Дата подачи: 14.05.2021

Дата принятия:

**УДК 519.85**

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ С ГРУЗОМ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЙ

**А.** **В.** **Панкратов, В.** **М.** **Комяк, К.** **Т.** **Кязимов, В.** **В.** **Комяк, О. А. Тарасенко, А. А Антошкин,Ю. В. Мищеряков, М. Н. Долгодуш**

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ЛЮДЕЙ З ВАНТАЖЕМ ПРИ ЕВАКУАЦІЇ З БУДІВЕЛЬ**

**О. В. Панкратов, В. М. Комяк, К. Т. Кязимов, В. В. Комяк, О. А. Тарасенко, О. А. Антошкин, Ю. В. Мищеряков, М. М. Долгодуш**

**DEVELOPMENT OF A MODEL AND ALGORITHM FOR MODELING THE MOTION OF PEOPLE WITH A LOAD DURING EVACUATION FROM BUILDINGS**

**Оlexandr Pankratov,Valentyna Komyak,Kyazim Tahir oglu Kyazimov, Vladimir Komyak, Оlexandr Tarasenko, Oleksiy Antoshkin, Iurii Mishcheriakov, Mykhailo Dolhodush**

*Евакуація – часто єдиний спосіб порятунку людини, що опинилася в небезпечній для життя ситуації. В теперешній час при евакуації використовуються програми моделювання руху людських потоків, які не завжди відображають реальні процеси їх переміщення. Тому актуальною проблемою є розробка моделей для моделювання руху людських потоків для різних видів НС, різних категорій руху людей та різних просторових форм їх представлення. Така проблема виникає при евакуації людей з будинків різного функціонального призначення.*

*При евакуації часто люди рухаються з вантажем. При русі людей з вантажем, їх горизонтальна проекція має більш складну форму, ніж еліпс або коло, як розглянуто в роботах попередніх дослідників. Більш того на практиці часто виникає задача моделювання руху людей з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними.*

*Отримано нові квазі-phi-функції для еліпса з прямокутником з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними. Запропонований математичний апарат дозволив формалізувати взаємодію об’єктів, що дало можливість побудувати обґрунтовані математичну модель, методи та алгоритми для моделювання руху людей з вантажем.*

*Показана можливість моделювання руху людей з допоміжними засобами з урахуванням максимально-допустимих відстаей між ними. Здійснено комп’ютерне моделювання тестового приклада руху людей по чотирьох коридорам, в кожному з яких знаходиться по 28 чоловік із зливанням в один потік. При рівномірному розподілу трьох видів вантажу: "рюкзаків", "валіз" та"сумок на коліщатках"спостерігалось уповільнення руху близько на 4 %. Коли у половини евакуйованих є "сумки на коліщатках", які можуть віддалятися від людей на відстань витягнутої руки, спостерігалось уповільнення близько на 6 %.*

*Ключові слова: гетерогенні потоки людей,індивідуально-поточний рух, оптимізація за групою змінних, нелінійне програмування.*

*Эвакуация – часто единственный способ спасения человека, оказавшегося в опасной для жизни ситуации. В настоящее время при эвакуации используются программы моделирования движения людских потоков, которые не всегда отражают реальные процессы их перемещения. Поэтому актуальной проблемой является разработка моделей для моделирования движения людских потоков для различных видов ЧС, различных категорий движения людей и различных пространственных форм их представления. Такая проблема возникает при эвакуации людей из зданий различного функционального назначения.*

*При эвакуации часто люди двигаются с грузом. При движении людей с грузом, их горизонтальная проекция имеет более сложную форму, чем эллипс или круг, как рассмотрено в работах предыдущих исследователей. Более того, на практике часто возникает задача моделирования движения людей с учетом максимально допустимых расстояний между ними.*

*Получены новые квази-phi-функции для эллипса с прямоугольником с учетом максимально допустимых расстояний между ними. Предложенный математический аппарат позволил формализовать взаимодействие объектов, что дало возможность построить обоснованные математическую модель, методы и алгоритмы для моделирования движения людей с грузом.*

*Показана возможность моделирования движения людей с вспомогательными средствами с учетом максимально-допустимых расстояний между ними. Осуществлено компьютерное моделирование тестового примера движения людей по четырем коридорам, в каждом из которых находится по 28 человек, с сливом в один поток. При равномерном распределении трех видов грузов: "рюкзаков", "чемоданов" и "сумок на колесиках" наблюдалось замедление движения примерно на 4 %. Когда у половины эвакуированных используются "сумки на колесиках", которые могут удаляться от людей на расстояние вытянутой руки, наблюдалось замедление примерно на 6 %.*

*Ключевые слова: гетерогенные потоки людей, индивидуально-текущее движение, оптимизация по группам переменных, нелинейное программирование*

**1. Вступ**

Постійне зростання кількості надзвичайних ситуацій (НС) природного і техногенного характеру, в тому числі їх масштабність, робить проблему захисту населення і територій від них досить актуальною. Стихійні лиха, терористичні акти, техногенні катастрофи призводять до великої кількості смертей найчастіше тому, що люди не змогли вчасно покинути місце розвитку НС. Евакуація – часто єдиний спосіб порятунку людини, що опинилася в небезпечній для життя ситуації. Для проведення оперативно-тактичних дій по евакуації і порятунку людей з будівель створюються пожежно-рятувальні підрозділи, які, як правило, формуються згідно типу НС, яка виникає в будівлі, тобто згідно їх професійної спрямованості.На допомогу пожежно-рятувальним підрозділам в даний час приходять програмні комплекси по керованій евакуаціїз будівель, головним компонентом яких є програми моделювання людських потоків, які відображають реальні процеси їх руху. На практиці часто виникає задача моделювання руху людей з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними, прикладами яких можуть слугувати члени сім’ї або рятувальники одного підрозділу, які рухаються з вантажем. При русі людей з вантажем, їх горизонтальна проекція має більш складну форму, ніж еліпс або коло, як зазвичай розглядається.Тому актуальною проблемою є розробка моделей для моделювання руху людських потоків для різних видів НС, різних категорій руху людей та різних просторових форм їх представлення.

**2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми**

В проблемі, що розглядається, головними компонентами є програми моделювання руху людського потоку. Відсутні моделі індивідуально-поточного руху гетерогенних потоків людей, що не дозволяє створити програми, адекватні реальному потоку [1]. Причиною цього може бути відсутність математичного апарату аналітичного опису умов не перетинання між людьми. І, як правило, люди переміщуються з вантажем та з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними, що ускладнює їх просторову форму.

Слід зазначити, що задача моделювання руху людей в кожний визначений дискретний момент часу представляє собою конфігурацію розміщення об’єктів за заданими обмеженнями [2] і відноситься до класу задач геометричного проектування [3]. Основними обмеженнями в цьому класі є обмеження на взаємодію об’єктів (умови їх неперетинання).

Першим кроком в побудові аналітичного опису умов взаємного неперетину об’єктів цього класу задач став підхід, [4], який базується на використанні R-функцій. За допомогою R-функцій описували умови взаємодії простих об’єктів, наприклад кіл, але для деяких об’єктів R-функції мали складний вигляд. Подальші дослідження в напрямі аналітичного опису взаємодії об’єктів пов’язані з математичним апаратом функцій щільного розміщення (ФЩР) [5] та їх годографом (ГФЩР) [6], які дозволяли перетворити геометричну інформацію про об’єкти, що розміщуються, в інформацію про їх можливі щільні розміщення.

На базі ГФЩР розроблено методологію послідовно-одиночного розміщення для знаходження наближень до локальних екстремумів у задачах нерегулярного розміщення об’єктів [6]. Варіантом подолання труднощів по знаходженню точного розв’язку став апарат phi-функцій [7], який дозволив описувати відповідні задачі у вигляді задач нелінійного програмування та застосовувати точні методи розв’язання. Побудовані phi-функції для базових об’єктів у дво- [8] та тривимірному просторах [9].

У статті [10] наводиться досить повний огляд літератури, присвячений задачам розміщення еліпсів. Але поза уваги авторів залишилися питання, пов'язані з неперервними обертаннями об’єктів. Задача оптимального розміщення еліпсів, що допускають неперервні обертання, розглянута в [11]. Для аналітичного опису взаємодії об’єктів використовуються псевдонормалізовані квазі-phi-функції [12]. В роботі [13] вдалося спростити аналітичний опис відносин між еліпсами (неперетинання і розташування на мінімально допустимій відстані) з використанням запропонованої в цій роботі квазі-phi-функції.

Метод phi-функцій, квазі-phi-функцій визнаний найбільш потужним у світі засобом аналітичного моделювання відношень між геометричними об'єктами. Він дозволяє описувати оптимізаційні задачі геметричного проектування (розкрою, упаковки, покриття та розбиття) у вигляді задач нелінійного програмування та має широке коло застосувань.Так, теорія оптимізаційного геометричного проектування [3] призначена для розв'язання ряду прикладних оптимізаційних задач упаковки [14], розбиття [15], покриття [16], покриття з трасуванням [17]. Ці задачі пов’язані зі створенням енерго- та ресурсозберігаючих технологій в пріоритетних галузях народного господарства при автоматизації та моделюванні процесів розміщення об'єктів різної фізичної природи.

У розглянутій прикладній проблемі об'єктом розміщення (переміщення) є людина. У роботі [13] показано, що при вільній категорії руху найбільш адекватною моделлю проекції людського тіла на горизонтальну площину є еліпс. Підхід до моделювання вільного руху людей, що представлені еліпсами, розглянуто в [13]. І, як правило, люди переміщуються з вантажем. Для моделювання руху людей часто необхідно враховувати ще максимально-допустимі відстані між ними. Загальний підхід до аналітичного опису умов неперетинання об’єктів з урахуванням максимально-допустимих відстаней заложений в теорії геометричного проектування [3].

При моделюванні руху гетерогенних потоків людей, які евакуюються з вантажем, їх просторова форма, а відповідно і горизонтальна проекція, має більш складну форму, ніж еліпс або коло. Тому невирішеною частиною розглянутої проблеми є розробка моделей та алгоритмів моделювання руху людей з вантажем при евакуації з будівель на базі аналітичного опису взаємодії об’єктів з урахуванням їх просторових форм та максимально-допустимих відстаней між ними.

**3. Мета та задачі дослідження**

Метою роботи є розробка розробка моделі та алгоритму моделювання руху людей з вантажем при евакуації з будівель. Це дасть можливість розширити коло розв’язуємих практичних задач моделювання руху людських потоків, зокрема переміщення рятувальників із засобами порятунку, хворих з допоміжними засобами переміщення, тощо.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– побудувати математичну модель тіла людини з вантажем, отримати аналітичні вирази умов їх неперетинання з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними;

– побудувати математичну модель руху людей з вантажем (об'єктів складної просторової форми) з урахуванням обмежень на умови їх не перетинання та максимально-допустимих відстаней між ними; коефіцієнтів стабільності швидкості та маневреності руху;

– розробити алгоритм пошуку локально-оптимального розв’язку для задачі раціонального руху людей з вантажем на ділянці горизонтального шляху.

**4. Матеріали та методи дослідження**

Дослідження взаємодії геометричних об’єктів, які є основою методів моделювання їх розміщення за заданими обмеженнями та моделювання руху людей у потоці, проводились з використанням математичного апарату phi-функцій, зокрема квазі-phi-функцій [12].

Представимо проекцію тіла людини в задачі моделювання руху людини у вигляді об'єкта *Si*. Кожному об'єкту *Si* зіставлені параметри розміщення *ui*=(ν*i*,θ*i*), де ν*i*=(*xi*, *yi*) – вектор трансляції об'єкта *Si* відносно нерухомої системи координат, а θ*i* – кут його повороту. Позначимо через *Si*(*ui*) об’єкт *Si*=*Si*(0), який повернений на кут θ*i* і трансльований на вектор ν*i*. При цьому довільна точка *p*=*p*(0) об'єкта відображається в точку *p*(ν)=ν+*M*(θ*i*)*pT*(0), де *M*(θ*i*) – матриця оператора повороту простору на кут θ*i*.

Розглянемо наступні відношення між об’єктами *Si*(*ui*) та *Sj*(*uj*):

– перетинання:int *Si*(*ui*)∩int *Sj*(*uj*)≠∅;

– торкання: int *Si*(*ui*)∩int *Sj*(*uj*)=∅ та fr *Si*(*ui*)∩fr *Sj*(*uj*)≠∅;

– неперетинання *Si*(*ui*)∩*Sj*(*uj*)=∅;

де int(●) – топологічна внутрішність, fr(●) – границя множини(●).

Умови неперетинання двох об'єктів *Si*(*ui*) та *Sj*(*uj*), де у якості цих об'єктів будемо розглядати перелічені вище класи об'єктів, побудуємо, використовуючи поняття їх квазі-phi-функції [12].

Визначення 1. Квазі-phi-функцією  для об'єктів *Si*(*ui*) та *Sj*(*uj*) називається всюди визначена неперервна по усім змінним функція, для якої функція  є phi-функцією об'єктів *Si*(*ui*) та *Sj*(*uj*)[10]. Тут –вектор допоміжних змінних, які належать деякій підмножині *U* простору *Rm* [12].

Квазі-phi-функція, запропонована в статті [12], на відміну від phi-функції, залежить не тільки від параметрів розміщення вихідних об'єктів *Si* та *Sj*, а й від додаткових змінних. Розмірність простору і його вид залежить від конкретних об'єктів і умов розміщення, для моделювання яких призначена конкретна квазі-phi-функція.

Важлива характеристика квазі-phi-функції: якщо для деякого виконується  то int *Si*(*ui*)∩int *Sj*(*uj*)=∅ [12].

Завдяки аналітичному опису обмежень задачі переміщення людей, зокрема їх взаємодії, вдалося отримати математичну модель задачі, властивості якої дозволяють застосовувати як існуючі методи нелінійного програмування, так і здійснювати оптимізацію за групами змінних, до яких входять параметри розміщення людей.

**5. Результати дослідження моделювання руху людей з вантажем**

**5. 1.Математична модель тіла людини з вантажем, аналітичні вирази умов їх неперетинання**

*Квазі-phi-функція для еліпса та прямокутника.*

Для моделювання умов взаємодії еліпса та прямокутника модифіковано к*вазі-phi-функцію.* Нехай *Ei*(*ui*) – еліпс з піввісями *ai* та *bi* та *Tj*(*uj*) – прямокутник, який задано вершинами  (*і*=1, 2, 3, 4) відповідно з параметрами розміщення *ui*, *uj*. Нормалізована квазі-phi-функція для еліпса *Ei*(*ui*) та прямокутника *Tj*(*uj*) буде мати вигляд:

 (1)

де  є нормалізованою квазі-phi-функцією для еліпса *Ei*(*ui*) та півплощини *D*+,  – нормалізована phi-функція для об'єктів *Tj*(*uj*) та *D*– [18], *f*(*x*, *y*)=*cx*+*dy*+*r*=0 (*c*2+*d*2=1) – рівняння деякої прямої Lij, яка є границею двох півплощин *D*+ та *D*–.

*Квазі-phi-функція для моделювання обмеження максимальної припустимої відстані еліпса та прямокутника.*

Для моделювання обмежень на максимальну припустиму відстань ρ*ij* для двох об’єктів *Ei*(*ui*) і *Tj*(*uj*) вводяться додаткові змінні *xij*, *yij*, *xji*, *yji*, де *tij*=(*xij*, *yij*) і *tji*=(*xji*, *yji*) ‑ точки, що належать об’єктам *Ei*(*ui*) і *Tj*(*uj*) відповідно (рис. 1).

X2





























*а б в*

Рис. 1. Побудова квазі-phi-функції для моделювання обмежень на максимальну припустиму відстань для двох об’єктів: *а* – відстань ρ*ij* менша за максимально припустиму відстань δ*ij*; *б* – обмеження на максимальну припустиму відстань між об’єктами виконується з запасом; *в* – відстань між об’єктами дорівнює δ*ij*

Якщо відстань  менша за максимально припустиму відстань δ*ij* (рис. 1, *а*) або у деяких ситуаціях виконується з запасом (рис. 1, *б*), обмеження на максимальну припустиму відстань між об’єктами виконується з запасом (об’єкти можуть навіть перетинатися). На рис. 1, *в* зображено розміщення об’єктів, при якому відстань між об’єктами дорівнює δ*ij*.

Таким чином, квазі-phi-функція для моделювання обмежень на максимально припустиму відстань для двох об’єктів *Ei*(*ui*) і *Tj*(*uj*) може бути сформульована наступним чином:

 (2)

де   ‑ функції належності точок *tij*=(*xij*, *yij*) і *tji*=(*xji*, *yji*) об’єктам *Ei*(*ui*) і *Tj*(*uj*) відповідно,  δ=δ*ij*.

Функція належності точки об’єкту – функція, що залежить від параметрів розміщення об’єкту і координат точки. Ця функція позитивна, коли точка належить об’єкту, дорівнює нулю, коли точка знаходиться на границі об’єкта і негативна, коли точка не належить об’єкту.

Зауважимо, що функція  являє собою псевдонормалізовану phi-функцію для моделювання максимально допустимих відстаней між еліпсами, і  де *dist*(υ1, υ2) – евклідова відстань між точками υ1 і υ2

Слід визначити, що при моделюванні руху людей відсутня необхідність моделювання обмежень з точністю, що потрібна при розв’язанні задач розміщення, що виникають у промисловості. При великій вимірності задач значно зростають витрати обчислювальних ресурсів, що потрібні на їх розв’язання. Тому при моделювання руху людей в роботі пропонується використовувати деякі апроксимуючі процедури. Як приклад, наведемо наближений спосіб побудови умов неперетинання еліпса та прямокутника з урахуванням максимально-припустимих відстаней.

Нехай задано еліпс *Ei*(*ui*) з піввісями *ai*, *bi* та прямокутник *Tj*(*uj*), який задано вершинами  (*і*=1, 2, 3, 4) відповідно з параметрами розміщення *ui*, *uj*. Слід зазначити, що функція (2) потребує введення чотирьох допоміжних змінних. Побудуємо еліпс  з піввісями *ai*+δ, *bi*+δ, (рис. 2) (далі позначимо через δ максимально-допустиму відстань між *Ei*(*ui*) та *Tj*(*uj*). Доведено [6], що еліпс  являє собою зовнішню δ-апроксимацію еліпса *Ei*(*ui*).



































*а б в*

Рис. 2. Побудова наближених квазі-phi-функцій та phi-функції для моделювання обмежень на максимальну припустиму відстань для двох об’єктів: *а* – квазі-phi-функція залежить від додаткових змінних *tji*=(*xji*, *yji*); *б* – квазі-phi-функцій залежить від однієї додаткової змінної λ*ji*: *в* – phi-функція потребує введення чотирьох точок (восьми допоміжних змінних)

Тоді наближена квазі-phi-функця для моделювання максимально припустимих відстаней між об’єктами *Ei*(*ui*) і *Tj*(*uj*), що залежить від двох додаткових змінних, може бути сформульована у вигляді (рис. 2, *а*)

 (3)

де  – функція належності точки *tji* об’єкту ,  – функція належності точки *tj* об’єкту *Tj*(*uj*). Ця функція будується в припущенні, що прямокутник (вантаж) розміщуються до людини довшою із сторін.

Хай точка *tji* не є незалежною і обчислюється за формулою  (рис. 2, *б*). Тоді наближена квазі-phi-функця для моделювання максимально припустимих відстаней між об’єктами *Ei*(*ui*) і *Tj*(*uj*), що залежить від однієї додаткової змінної λji, може бути сформульована у вигляді

 (4)

при обмеженні 0≤λ*ji*≤1.

Слід відзначити, що функції (2)–(4) забезпечують тільки виконання обмежень на максимально припустимі відстані між парою об’єктів. Для виконання умов не перетинання необхідно використовувати відповідні квазі-phi-функції зі своїм набором допоміжних змінних, тобто функція (2) потребує введення чотирьох точок (рис. 2, *в*) або восьми допоміжних змінних.

Наближена phi-функція

 (5)

cлужить водночас описом умов неперетину об’єктів та обмежень на максимальні припустимі відстані. Обмеження на використання такої функції – габаритні розміри прямокутника мають бути меншими ніж габаритні розміри еліпса.

Таким чином, розширення аналітичного опису умов взаємодії об’єктів за рахунок урахуванням максимально-допустимих відстаней дозволяє розширити коло практичних задач, що розв’язується. Зокрема, з’явилася можливість моделювати переміщення людей з вантажем з максимальною відстанню між ними. Прикладами можуть слугувати рятувальники з засобами порятунку, люди з допоміжними засобами переміщення та з урахуванням їх розподілу по групам.

**5. 2. Побудува математичної моделі руху людей з вантажем за заданими обмеженнями**

Шлях руху ділиться на області Ω*m*, пронумеровані, відповідно, 1,2, …, *m* і обмежені роздільниками *A*1, *A*2, …, *Am*+1. Кожна область характеризується своїм законом формування основного напрямку руху. Розглянуто області з прямолінійним рухом. У цих областях переміщення з точки, яка аналізується, наводиться у вигляді вектора, що з'єднує дану точку з точкою на відповідному роздільнику (з урахуванням коефіцієнта гомотетії). Припустимо, що на *k*-ій ітерації (із заданим часовим інтервалом ∆*t*, наприклад, 1 с) в області евакуації *Ωm* знаходиться *Nk* людей з вантажем. Позначимо множину людей у вигляді множини *S*’={*E*1, *E*2, …, *Ei*, …, *ENk*}, а, відповідно, їх вантажі – *S*”={*T*1, *T*2, …, *Tj*, …, *TNk*}. Множину послідовних пар об’єктів (еліпсів та прямокутників) позначимо *H*={*H*1, *H*2, …, *Hi*, …, *HNk*}={*Ei*,*Tj*}2*Nk*. Об’єкт *Hi* представляється об’єднанням еліпса (горизонтальної проекції тіла людини) та прямокутника (вантажа). Еліпс задається розмірами півосей (*ai*, *bi*), має параметри розміщення *ui*=(*xi*, *yi*, θ*i*), *i*=1, 2, …, *Nk*, де (*xi*, *yi*)– координати розміщення початку локальної системи координат (поточної точка), θ*i* – кут повороту *i*-го еліпса *Ei*. Прямокутник *Tj* задається вершинами  (*і*=1, 2, 3, 4)відповідно з параметрами (*xj*, *yj*) та θ*i*. Розглядаються обмеження на габаритні розміри прямокутника, вони повинні бути меншими ніж габаритні розміри еліпса, та на максимально-допустимі відстані між еліпсом та прямокутником δ*ij*. Зазначимо також, що велика піввісь еліпса перпендикулярна до напрямку руху, а кут повороту θ*i* еліпса *Ei* визначається між перпендикуляром до великої півосі й вектором основного напрямку руху. Об'єкту *Ei* приписані також характеристики швидкості ν*ki* (у метрах за секунду) і маневреності *mki, mki*<1 (у метрах). Для кожної поточної точки з координатами *gi*(*xi*, *yi*) (координатами розміщення людини) визначається вектор швидкості  Вектор швидкості залежить від локальної швидкості потока і визначається згідно експериментальним даним [19]. Ця величина є середньостатистичною. Але кожна людина, виходячи із своїх фізичних даних, має свою швидкість руху, яка корегується коефіцієнтом стабільності швидкості *k*1*i*∈[0, 1]. Стабільність швидкості задає готовність індивіда тимчасово прискорюватися, тобто йти на “обгін” для займання кращої позиції для переміщення. Розглянемо маневреність кожної людини, тобто можливість відхилятися від основного напрямку руху. Середнє статистична маневреність також корегується для кожної людини коефіцієнтом маневреності *k*2*i*∈[0, 1]. Таким чином, кожний об'єкт *Hi* характеризується швидкістю  (в метрах в секунду) і маневреністю –*k*2*imi*≤*zi*≤*k*2*imi*, |*mi*|≤1 (в метрах). Тоді математична модель підзадачі на *k*-ій ітерації може бути сформульована у вигляді пошуку максимуму сукупного руху людей, що знаходяться в області евакуації [13], з урахуванням умов неперетнання складних об’єктів (та з урахування максимально-допустимих відстаней між людиною та вантажем), умов їх розміщення в області Ω*m*, коефіцієнтів стабільності швидкості і маневреності. Тобто необхідно найти:

 (6)



де



*n*=14*Nk*+5*Nk*(*2Nk*–1),

 (7)



 (8)





 (9)

;   (10)

 (11)







де ∆*ti* – відносний крок в часі руху *i*-ої людини;  – кут повороту еліпса в точці: квазі-*phi-*функції (8), які можуть бути описаними наближено у вигляді (3)–(5); (9) – умови взаємного не перетинання об’єктів можуть бути представленими виразом (1); (10) – умови розміщення в області Ω*m* описуються *phi-*функціями, що розглянуті в [13]; (11) – обмеження на інтервал часу та на манеиренність руху.

Задачі умовної оптимізації (6)–(11) відноситься до складу NP-складних. Область допустимих розв’язків *Wk* має складну структуру: це, взагалі кажучи, незв’язна множина, кожна компонента зв'язності якої є багатозв’язною.

**5. 3. Алгоритм пошуку локально-оптимального розв’язку задачі**

Згідно властивостей математичної моделі запропоновано алгоритм моделювання руху людей з вантажем з оптимізацією за групами змінних, до яких входять параметри розміщення людей.

Алгоритм:

Крок 1. Евакуаційна зона представлена у вигляді графа. Ребра – відрізки коридорів, вершини – перехрестя і точки "склеювання" відрізків (коридорів).

Крок 2. Для кожного сегмента евакуаційної зони визначається напрямок переважного руху.

Крок 3. В зоні евакуації формується сітка з досить дрібним кроком для визначення щільності потоку.

Крок 4. Люди, що представляються еліпсами, сортуються згідно збільшення відстані до виходу.

Крок 5. Для кожного з людей для координат положення центру та кута повороту визначаються швидкість переміщення, яка корегується згідно коефіцієнта стабільності швидкості.

Крок 6. Кут повороту кожного із об’єктів визначається згідно середньостатистичної маневреності індивіда та індивідуального коефіцієнта маневреності.

Крок 7. Визначається область допустимих розв’язків, яка описується умовами неперетину складних об’єктів (еліпса та прямокутника) з урахуванням максимально-допустимих відстаней між їх складовими таумовами їх розміщення в сегменті.

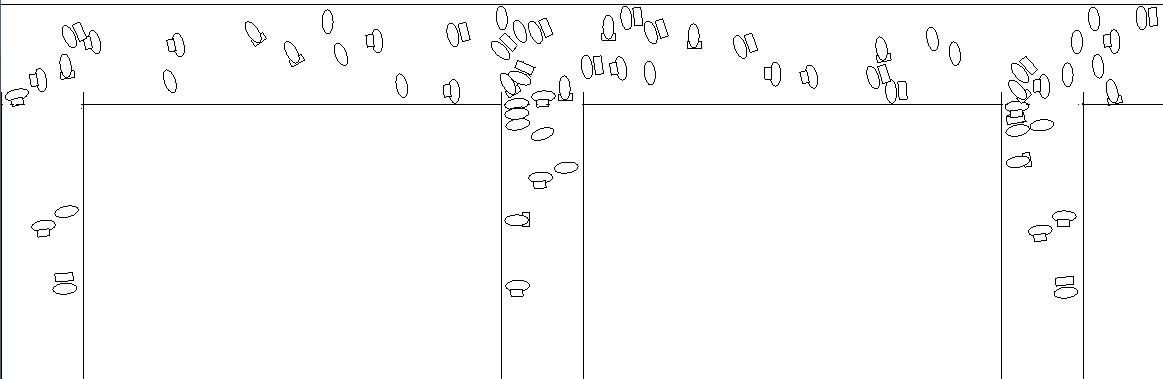
Крок 8. Обчислюються раціональні параметри розміщення складних об’єктів в області допустимих розв’язків, які дозволяють в обрану одиницю часу здійснювати максимальне сукупне переміщення людей з вантажем.

Як приклад, *з*дійснено комп’ютерне моделювання руху людей з вантажем за допомогою комплексу програм, що написаний мовою С++ у середовищі Visual C.

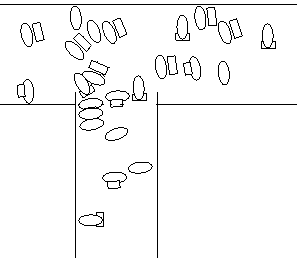
На рис. 3 представлено фрагмент евакуації людей по трьом коридорам із злиттям потоку людей в основному коридорі. Люди апроксимуються еліпсами, розміри яких задаються розмірами іх піввісей. Велика піввісь кожного еліпса перпендикулярна до основного напрямку руху. Можливі повороти еліпсів в рамках кутів маневреності.

Частина людей має вантаж, який знаходиться в "рюкзаках" і "валізах", що представляються прямокутниками, які задані довжиною та шириною. "Валізи" можуть частково перетинатися з еліпсами в районі плечей людини, так як знаходяться нижче. Частина людей переміщує вантаж за допомогою "сумок на коліщатках", при цьому сумки, що задаються прямокутниками, можуть віддалятися від людини на відстань "витянутої руки", яка задає максимально-допустимі відстані між людиною та "сумкою". При цьому "рюкзаки" і "сумки на коліщатках" можуть перетинатися, так як знаходяться на різній висоті.

Швидкість руху людей змінюється в залежності від зміни локальної швидкості потоку, Розглянуто випадок, коли середня швидкість переміщення людини з багажем збігається із середньою швидкістю переміщення без багажу (враховується тільки вплив геометричних обмежень).



*а*



*б*

Рис. 3. Фрагменти розміщення людей з вантажем в деякий фіксований час руху: *а* – при русі людей по трьох коридорах з виходом в основний; *б* – в околі другого коридору

Здійснено комп’ютерне моделювання руху потоку людей, які рухаються по чотирьох коридорам, в кожному з яких знаходиться по 28 чол., і вливаються в один (тестовий приклад з [19]). Час руху, коли люди переміщуються без вантажа, складає 98 с [13]. При наявності "сумок на коліщатках" у половини евакуйованих спостерігалось уповільнення близько на 6 %, а при рівномірному розподілу трьох видів вантажу – близько на 4 %.

**6. Обговорення результатів, отриманих реалізацією розроблених математичних моделей, і їх практичного використання**

В задачах геометричного проектування, зокрема при моделюванні руху гетерогенних потоків людей одним з ключових моментів є аналітичний опис умов їх взаємного не перетинання. В роботі модифіковано квазі-phi-функції для умов неперетинання еліпса та прямокутника (1) на базі яких побудована квазі-phi-функція для еліпса з прямокутником (рис. 1) з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними, це відповідно вирази (2) Вираз (2), який є розвитком квазі-phi-функції (1), є основою для побудови моделі моделювання руху людей з вантажем.

Слід визначити, що при моделюванні руху людей при великій вимірності задач, що виникають на практиці, відсутня необхідність в моделюванні обмежень з точністю, що потрібна при розв’язанні задач розміщення геометричних об’єктів. Тому для задач моделювання руху людей в роботі додатково пропонується використовувати деякі апроксимуючі процедури. Як приклад, в даній статті наведемо наближений спосіб побудови умов неперетинання еліпса та прямокутника з урахуванням максимально-припустимих відстаней (3), (4). Слід відзначити, що функції (2)–(4) забезпечують тільки виконання обмежень на максимально припустимі відстані між парою об’єктів. Для виконання умов не перетинання ці умови доповнюються наближеними умовами неперетину об’єктів (5).

Розроблений математичний апарат є обґрунтованою основою для побудови математичної моделі максимального переміщення людей з вантажем на кожному вибраному часовому інтервалі, вирази (6)–(11). Досліджені властивості моделі, основні з яких: задача умовної оптимізації (6)–(11) є NP-складною задачею нелінійного програмування. Область допустимих розв’язків задачі (8)–(11) має складну структуру: це, взагалі кажучи, незв’язна множина, кожна компонента зв'язності якої є багатозв’язною. Властивості моделі дозволили модифікувати алгоритм моделювання руху людей, що рухаються з вантажем, який є основою програмного забезпечення для моделювання їх руху.

Адекватність математичної моделі індивідуально-потокового руху людей, що представляються у вигляді еліпсів, показана в роботі [13]. Відхилення результатів комп’ютерного моделювання [13] від експериментальних даних [19] не перевищувала 5 %. Модель, що розглядається в даній роботі, розглядає додаткові обмеження на рух людей з вантажем, що не можуть віддалятися від людини (еліпса) на максимальну-допустиму відстань.

Для аналітичного опису цих обмежень, отримав розвиток апарат phi-функцій, зокрема квазі-phi-функцій, який показав свою ефективність та адекватність при рішенні багато чисельних прикладних оптимізаційних задач розміщення тривимірних тіл та двовимірних об’єктів (розкрою, упаковки та покриття) [3–17].

Досліджено вплив розміорів вантажа на час евакуаії. Розглядався приклад моделювання руху для 128 осіб. Середній час евакуаціі без вантажу близько півтора хвилин (98.253 секунди) для десяти запусків програми. Виявилося, що наявність вантажу: “рюкзаків” при ширині близько 40 см і “валіз” при ширині близько 50 см не зробили істотного впливу на швидкість евакуації (уповільнення менше 2 %). При наявності "сумок на коліщатках" у половини евакуйованих спостерігалось уповільнення близько 6 %, а при рівномірному розподілу трьох видів вантажу – близько 4 %. Таким чином, комп’ютерне моделювання руху людей з вантажем показало, що найбільший вплив на час евакуації надають переміщення в "вузьких місцях" "сумки на колесах" як через розміри, більші ніж у ручної поклажі, так і за умови врахування великої додаткової площі між людиною та сумкою.

В роботі розглядаються обмеження на кількість компонентів об’єктів переміщення, між якими зберігаються максимально-допустимі відстані (розглядається тільки два об’єкта: еліпс та прямокутник), що не є принциповим. Тому у якості подальших досліджень можуть розглядатися задачі моделювання руху людей, які можуть описуватися складними об’єктами з більшим числом компонент і які утворюють групи з урахуванням заданих максимально-допустимих відстанями між їх членами.

У якості подальших практичних застосувань, можно розглядати евакуацію людей з додатковими засобами переміщень з лікарень, будинків для пристарілих людей, переміщення роботів, тощо.

**7. Висновки**

1. Побудувана математична модель тіла людини з вантажем. Модель представляє собою об’єднання еліпса та прямокутника. Еліпс представляє собою апроксимацію тіла людини, адекватність такого подання для задач моделювання руху людей показана, як в попередніх роботах авторів, так і в експериментальних роботах інших дослідників. Вантаж представляється прямокутником. Форма вантажу не є принциповою для дослідження, математичний апарат опису умов не перетинання дозволяє розглядати об’єкти більш складної форми. В роботі отримані аналітичні вирази для пари об‘єктів (еліпса та прямокутника) з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними. Запропонований математичний апарат дозволяє розширити коло практичних задач, що розв’язується, як в класі задач евакуації, так і в теорії геометричного моделювання. З’явилася можливість моделювати переміщення людей з вантажем з максимально-допустимою відстанню між ними, (наприклад, рятувальником і засобами порятунку), так і без неї, людей з допоміжними засобами переміщення та з урахуванням їх розподілу по групам, тощо.

2. Побудувана математична модель руху людей з вантажем згідно заданим обмеженням. У якості обмежень виступають отримані аналітичні вирази для умов не перетинання об’єктів та коефіцієнти стабільності швидкості та маневреності. Швидкість руху визначається, як правило, в залежності від щільності потоку, яка отримується експериментально. Слід відзначити, що швидкість руху та маневреність корегується коефіцієнтами стабільності швидкості та маневреності. Ці коефіцієнти дозволяють враховувати індивідуальні можливості кожної людини на відміну від середньостатистичних даних. Перелічені обмеження формують область допустимих розв’язків задачі. Область допустимих розв’язків має складну структуру: це, взагалі кажучи, незв’язна множина, кожна компонента зв'язності якої є багатозв’язною, а задача відноситься до NP-складних задач нелінійного програмування.

3. Згідно властивостей математичної моделі модифіковано алгоритм моделювання руху потоку людей. Модифікація полягає у створенні нових алгоритмів не перетинання еліпса та прямокутника з урахуванням максимально-допустимих відстаней. На базі цих алгоритмів створено споіб послідовного переміщення людей з врахуванням коефіцієнтів стабільності швидкості та маневреності, що враховують індивідуальні характеристики людей. Адекватніть моделі показана шляхом порівняння результатів комп’ютерного моделювання переміщення еліпсів з експериментальними даними, які на теперішній час є в літературі (відхилення не перевищує 5 %). Для об’єктів, що розглянуто в роботі ефективність та адекватність математичного апарату взаємодії об’єктів доведена багато чисельними публікаціями по геометричному проектуванню, до якого відноситься, задача моделювання руху людей.

**Література**

1. Холщевников В.В. Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов // Пожаровзрывобезопасность, 2015. Т.24,№5. С.68–74.
2. Stoyan Y.G., Yakovlev S.V. Configuration space of geometric objects.Cybernetics and Systems Analysis. 2018.vol. 54, no. 5. P. 716–726.
3. Стоян Ю.Г. Основная задача геометрического проектирования. Х.: Ин-т проблем машиностроения АН УССР, 1983. 36 с. (Препринт / АН УССР.Ин-т проблем машиностроения; 181).
4. Рвачев В. Л. Теория R-функции и некоторые ее приложения: монография. Киев: Наук. думка, 1982. 552 с.
5. Стоян Ю. Г. Размещение геометрических объектов: монография. Киев: Наук. думка, 1975. 240 с.
6. Стоян Ю. Г., Гиль Н. И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов: монография. Киев: Наук. думка, 1976. 247 с.
7. Stoyan Yu.G. Ф-function and its basic properties // Доклады HAH Украины, 2001. Сер. A. №8. С. 112–117.
8. Stoyan Yu., Gil N., Romanova T., Scheithauer G. Phi-function for complex 2D object. // 40RQuarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies. 2004. Vol. 2(1). P.69–84.
9. Scheithauer G., Stoyan Yu. G., Romanova T. Yе. Mathematical modeling of interactions of primary geometric 3D objects. Cybernetics and Systems Analysis. 2005. Vol. 41. Iss. 3. P. 332–342.
10. Kallrath J., Rebennack S. Cutting Ellipses from Area-Minimizing Rectangles // Journal of Global Optimization, 2013. 59 (2–3).P. 405–437. Doi: 10.1007 / s10898-013-0125-3.
11. Субота I.O. Задача оптимальної упаковки еліпсів: математичні моделі і методі розв’язання: дисертаційна робота. Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України. 2015.
12. Stoyan Y., Romanova T., Pankratov A., Chugay A. Optimized object packings using quasi-phi-functions. Optimized Packings with Applications. Fasano G., Pintér J. (eds). Springer Optimization and Its Applications. Springer, Cham, 2015.Vol 105. P. 265–293.
13. Коmyak Va., КоmyakVl., Danilin A.A Study of ellipse packing in the high-dimensionality problems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 1/4(85). P. 17–23.
14. Pankratov, A., Komyak,Va., Kyazimov, K., Komyak, Vl., Naydish A.,Cocce A, Danilin O., Virchenko G., Martynov V. Development of models for the rational choice and accommodation of people in mobile technical vehicles when evacuating from buildings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. 4/4 (106). P. 29–36.
15. Valentina M. Komyak, Alexander N. Sobol, Alexander N. Danilin, Vladimir V. Komyak, Kyazim Takhir ogly Kyazimov. Optimization of Partitioning the Domain into Subdomains According to Given Limitation of Space // Journal of Automation and Information Sciences, New York: Begell, 2020. Vol.52. Issue 2. P. 13–26. 2020. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v52.i2.20
16. YakovlevS., KartashovO., KomyakV., ShekhovtsovS., SobolO., Yakovleva I. .Modeling and Simulation of Coverage Problem in Geometric Design Systems. 2019. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM).Polyana. Ukraine, 2019. P. 20–23.
17. Antoshkin O., Pankratov O. Construction of optimal wire sensor network for the area of complex shape // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 6. Nо. 4(84). P. 45–53.
18. Гиль Н.И., Суббота И.А. Квази-phi-функция для сегментов эллипсов // Системи обробки інформації, 2014. 8(124). С. 79–82.
19. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей на пожарах: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 210с.

**References**

1. Kholshchevnykov V.V. (2015) Sopostavlennya riznykh modeley rukhu lyudsʹkykh potokiv ta rezulʹtaty prohramno-vychyslylʹnykh kompleksiv // Pozharovzryvobezopasnostʹ.T.24, №5. S.68–74.

2. Stoyan YU.H., Yakovlyev S.V. (2018). Konfihuratsiynyy prostir heometrychnykh ob'yektiv. Kibernetyka ta systemnyy analiz. vol. 54, no. 5. S. 716–726.

3. Stoyan Yu.H. (1983). Osnovna zadacha heometrychnoho proektuvannya. KH .: Yn-t problem mashynostroenyya AN USSR, 36 s. (Preprynt / AN USSR. Yn-t problem mashynostroenyya; 181).

4. Rvachev V. L. (1982). Teoriya R-funktsiy ta deyaki yiyi dodatky: monohrafiya. Kyev: Nauk. dumka, 552 s.

5. Stoyan Yu. H. (1975). Razmeshchenye heometrycheskykh obʺektov: monohrafiya. Kyev: Nauk. dumka, 240 s.

6. Stoyan Yu. H., Hilʹ N. I. (1976). Metody ta alhorytmy rozmishchennya ploskykh heometrychnykh ob'yektiv: monohrafiya. Kyev: Nauk. dumka, 247 s.

7. Stoyan Yu.H. (2001). F-funktsiya ta yiyi osnovni vlastyvosti. Doklady HAH Ukrayny, Ser. A. №8. S. 112–117.

8. Stoyan Yu., Hil N., Romanova T., Sheytauer H. (2004). Fi-funktsiya dlya skladnoho 2D-ob'yekta. 40RQuarterly Journal Belʹhiysʹkoho, Frantsuzʹkoho ta Italiysʹkoho doslidnytsʹkykh tovarystv. Vyp. 2 (1). S.69–84.

9. Sheytkhauer H., Stoyan Yu. H., Romanova T. Ye. (2005). Matematychne modelyuvannya vzayemodiy pervynnykh heometrychnykh 3D-obʺyektiv. Kibernetyka ta systemnyy analiz. Vyp. 41. Vyp. 3. S. 332–342.

10. Kalrat Dzh., Rebennak S. (2013). Vyrizannya elipsiv iz pryamokutnykiv, shcho minimizuyutʹ ploshchi. Zhurnal hlobalʹnoyi optymizatsiyi, 59 (2–3). S. 405–437. Doi: 10.1007 / s10898-013-0125-3.

11. Subota I.O. (2015). Zadacha optymalʹnoyi upakovky elipsiv: matematychni modeli ta metody rozvʺyazuvannya: dysertatsiyna robota. Instytut problem mashynobuduvannya im. A.M. Pidhornoho NAN Ukrayiny.

12. Stoyan Yu., Romanova T., Pankratov A., Chuhay A. (2015). Optymizovani upakovky obʺyektiv z vykorystannyam kvazi-fi-funktsiy. Optymizovani upakovky z dodatkamy. Fazano H., Pinter ZH. (red.). Optymizatsiya Springer ta yiyi zastosuvannya. Sprinher, Cham, T. 105. S. 265–293.

13. Komyak V., Komyak V.L., Danilin A.A. (2017). Doslidzhennya upakovky elipsiv u zadachakh vysokoyi rozmirnosti. Skhidno-yevropeysʹkyy zhurnal korporatyvnykh tekhnolohiy. 1/4 (85). S. 17–23.

14. Pankratov, A., Komyak, Va., Kyazimov, K., Komyak, Vl., Naydysh A., Kokche A, Danilin O., Virchenko H., Martynov V. (2020). Rozrobka modeley dlya ratsionalʹnoho vyboru ta rozmishchennya lyudy v mobilʹnykh tekhnichnykh transportnykh zasobakh pry evakuatsiyi z budivel ʹ.Skhidno-yevropeysʹkyy zhurnal korporatyvnykh tekhnolohiy. 4/4 (106). S. 29–36.

15. Valentyna Mykhaylivna Komyak, Oleksandr Mykolayovych Sobol, Oleksandr Mykolayovych Danilin, Volodymyr Vasylʹovych Komyak, Kyazym Takhir ohlyy Kyazimov. (2020). Optymizatsiya rozpodilu domenu na piddomeny vidpovidno do zadanoho obmezhennya prostoru. Journal of Automation and Information Sciences, New York: Begell, Vol.52. Vypusk 2. S. 13–26. DOI: 10.1615 / JAutomatInfScien.v52.i2.20

16. YakovlyevS., KartashovO., KomyakV., ShekhovtsovS., Sobol O., Yakovlyeva I.. (2019). Modelyuvannya ta modelyuvannya problemy pokryttya v systemakh heometrychnoho proektuvannya. IEEE 15-a mizhnarodna konferentsiya z dosvidu proektuvannya ta zastosuvannya SAPR (CADSM). Polyana. Ukrayina, S. 20–23.

17. Antoshkin O., Pankratov O.(2016). Pobudova optymalʹnoyi drotyanoyi sensornoyi merezhi dlya zony skladnoyi formy. Skhidno-yevropeysʹkyy zhurnal korporatyvnykh tekhnolohiy. Vyp. 6. Ni. 4 (84). S. 45–53.

18. Hylʹ N.Y., Subbota Y.A. (2014). Kvazy-fi-funktsiya dlya sehmentiv elipsiv. Systemy obrobky informatsiyi, 8 (124). S. 79–82.

19. Kholshchevnykov V.V., Samoshyn D.A. (2009). Évakuatsyya y povedenye lyudey na pozharakh: uchebnoe posobye. M.: Akademyya HPS MCHS Rossyy, 210s.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Oleksiy Antoshkin  PhD  Department of Automated Security Systems and Information Technologies  National University of Civil Defence of Ukraine  Chernishevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  Е-mail: [antoshkin@nuczu.edu.ua](mailto:antoshkin@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2481-2030>  Contact tel.: (067) 309-48-22  Number of articles in national database – 36  Number of articles in international databases – 1 | Антошкін Олексій Анатоліович  Кандидат технічних наук  Кафедра «Автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій»  Національний університет цивільного захисту України  вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  Е-mail: [antoshkin@nuczu.edu.ua](mailto:antoshkin@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2481-2030>  Контактний тел.: (067) 309-48-22  Кількість статей в загальнодержавних базах даних – 36  Кількість статей в міжнародних базах даних – 1 | Антошкин Алексей Анатольевич  Кандидат технических наук  Кафедра «Автоматических систем безопасности и информационных технологий»  Национальный университет гражданской защиты Украины  ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023  Е-mail: [antoshkin@nuczu.edu.ua](mailto:antoshkin@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2481-2030>  Контактный тел.: (067) 309-48-22  Количество статей в общегосударственных базах данных – 36  Количество статей в международных базах данных – 1 |
| Iurii Mishcheriakov  PhD  Department of Systems Engeneering  Kharkiv National University of Radioelectronics  Nauky ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166  Е-mail: iurii.mishcheriakov@nure.ua  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5334-1808>  Contact tel.: +38050-401-51-61  The number of articles in national databases – 28  The number of articles in international databases – 4 | Міщеряков Юрій Валентинович  Кандидат технічних наук  Кафедра системотехніки  Харківський Національний Університет Радіоелектроніки  пр. Науки, 14, г. Харків, Україна, 61166  Е-mail: iurii.mishcheriakov@nure.ua  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5334-1808>  Контактний тел.: +38050-401-51-61  Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 28  Кількість статей у міжнародних базах даних – 4 | Мищеряков Юрий Валентинович  Кандидат технических наук  Кафедра системотехники  Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники  пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166  Е-mail: iurii.mishcheriakov@nure.ua  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5334-1808>  Контактный тел.: +38050-401-51-61  Количество статей в общегосударственных базах данных – 28  Количество статей в международных базах данных – 4 |
| Vladimir Komyak  PhD  Department of Management and Organization of Activities in the Field of Civil Protection  National University of Civil Defence of Ukraine  Chernyshevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61046  Е-mail: v[vkomyak@ukr.net](mailto:vkomyak@ukr.net), [post@nuczu.edu.ua](mailto:post@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/orcid.org/0000-0002-6009-5908>  Contact tel.: 067-570-65-85  The number of articles in national databases – 36  The number of articles in international databases – 12 | Комяк Володимир Володимирович  Кандидат технічних наук  Кафедра управління та організації діяльності в сфері цивільного захисту  Національний університет цивільного захисту України  вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61046  Е-mail: v[vkomyak@ukr.net](mailto:vkomyak@ukr.net), [post@nuczu.edu.ua](mailto:post@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6009-5908>  Контактний тел.: 067-570-65-85  Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 36  Кількість статей у міжнародних базах даних – 12 | Комяк Владимир Владимирович  Кандидат технических наук  Кафедра управления и организации деятельности в сфере гражданской защиты  Национальный университет гражданской защиты Украины  ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61046  Е-mail: v[vkomyak@ukr.net](mailto:vkomyak@ukr.net), [post@nuczu.edu.ua](mailto:post@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6009-5908>  Контактный тел.: 067-570-65-85  Количество статей в общегосударственных базах данных – 36  Количество статей в международных базах данных – 12 |
| Valentina Komyak  Doctor of Technical Sciences, Professor  Department of Physics and Mathematics  National University of Civil Defence of Ukraine  Chernyshevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61046  Е-mail: [vkomyak@ukr.net](mailto:vkomyak@ukr.net), [post@nuczu.edu.ua](mailto:post@nuczu.edu.ua)  ORCID: http://orcid.org/ orcid.org/0000-0002-9840-2635  Contact tel.: 067-57-898-80  The number of articles in national databases – 66  The number of articles in international databases – 24  ResearchGate - <https://www.researchgate.net/account.ProfileSettings.html> | Комяк Валентина Михайлівна  Доктор технічних наук, професор  Кафедра фізико-математичних дисциплін  Національний університет цивільного захисту України  вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61046  Е-mail: [vkomyak@ukr.net](mailto:vkomyak@ukr.net), [post@nuczu.edu.ua](mailto:post@nuczu.edu.ua)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9840-2635>  Контактный тел.: 067-57-898-80  Кількість статей у загальнодержавнихбазах даних – 66  Кількість статей у міжнародних базах даних – 24  Профіль ResearchGate - <https://www.researchgate.net/account.ProfileSettings.html> | Комяк Валентина Михайловна  Доктор технических наук, профессор  Кафедра физико-математических дисциплин  Национальный университет гражданской защиты Украины  ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61046  Е-mail: [vkomyak@ukr.net](mailto:vkomyak@ukr.net), [post@nuczu.edu.ua](mailto:post@nuczu.edu.ua)  ORCID: http:// orcid.org/0000-0002-9840-2635  Контактный тел.: 067-57-898-80  Количество статей в общегосударственных базах данных – 66  Количество статей в международных базах данных – 24  Профиль ResearchGate - <https://www.researchgate.net/account.ProfileSettings.html> |
| Kyazim Kyazimov Tahir oglu  PhD  Department of Specialized Fire Safety Disciplines  Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan,  Elman Gasimov str., 8, Baku, Azerbaijan, AZ1089  Е-mail: [kazim.kazimov@fhn.gov.az](mailto:kazim.kazimov@fhn.gov.az)  ORCID: http: //orcid.org/0000-0003-0790-9770  Contact tel.: 0-11-994-55-828-41-91  The number of articles in national databases – 16  The number of articles in international databases – 5 | Кязімов Кязім Тахір огли  Кандидат технічних наук  Кафедра спеціалізованих дисциплін пожежної безпеки  Академія МНС Азербайджанської Республіки  Вул. Ельмана Гасимова, 8, Баку, Азербайджан, AZ1089.  Е-mail: [kazim.kazimov@fhn.gov.az](mailto:kazim.kazimov@fhn.gov.az)  ORCID: http: //orcid.org/0000-0003-0790-9770  Контактний тел.: 0-11-994-55-828-41-91  Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 16  Кількість статей у міжнародних базах даних – 5 | Кязимов Кязим Тахир оглы  Кандидат технических наук  Кафедра специализированных дисциплин пожарной безопасности  Академия МЧС Азербайджанской Республики  Ул. Эльмана Гасымова, 8, Баку, Азербайджан, AZ1089.  Е-mail: [kazim.kazimov@fhn.gov.az](mailto:kazim.kazimov@fhn.gov.az)  ORCID: http: //orcid.org/0000-0003-0790-9770  Контактный тел.: 0-11-994-55-828-41-91  Количество статей в общегосударственных базах данных – 16  Количество статей в международных базах данных – 5 |
| Alexander Pankratov  Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher  Department of Mathematical Modeling and Optimal Design  Institute of Mechanical Engineering A.N. Podgorny NAS of Ukraine  Pozharsky str., 2/10, Kharkiv, Ukraine, 61046  Е-mail: [pankratov2001@yahoo.com](mailto:pankratov2001@yahoo.com)  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2958-8923>  Contact tel.: 067-681-95-10  The number of articles in national databases – 116  The number of articles in international databases – 24 | Панкратов Олександр Вікторович  Доктор технічних наук, старший науковий співробітник  Відділ математичного моделювання та оптимального проектування  Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України  вул. Дм. Пожарського, 2/10, м.Харків, Україна, 61046  Е-mail: [pankratov2001@yahoo.com](mailto:pankratov2001@yahoo.com)  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2958-8923>  Контактний тел :067-681-95-10  Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 116  Кількість статей у міжнародних базах даних – 24 | Панкратов Александр Викторович  Доктор технических наук, старший научный сотрудник  Отдел математического моделирования и оптимального проектирования  Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  ул. Дм. Пожарского, 2/10,г.Харьков, Украина, 61046  Е-mail: [pankratov2001@yahoo.com](mailto:pankratov2001@yahoo.com)  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2958-8923>  Контактный тел.: 067-681-95-10  Количество статей в общегосударственных базах данных – 116  Количество статей в международных базах данных – 24 |
| OlexandrTarasenko  Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher  National University of Civil Defence of Ukraine  Chernichevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  E-mail: tarasenko.alexandr68@gmail.com  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1313-1072>  Contact tel.: 0675736287  The number of articles in national database - 52  The number of articles in international database – 3 | Тарасенко Олександр Андрійович  Доктор технічних наук, старший науковий співробітник  Кафедра фізико-математичних дисциплін  Національний університет цивільного захисту України  вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  E-mail: tarasenko.alexandr68@gmail.com  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1313-1072>  Контактний телефон: 0675736287  Кількість статей в загальнодержавних базах даних -52  Кількість статей в міжнародних базах даних - 3 | Тарасенко Александр  Андреевич  Доктор технических наук, старший научный сотрудник  Кафедра физико-математических дисциплин  Национальный университет гражданской защиты Украины  ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023  E-mail: tarasenko.alexandr68@gmail.com  ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1313-1072>  Контактный телефон: 0675736287  Количество статей в общегосударственных базах данных - 52  Количество статей в международных базах данных - 3 |
| Mykhailo Dolhodush  PhD  Department for Planning, Analytical and Documentary Security of the Head Directorate of the DSNS of Ukraine near the Kharkiv Region  Shevchenko str., 8, Kharkiv, Ukraine, 61013  Е-mail: [main@kh.dsns.gov.ua](mailto:main@kh.dsns.gov.ua), [mishad254254@gmail.com](mailto:mishad254254@gmail.com)  ORCID: http:// orcid.org/0000-0003-4940-1430  Contact tel.: 098-21-02-500, 095-570-37-01  The number of articles in the national database: 12  The number of articles in international databases – 0 | Долгодуш Михайло Миколайович  Кандидат технічних наук  Відділ планування, аналітичного та документального забезпечення Головного управління ДСНС України у Харківській області  вул. Шевченко, 8, м. Харків, Україна, 61013  Е-mail: [main@kh.dsns.gov.ua](mailto:main@kh.dsns.gov.ua), [mishad254254@gmail.com](mailto:mishad254254@gmail.com)  ORCID: http:// orcid.org/0000-0003-4940-1430  Контактний тел.: 098-21-02-500, 095-570-37-01  Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 12  Кількість статей у міжнародних базах даних – 0 | Долгодуш Михаил Николаевич  Кандидат технических наук  Отдел планирования, аналитического и документального обеспечения Главного управления ДСНС Украины в Харьковской области  ул. Шевченко, 8, г. Харьков, Украина, 61013  Е-mail: [main@kh.dsns.gov.ua](mailto:main@kh.dsns.gov.ua), [mishad254254@gmail.com](mailto:mishad254254@gmail.com)  ORCID: http:// orcid.org/0000-0003-4940-1430  Контактный тел.: 098-21-02-500, 095-570-37-01  Количество статей в общегосударственных базах данных – 12  Количество статей в международных базах данных – 0 |

Комяк Валентина Михайловна

Отделение Новой почты №23 (г. Харьков, ул. Ак.Павлова, 134/16.)

тел.: 067-578-98-80

*Гребеннік Ігор Валерійович*

*Професор, доктор технічних наук, завідуючий кафедрою*

*Системотехніки*

*Національний університет радіоелектроніки*

*Просп..Науки,14, м. Харків, Україна, 61166*

*Е-mail: info@nure.ua*

*Контактнийтел.:067-92-261-36*

*Путятін Валерій Петрович*

*Професор, доктор технічних наук, професор кафедри*

*Кібернетики*

*Харківськийнаціональнийтехнічнийуніверситетсільськогогосподарстваімені Петра Василенка*

*Вул.Алчевських,44, м.Харків, Україна, 61002*

*Е-mail: info@Khntusg.cjv.ua*

*Контактний тел.:097-08-376-63*