое может содержать цели и примитивные действия.

Достоинством делиберативной архитектуры является возможность применения строгих формальных методов и хорошо отработанных технологий традиционного искусственного интеллекта, позволяющих относительно легко представлять знания в символической форме.

В виду сложности построения подобных планов были разработаны реактивные агенты, которые имеют коллекцию простых поведенческих схем описывающих реакцию на изменения в среде по форме «стимул – реакция». Однако они сталкиваются с проблемами, когда требуются знания о мире, которые получаются логическим выводом. Более того, реактивные агенты часто сделаны «жестко» и не имеют никаких способностей к обучению.

В последнее время ряд исследователей признают [13, 14], что агент должен обладать высокоуровневым выводом и низкоуровневыми реактивными способностями, что привело к созданию гибридных агентов. При моделировании паникующей толпы уровень, описывающий реактивное поведение агента, выполняют, основываясь на клеточных автоматах [8], либо на уравнениях психофизического взаимодействия [10, 11]. Делиберативный уровень обычно описывается с помощью логики предикатов [12, 13].

Достоинствами гибридной архитектуры являются обеспечение возможности агентам моделировать сложное поведение, основанное на долгосрочном планировании своих действий, и решения краткосрочных задач по передвижению в окружающем пространстве. Возможность моделирования общения между людьми в толпе, образования групп и возможность обучения. К сожалению, гибридная архитектура агентов не лишена недостатков, свойственных делиберативной и реактивной архитектуре, однако основным является сложность управления взаимодействием между разными уровнями.

На настоящий момент один из самых быстрых подходов моделирования многотысячной толпы является подход, основанный на потенциальных скалярных полях. Основные положения данного подхода были заложены в работах [15, 16], а его достаточно полное описание представлено в работе [4]. В рамках данного подхода каждый агент подчиняется ряду предположений [4]:

Гипотеза 1: Каждый человек пытается достичь географической цели  $g$ .

Гипотеза 2: Человек движется с максимальной возможной скоростью.

Гипотеза 3: В процессе движения человек стремится избежать столкновения с окружающими людьми, стенами и другими препятствиями.

Гипотеза 4. Агент из всего множества возможных путей выбирает, тот который соответствует минимуму целевой функции

Таким образом, предложенные гипотезы ведут к базовому уравнению движения агента в потоке толпы для двухмерного случая [17]:

$$-\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( pg(p)f^2(p) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( pg(p)f^2(p) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = 0;$$

$$g(p)f(p) = 1 / \sqrt{\left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2},$$

где  $\varphi$  – время до окончания движения;  $p$  – плотность толпы;  $f(p)$  – скорость агентов как функция от плотности;  $g(p)$  – дискомфорт как функция от плотности;  $(x, y, t)$  – координаты агента и текущее время.

На рис. 2 представлено визуальное отображение полей, используемых при моделировании поведения толпы.

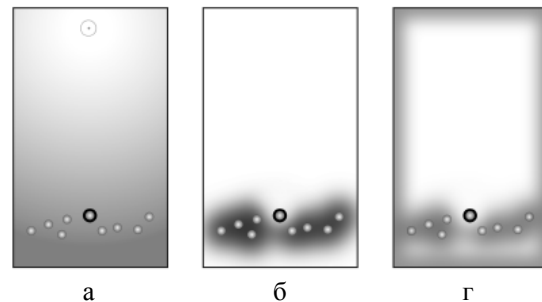


Рис. 2. Визуальное отображение поля, используемого при моделировании поведения толпы [16]: а – глобальной цели; б – плотности; в – дискомфорта

К достоинствам данного подхода можно отнести возможность выполнять моделирование многочисленной толпы в реальном режиме времени. Недостатком является неприменимость его к моделированию толпы с большой плотностью, когда присутствует значительное трение между людьми [16].

### Сравнительный анализ моделей паникующей толпы

Обзор основных моделей паникующей толпы показал, что в настоящее время наибольшее распространение получили: модель ADLPV, основанная на графоаналитическом методе; модели, основанные на клеточных автоматах; модели, основанные на уравнениях психофизического взаимодействия; модели, основанные на мультиагентном подходе; модели, основанные на потенциальных скалярных полях.

Анализ работ [5, 6, 18] посвященных исследованию реальной толпы, позволяет выделить среди множества характеристик основные, относительно которых следует проводить сравнительный анализ моделей паникующей толпы:

профиль горизонтальной проекции человека;  
 возможность моделирования паникующей толпы с высокой плотностью;

возможность моделирования гетерогенной толпы; моделировании потока людей в целом или каждого человека в отдельности;

необходимость знания пути эвакуации перед началом моделирования; возможность выполнения сценария действий; планировка помещений, в которых осуществляется моделирование.

Также следует рассмотреть ряд дополнительных характеристик: точность моделирования; квалификация пользователя; сложность вычислений.

Результаты сравнения моделей паникующей толпы представлены в табл. 2 (1 – модель ADLPV, основанная на графоаналитическом методе; 2 – модели, основанные на клеточных автоматах; 3 – модели, основанные на уравнениях психофизического

взаимодействия; 4 – модели, основанные на гибридной мультиагентной архитектуре; 5 – модели, основанные на потенциальных скалярных полях).

Сравнительный анализ позволил выявить общий недостаток современных моделей – профиль горизонтальной проекции не является эллипсом, как это отмечается в исследованиях посвященных реальным толпам [9].

Это в свою очередь может приводить к искажению результатов моделирования. В особенности при попытке моделировать толпу с высокой плотностью, в которой наблюдается давка. Потенциально из рассмотренных моделей, основанных на описании поведения толпы через индивидуальное поведение человека, на сегодняшний день обладают возможностью правдоподобно моделировать давку только мультиагентные модели путем задания специальных правил поведения.

Таблица 2

Сравнительный анализ моделей паникующей толпы

Параметр	Модель				
	1	2	3	4	5
Профиль горизонтальной проекции человека	–	Квадрат	Круг	Круг	Круг
Моделирование толпы с высокой плотностью	Да	Нет	Нет	Да	Нет
Гетерогенная толпа	Нет	Нет	Да	Да	Да
Поток/человек	Поток	Человек	Человек	Человек	Человек
Путь эвакуации известен заранее	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Выполнение сценария действий	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Планировка помещения	Типовая	Дискретная	Произвольная	Произвольная	Произвольная
Точность	Высокая	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Квалификация пользователя	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
Сложности вычислений	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая

Таким образом, представляется необходимым предложить при создании новых моделей, описывающих поведение паникующей толпы, следующие рекомендации.

Для описания поведение людей использовать мультиагентную гибридную архитектуру агентов, что позволит не только моделировать реакцию человека на окружающую среду, но и различные сценарии действий, общения между людьми, обучение и т.п.

В модели учесть возможность моделировать гетерогенную толпу, в которой участники толпы отличаются не только скоростью, физиологическими ограничениями, целями, но и размерами.

Основывать модель на профиле горизонтальной проекции человека в виде эллипса, что будет соответствовать реальным наблюдениям, а также обеспечить возможность задания и других конфигураций профиля.

Для обеспечения правдоподобности передвижения людей в помещениях и на открытой местности использовать элементы подхода, основанного на потенциальных скалярных полях.

Разработанная модель должна быть верифицирована с помощью результатов натуральных наблюдений, а также использовать модель ADLPV, которая имеет высокую точность при потоковом описании толпы на типовых участках.

## Выводы

1. Проведен обзор основных моделей, описывающих поведение паникующей толпы: модель ADLPV, основанная на графоаналитическом методе; модели, основанные на клеточных автоматах; модели, основанные на уравнениях психофизического взаимодействия; модели, основанные на мультиагентном подходе; модели, основанные на потенциальных скалярных полях.

Определены достоинства и недостатки рассмотренных моделей.

2. Проведен сравнительный анализ основных моделей паникующей толпы.

3. Сформулированы рекомендации, которые необходимо учитывать при разработке новых моделей:

– использовать мультиагентную гибридную архитектуру агентов, что позволит описывать сложное социально-психологическое поведение агентов в толпе помимо реакции на окружающую среду;

– основывать модель на профиле горизонтальной проекции человека в виде эллипса, что будет соответствовать реальным наблюдениям, а также обеспечить возможность учета и других конфигураций профиля;

– использовать для описания взаимодействия с окружающей средой агента элементы подхода, основанного на потенциальных скалярных полях, что позволит правдоподобно действовать агенту, как в помещении, так и на открытой местности, а также задавать области воздействия опасных факторов;

– верифицировать полученную модель с помощью результатов натуральных наблюдений, а также использовать модель ADLPV, которая имеет высокую точность при потоковом описании толпы на типовых участках.

## Список литературы

1. National fire protection association (NFPA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nfpa.org>.
2. Дробаха Г.А. Імітаційне моделювання дій натовпу у задачах дослідження його поведінки під час проведення масових заходів [Текст] / Г.А. Дробаха, Л.В. Розанова, В.Е. Лісіцин // Збірник наук. праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2013. – Вип. 2 (22). – С. 31 – 40.
3. Helbing D. Simulating dynamical features of escape panic [Text] / D. Helbing, I. Farkas, T. Vicsek // Nature. – 2000. – Vol. 407. – P. 487 – 490.
4. Treuille A. Continuum Crowds / A. Treuille, S. Cooper, Z. Popovic [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://computerscience.nl/docs/vakken/mcrs/papers/17.pdf> – Заголовок с экрана.
5. Милинский А.И. Исследование процессов эвакуации зданий массового назначения: дис. канд. техн. наук. [Текст] / А.И. Милинский – М., 1951. – 177 с.
6. Предтеченский В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков [Текст] / В.М. Предтеченский. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.
7. Холцевников В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах [Текст] / В.В. Холцевников, Д.А. Самошин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.
8. Корепанов В.О. Модели рефлексивного группового поведения и управления [Текст] / В.О. Корепанов. – М.: ИПУ РАН, 2011. – 127 с.
9. Степанцов М.Е. Математическая модель направленного движения группы людей [Текст] / М.Е. Степанцов // Математическое моделирование. – 2004. – Т. 16(3). – С. 43 – 49.
10. Гребенников Р.В. Разработка индивидуальных характеристик поведения при моделировании толпы [Текст] / Р.В. Гребенников // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и инф. технологии. – Воронеж: ВГУ, 2008. – Т. 2. – С. 41 – 44.
11. Аптуков А.М. Моделирование поведения паникующей толпы в многоуровневом разветвленном помещении [Текст] / А.М. Аптуков, Д.А. Брацуна, А.В. Люшин // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – Т. 5. – № 3. – С. 491 – 508.
12. Wooldridge M. Introduction to MultiAgent Systems [Text] / M. Wooldridge. – John Wiley and Sons, 2002. – 365 p.
13. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг. [2-е изд.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
14. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика: монография [Текст] / В.Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
15. Hughes R.L. The Flow of Human Crowds [Text] / R.L. Hughes // Annual review of fluid mechanics. – 2003. – Vol. 35. – P. 169 – 182.
16. Гребенников Р.В. Моделирование поведения толпы с использованием локальных скалярных полей: дис. канд. техн. наук [Текст] / Р.В. Гребенников. – Воронеж, 2011. – 113 с.
17. Hughes R.L. A continuum theory for the flow of pedestrians [Text] / R.L. Hughes // Transportation Research. – 2002. – Vol. 36. – P. 507 – 535.
18. Назаретян А.П. Агрессивная толпа, массовая паника, слухи [Текст] / А.П. Назаретян. – СПб.: Питер, 2004. – 95 с.

Поступила в редколлегию 2.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Г.А. Кучук, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ СОЦІАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ «НАТОВП, ЩО ПАНІКУЄ»

А.М. Одейчук, М.І. Адаменко, В.І. Ткаченко

Наведено огляд існуючих моделей, що описують поведінку натовпу, що панікує: модель ADLPV, заснована на графоаналітичному методі; моделі, засновані на клітинних автоматах; моделі, засновані на рівняннях психофізичної взаємодії; моделі, засновані на мультиагентному підході; моделі, засновані на потенційних скалярних полях. Визначено переваги і недоліки аналізованих у роботі моделей. Проведено порівняльний аналіз розглянутих моделей паніки натовпу і сформульовані рекомендації, які необхідно враховувати при розробці нових моделей.

**Ключевые слова:** математичне моделювання, паніка, натовп, надзвичайна ситуація.

## MODELS COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIAL SITUATIONS "PANIC CROWD"

A.M. Odeychuk, M.I. Adamenko, V.I. Tkachenko

A review of existing models describing the panicked crowd behavior: model ADLPV, based on the graphic-analytical methods; model based on cellular automata; models based on the equations of psychophysical interaction; models based on multi-agent approach; models based on scalar potential field. Strengths and weaknesses of the analyzed models have been identified. The comparative analysis of the considered models of the panicking crowd have been carried out. Recommendations which need to be considered when developing new models have been formulated.

**Keywords:** mathematical modeling, panic, crowd, emergency situation.