

УДК 515.2:519.85

## УМОВИ НЕПЕРЕТИНАННЯ ЕЛІПСІВ З УРАХУВАННЯМ МАКСИМАЛЬНО-ДОПУСТИМИХ ВІДСТАНЕЙ

Комяк В.М., д.т.н.

vkomyak@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9840-2635

Данілін О.М., к.т.н.

post@nuczu.edu.ua, dan7887@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4474-7179

Соболь О.М., д.т.н.

alexander\_sobol@i.i.ua, ORCID: 0000-0001-7409-6031

Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)

Кязімов К.Т., к.т.н.

kazim.kazimov@fln.gov.az, ORCID: 0000-0003-0790-9770

Академія Міністерства по Надзвичайним подіям Азербайджанської  
Республіки (м. Баку, Азербайджан)

*Інформатизація сучасного суспільства, невід'ємною частиною якого є Україна, та повсюдне використання комп'ютерів призвели до значного поштовху в розвитку математичного моделювання. Цей розвиток сприяє створенню моделей, геометричні властивості яких дозволяють розробляти методи моделювання розміщення, переміщення об'єктів будь-якої природи за заданими обмеженнями. Однією із актуальних проблем є розробка науково обґрунтованих планів евакуації людей, головними компонентами яких є програми моделювання руху людського потоку. Тому актуальною задачею є розробка моделей та методів для моделювання руху людських потоків, для яких виникає необхідність в розробки програм, які б адекватно відображали реальні процеси їх руху.*

*Задача моделювання руху людей в кожний дискретний момент часу являє собою конфігурацію розміщення об'єктів. У розглянутій в даній статті прикладній проблемі об'єктом розміщення (переміщення) є людина. У літературі показано, що при вільній категорії руху найбільш адекватною моделлю проєкції людського тіла на горизонтальну площину є еліпс. Слід відзначити, що для задачі моделювання руху людей характерним є наявність обмежень розміщення, основними з яких є умови неперетинання, та додаткові обмеження, серед яких можна визначити орієнтацію об'єктів, обмеження маневреності та комфортності руху тощо.*

*На практиці часто виникає задача моделювання руху людей групами, прикладами яких можуть слугувати члени сім'ї або рятувальники одного підрозділу. Відстань між людьми кожної з груп не повинна перевищувати максимально-допустиму. Врахування максимально-допустимих відстаней між об'єктами дозволяє об'єднувати їх в підгрупи, а задані максимальні відстані між підгрупами дозволяє об'єднувати їх в групи. Тому*

актуальною задачею є моделювання умов взаємодії об'єктів з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними. В роботі формалізовані перелічені обмеження на взаємодію об'єктів. Для аналітичного опису умов неперетинання об'єктів, зокрема еліпсів, модифіковано апарат квазі- $\rho$ -функцій для еліпсів з дотриманням максимально-допустимих відстаней між ними.

*Ключові слова:* математичне моделювання, моделювання руху людей, умови не перетинання еліпсів, максимально-допустимі відстані

**Постановка проблеми.** На даний момент жодна галузь людської діяльності не обходиться без постійного і повсюдного використання обчислювальної техніки. Для опису і розв'язання багатьох задач проектування, планування, розміщення, класифікації, управління створено та успішно застосовується математичне моделювання, яке є одним з активно досліджуваних напрямків. Однією із актуальних проблем є розробка науково обґрунтованих планів евакуації людей, головними компонентами яких є програми моделювання руху людського потоку. Тому актуальною задачею є розробка моделей та методів для моделювання руху людських потоків, і на їх базі програм, які б адекватно відображали реальні процеси їх руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема створення обґрунтованих планів евакуації людей з будівель поставила завдання розробки пакетів програм моделювання руху людських потоків. На цей час найпоширенішим програмним продуктом є CITIS: «Flowtek ID» для спрощеної аналітичної і імітаційно-стохастичної моделі [1] та «Evatek» для індивідуально-поточної моделі руху потоку людей [2]. В спрощеній аналітичній (CA) моделі люди розглядаються не індивідуально, а у вигляді однієї групи. CA дозволяє знаходити час евакуації, але при цьому безпосередньо рух людей не моделюється. Імітаційно-стохастична модель SIMA.CA розглядає людину індивідуально. Модель заснована на кінтичних автоматах. Час і простір в них дискретний. Напрямок руху людей (частинки) для кожної частини в кожний дискретний крок часу вибирається за допомогою перехідних ймовірностей та правил переходу. При обранні напрямку руху враховується щільність часток і близькість стін та областей заборони. Але процеси переформування і розтікання людських потоків не розглядаються.

В індивідуально-поточній моделі «Evatek» швидкість руху людини залежить від щільності потоку, яка розраховується для кожної людини індивідуально. Але значення, отримані за програмою «Evatek» часів проходження останньою людиною різних ділянок шляхів евакуації, лежать в межах певної межі їх допустимих значень.

Серед зарубіжних моделей та програмних продуктів, що мають численні експлуатаційні можливості та методи відео презентації, слід відзначити роботи [3–8]. Але результати аналізу цих робіт, що проведені в