

УДК 614.841+004

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.169.181>

Олександр ХЛЕВНОЙ, кандидат технічних наук (ORCID: 0000-0003-2846-3480),

Юлія КОРДУНОВА (ORCID: 0000-0003-0151-8285),

Діана РАЙТА (ORCID: 0000-0001-7002-7725),

Андрій ГАВРИСЬ, кандидат технічних наук (ORCID: 0000-0003-2527-7906),

Віктор КОВАЛЬЧУК, кандидат наук з державного управління
(ORCID: 0000-0003-0043-4936),

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЕВАКУАЦІЇ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ ЗА СПРОЩЕНОЮ АНАЛІТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ

Виконано аналітичний огляд сучасних програмних комплексів для розрахунку тривалості евакуації людей з будинків та споруд під час пожежі, встановлено їх переваги та недоліки. З'ясовано, що в Україні робота щодо створення таких програмних продуктів не здійснюється. Такий стан справ свідчить про актуальність цієї роботи.

Досліджено моделі та методи програмної реалізації розрахунку тривалості евакуації під час пожежі з будівель та споруд. За основу для розрахунків взято спрощену математичну модель. Для цієї моделі розроблено алгоритм розрахунку тривалості евакуації під час пожежі. Враховано можливості руху агентів горизонтальними ділянками, сходами, крізь дверні прорізи.

На платформі Java FX створено програму для розрахунку тривалості евакуацію. Роботу програми перевірено на конкретному прикладі. Отримані результати порівняно із аналогічними результатами, отриманими за допомогою потужного програмного комплексу Fenix +.

Ключові слова: пожежа, евакуація, моделювання, спрощена аналітична модель, алгоритм, Java FX.

Постановка проблеми. В умовах активного розвитку будівельної галузі актуальним завданням є створення вітчизняних програмних продуктів для розрахунку тривалості евакуації з будівель під час пожежі. В Україні на сьогодні відсутні ліцензовані програмно-моделюючі комплекси вітчизняного виробництва.

На ринку присутні різноманітні програми іноземного походження [1-5], які мають високу вартість. При цьому методики розрахунку тривалості евакуації, закладені в цих програмах, не завжди відповідають моделям, регламентованих законодавством України. Це свідчить про те, що створення вітчизняних програмних комплексів для розрахунку тривалості евакуації з будівель і споруд є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Нормування вимог до евакуаційних шляхів і виходів в Україні регламентовано різними документами. Наприклад, [6] регулює вимоги до безпечної евакуації людей через евакуаційні шляхи і виходи на об'єктах. У [7] передбачено регулювання пожежної безпеки на об'єктах громадського призначення. Основними вимогами ДБН є забезпечення безпечних об'ємно-планувальних рішень у будівлях і спорудах, які мають відношення до влаштування евакуаційних шляхів, виходів, проходів та коридорів (наприклад, ширина проходів, сходових площадок та прогонів, дверних прорізів, відстань до виходів тощо).

Будівельними нормами [8] регламентовано необхідність внесення до проектної документації на будівництво звіту про розрахунок евакуації при пожежі (це документ, в якому здійснено розрахунок евакуації та зазначено безпечний час евакуації до настання небезпечних факторів пожежі з візуальним відображенням шляхів безпечної евакуації на планах приміщень об'єкту розрахунку). В [9] передбачені вимоги пожежної безпеки до приміщень, в яких можуть знаходитись маломобільні групи населення. Документ має ряд специфічних вимог до евакуаційних шляхів та маршрутів на інклюзивних об'єктах. У [10] цей державний стандарт регламентує основні моделі для розрахунку часу евакуації під час пожежі: спрощену аналітичну модель, індивідуально-потоківу та імітаційно-стохастичну.

Питання розрахунку тривалості евакуації при пожежі в Україні досліджувалися різними науковцями [11, 12]. При цьому кількість робіт, присвячених розробці вітчизняних програмних комплексів для моделювання процесів евакуації та розрахунку їх тривалості, досить незначна [13]. В роботах [14, 15] розглянуто підходи та заходи з розробки планів евакуації на всіх рівнях, що може бути використано в подальших дослідженнях.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є дослідження існуючих моделей та інструментів для розрахунку часу евакуації в умовах пожежі, створення та програмна реалізація алгоритму відповідно до спрощеної аналітичної моделі руху потоків. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

– Провести аналіз функціональних можливостей сучасних комп'ютерних програм для розрахунку тривалості евакуації людей з будівель та споруд в умовах пожежі.

– Дослідити наявні та обрати оптимальні засоби для програмної реалізації зазначеного вище розрахунку.

– Виконати проектування алгоритму розрахунку за спрощеною аналітичною моделлю руху евакуаційних потоків.

– Створити комп'ютерну програму на основі запропонованого алгоритму.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

Виходячи із методики розрахунку за вказаною моделлю [10], побудуємо загальний алгоритм роботи нашого додатка (рисунок 1).

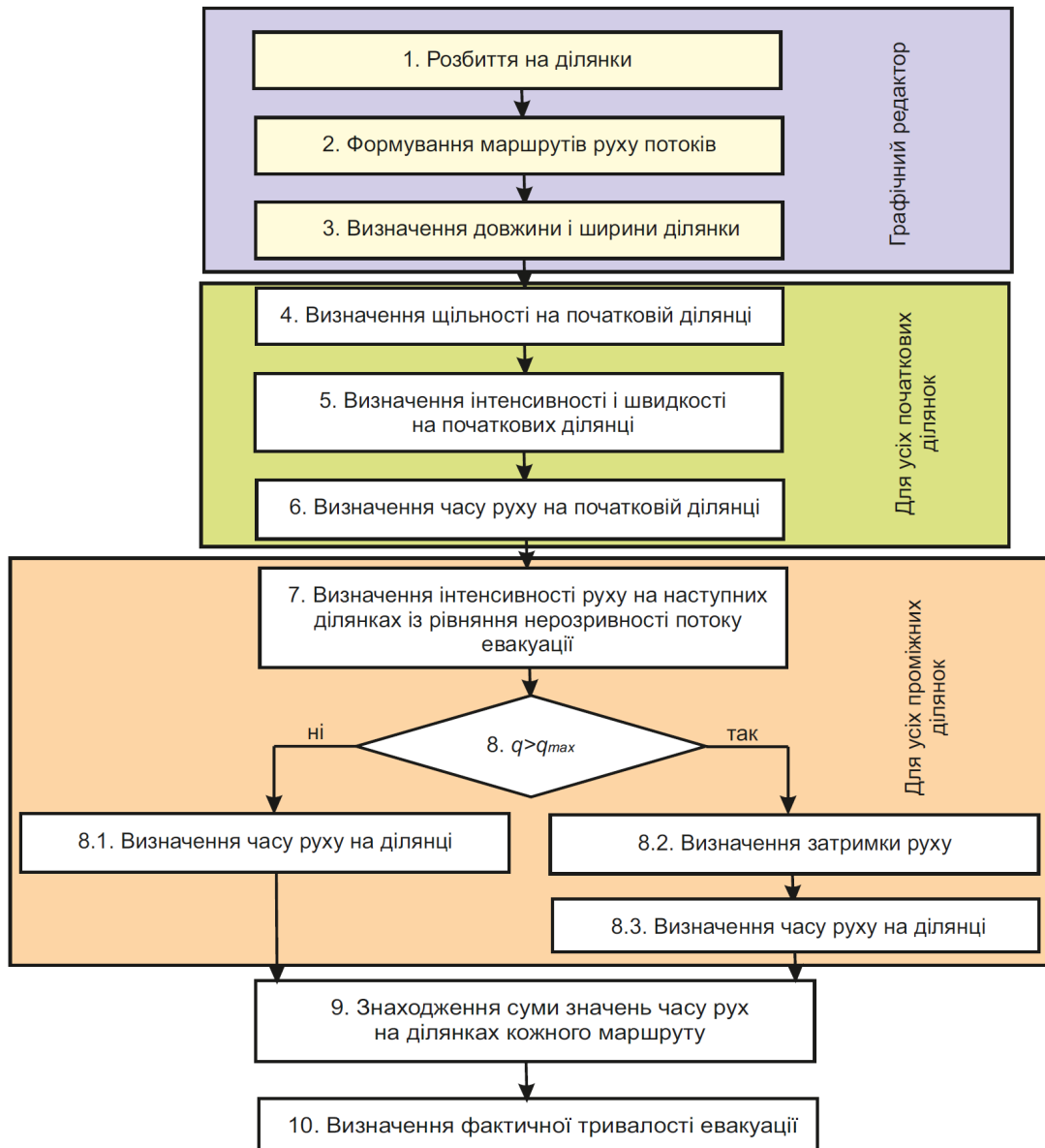


Рисунок 1. Загальний алгоритм програмного додатка

Як показує рисунок 1, процес розрахунку складається з 10 кроків, які можна розділити на 4 етапи.

Перший етап передбачає побудову загальної схеми евакуації із зазначенням початкових точок для кожного потоку. Весь шлях евакуації на схемі ділиться на відрізки, на яких шляхи мають сталу ширину і кількість учасників. Початки і кінці кожного відрізка нумеруються і позначаються відповідними точками.

В якості прикладу побудуємо розрахункову схему евакуації із приміщень деканату Навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (ННЦЗ ЛДУ БЖД) (рис. 2). Початками евакуації для всіх потоків є лекційні аудиторії (точки 1 і 34), кабінети начальника інституту (точка 16), заступника начальника інституту (25), працівників деканату (19) тощо. Кінцевими точками евакуації з поверху є вихід у сходову клітку (точка 39) та на горище (точка 12).

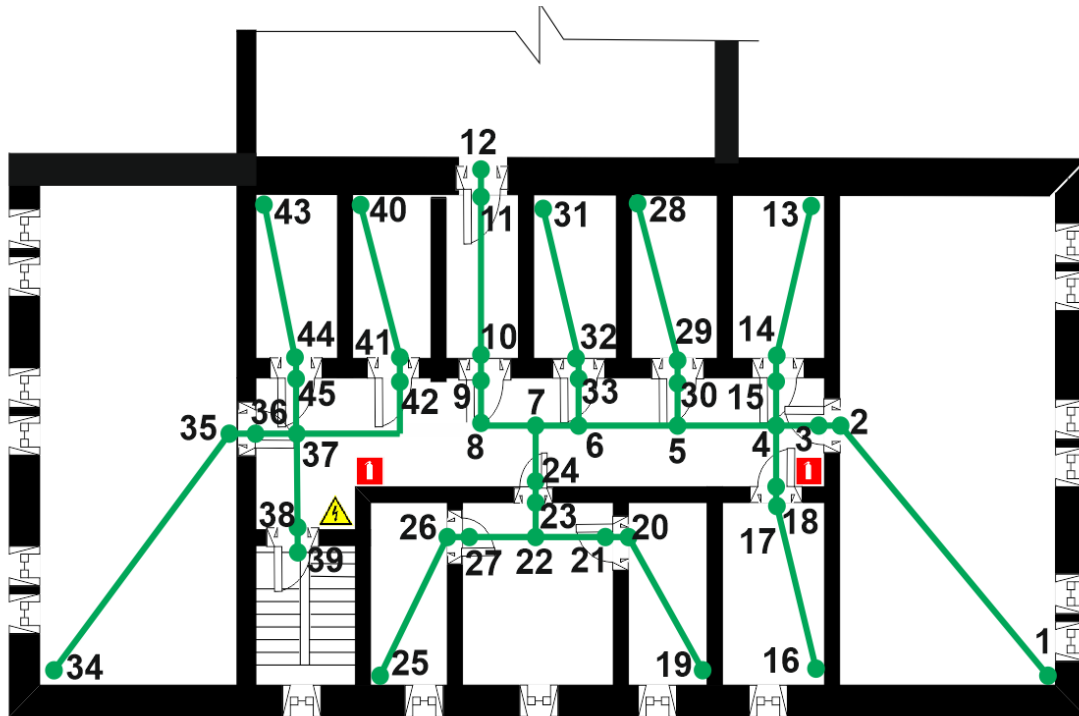


Рисунок 2. Розрахункова схема евакуації із деканату ННЦЗ ЛДУ БЖД

На другому етапі, виходячи із кількості людей у приміщеннях (початкових точках евакуації) та ширини евакуаційних виходів, визначаються значення щільності (кількість людей на одиницю площі). Ці дані необхідні для подальшого визначення інтенсивності руху.

На третьому етапі для кожної початкової точки потоку визначається тривалість руху від початкової до кінцевої точки маршруту, включаючи всі можливі злиття, проходи через дверні прорізи та зміни ширини ділянок.

На четвертому етапі після визначення тривалостей руху кожного потоку обирається найбільше значення. Це значення і буде загальною тривалістю евакуації з поверху. Детальніше роботу алгоритму опишемо далі.

Враховуючи математичний апарат для розрахунку, наведений у [10], побудуємо детальний алгоритм [16] (рисунок 3-6).

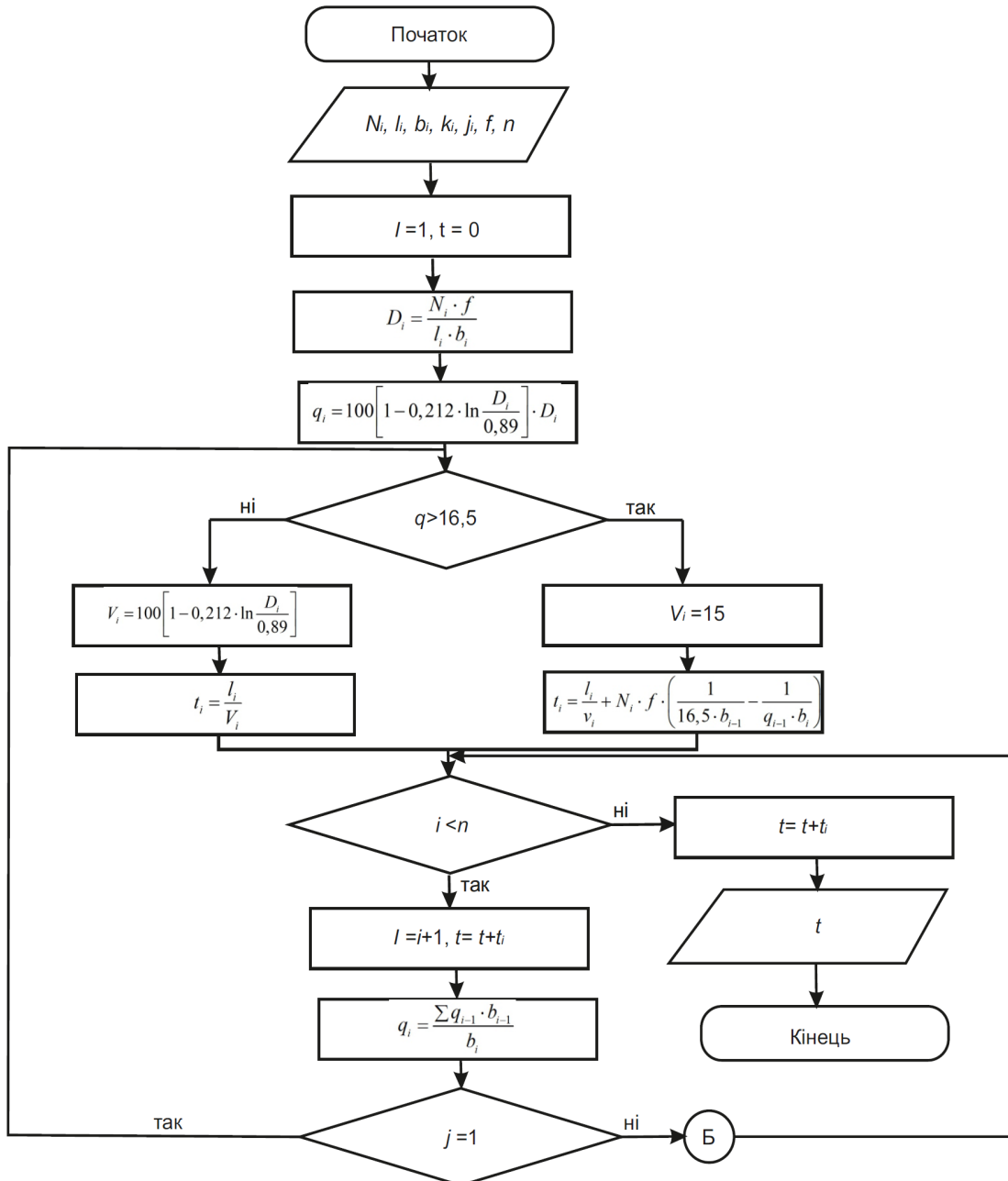


Рисунок 3 – Детальний алгоритм розрахунку

Деталізуємо блок Б алгоритму, наведеного на рисунку 3 (рисунок 4).

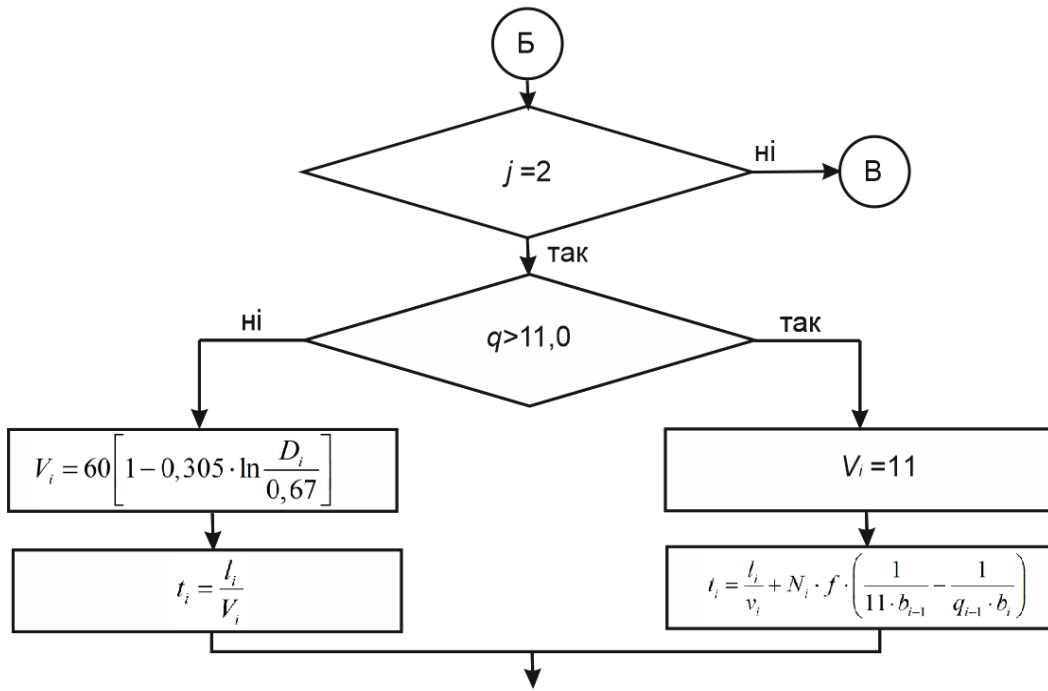


Рисунок 4 – Блок Б (розрахунок тривалості руху сходами вгору)

Деталізуємо блок В алгоритму, наведеного на рисунку 4 (рисунок 5).

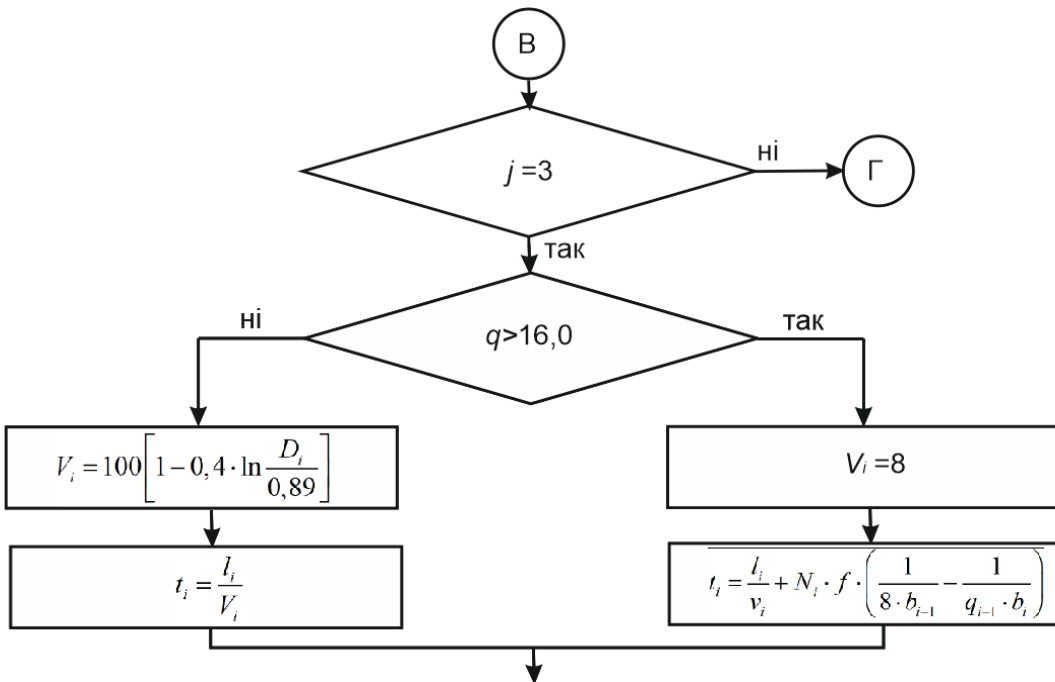


Рисунок 5 – Блок В (розрахунок тривалості руху сходами вниз)

Деталізуємо блок Г алгоритму, наведеного на рисунку 5 (рисунок 6).

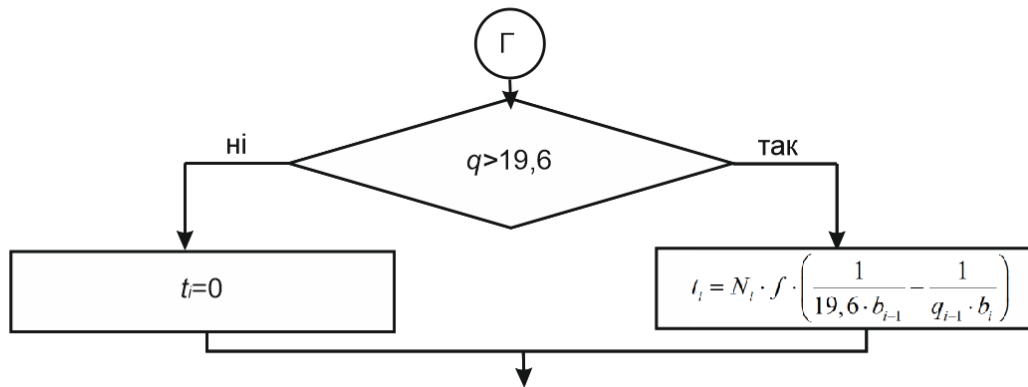


Рисунок 6 – Блок Г (розрахунок тривалості руху через дверні прорізи)

Щоб реалізувати запроєктований алгоритм необхідно обрати мову програмування, яка б дозволила це зробити максимально зручно. На основі аналізу можливостей різних мов програмування було обрано Java FX [17].

JavaFX ідеально підходить для створення додатків з графічним інтерфейсом, які вимагають складних функцій, таких як плавна анімація, відтворення аудіо та відео. Це можливо завдяки використанню апаратного прискорення графіки та можливостей GPU. Для розробки графічного інтерфейсу використовується JavaFX Scene Builder, який є ключовим інструментом розробки для платформи JavaFX. Використання Scene Builder дозволяє швидко створювати графічні інтерфейси для додатків JavaFX без необхідності в написанні коду. Після створення макету інтерфейсу, відповідний код на мові FXML генерується автоматично [18].

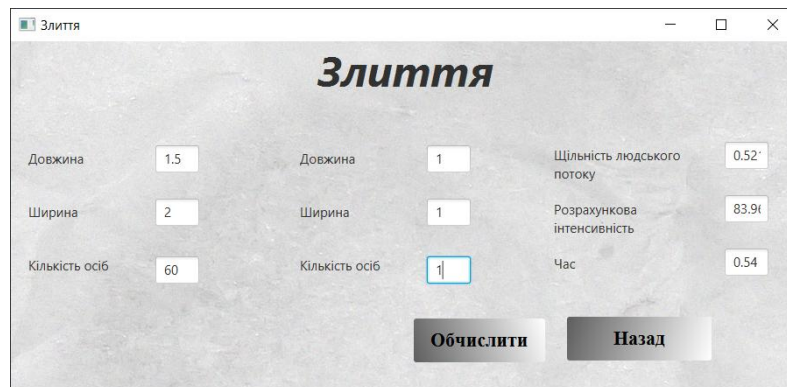
Реалізація запропонованого алгоритму передбачала наявність 3 вікон, а отже 3 fxml-файлів (із навами, відповідно, new.fxml, merge.fxml та result.fxml). Логіка fxml-файлів була реалізована за допомогою 3 контролерів (Controller.java, Merge.java, Result.java). Також було використано клас Main.java, який забезпечив запуск програмного додатку та стилі CSS, які дали змогу наповнити візуал.

Елементи графічного інтерфейсу було зв'язано в програмному середовищі SceneBuilder [17]. В результаті робоче вікно програми має вигляд, представлений на на рисунку 7.



Рисунок 7 – Зовнішній вигляд робочого вікна додатка

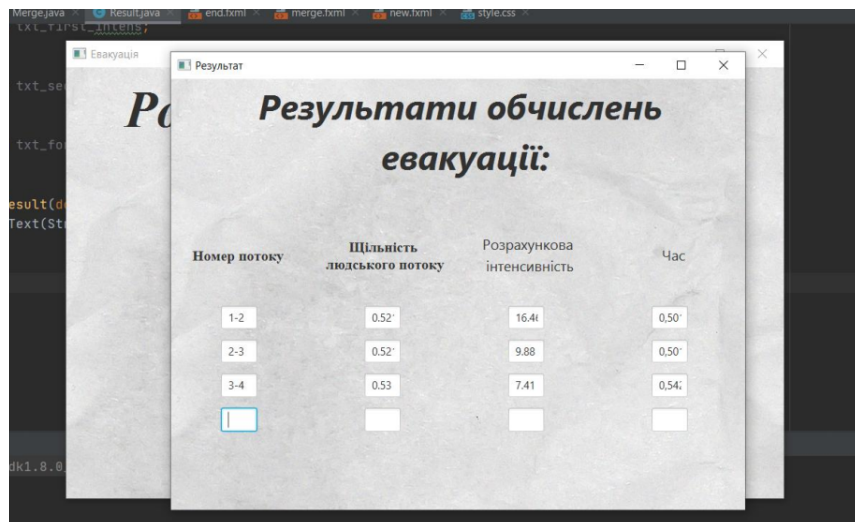
Вікно для розрахунку злиття потоків наведено на рисунку 8. У цьому вікні здійснюється розрахунок ділянки за умови, якщо на ній зливаються 2 або більше потоків.



Параметр	Значення
Довжина	1.5
Довжина	1
Щільність людського потоку	0.52
Ширина	2
Ширина	1
Розрахункова інтенсивність	83.9
Кількість осіб	60
Кількість осіб	1
Час	0.54

Рисунок 8. Вікно для виконання команди «Злиття»

На рисунку 9 представлено вікно, яке виводить кінцеві результати розрахунку.



Номер потоку	Щільність людського потоку	Розрахункова інтенсивність	Час
1-2	0.52	16.4	0.50
2-3	0.52	9.88	0.50
3-4	0.53	7.41	0.54

Рисунок 9. Результати роботи програми

Програма для розрахунку евакуації працює таким чином: спочатку необхідно створити розрахункову схему, а потім послідовно вводити дані кожної ділянки у робоче вікно та натискати кнопку «Обчислити». Якщо ділянка зливається з іншими ділянками, можна обрати команду «Злиття» та задати параметри всіх ділянок, що зливаються. Якщо маршрут досягає останньої ділянки, необхідно вибрати команду «Результат», щоб побачити загальну тривалість руху потоку на екрані. Результат може бути завантажений у вигляді таблиці.

З метою перевірки ефективності та точності створеного нами додатка для розрахунку часу евакуації в надзвичайних ситуаціях було обрано реальний об'єкт – деканат навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Для цього об'єкта було виконано розрахунок за допомогою розробленої програми (таблиця 1) та порівняно результати з аналогічним

розрахунком, виконаним за допомогою програмно-моделюючого комплексу Simulex [5]. Розрахункова схема для евакуації була створена та наведена на рисунку 10.

Таблиця 1. Розрахунок тривалості евакуації з будівлі

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кількість осіб	Площа гориз. проекції людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці	Час затримки	Сумарний час руху ділянки
1	2	16	0,9	1	60	0,125	0,521	31,96	16,46	16,46	0,501		0,501
2	3	0	1,5	2	60	0,125		75,00	9,88	9,88	0,000		0,501
3	4	1,5	2	1	60	0,125		83,96	7,41	7,41	0,018		0,519
4	5	2	2	1	62	0,125		83,96	7,41	7,41	0,024		0,542
5	6	0,95	1	1	63	0,125		44,38	14,81	14,81	0,021		0,564
6	7	0	0,9	2	64	0,125		47,17	16,46	16,46	0,000		0,564
7	8	0,8	1	1	68	0,125		44,38	14,81	14,81	0,018		0,582
8	9	2,06	1	1	69	0,125		15,00	14,81	14,81	0,137		0,719
9	10	0	1	2	69	0,125		44,38	14,81	14,81	0,000		0,719
10	11	0,87	0,9	1	70	0,125		33,58	16,46	16,46	0,026		0,745
11	12	0	1,5	2	70	0,125		70,63	9,88	9,88	0,00		0,745

В наведеній таблиці було прийнято такі типи ділянок: 1 – горизонтальна ділянка; 2 – дверний проріз.

Розрахунок виконано для евакуації 70 осіб. Як видно з таблиці 3.1, загальна тривалість складала 0,745 хв або 44 секунди.

Отже, сумарна тривалість евакуації становить 0,745 хв = 44 с.

На наступному етапі було виконано розрахунок із застосуванням програмного комплексу Simulex.

Перш за все, було створено 3D-модель приміщень із дотриманням усіх розмірів (рисунок 10).

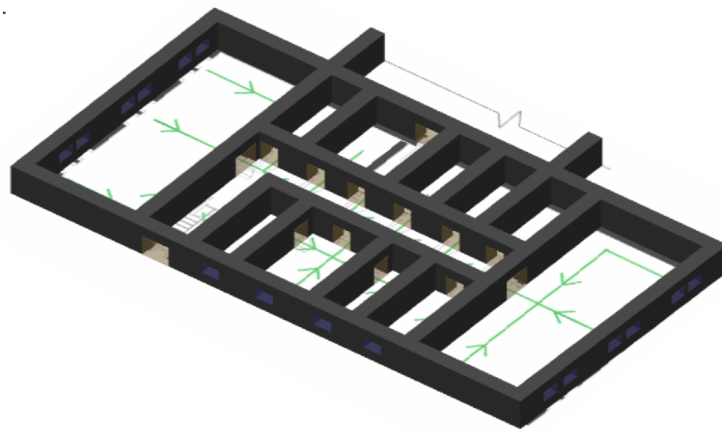


Рисунок 10. 3D-модель приміщень для розрахунку

У створену модель було додано агентів в кількості 70 осіб. Розташування агентів у приміщеннях наведено на рисунку 11.

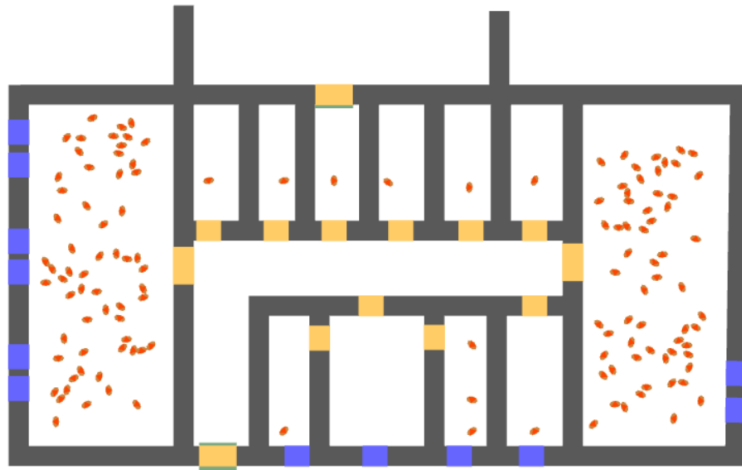


Рисунок 11 – Додавання агентів у модель евакуації

Після цього було запущено процес моделювання евакуації. Після завершення процесу було отримано загальну тривалість та визначено маршрути руху агентів, а також теплові карти щільності, які показали місця найбільших скупчень та затримок (рисунок 12).

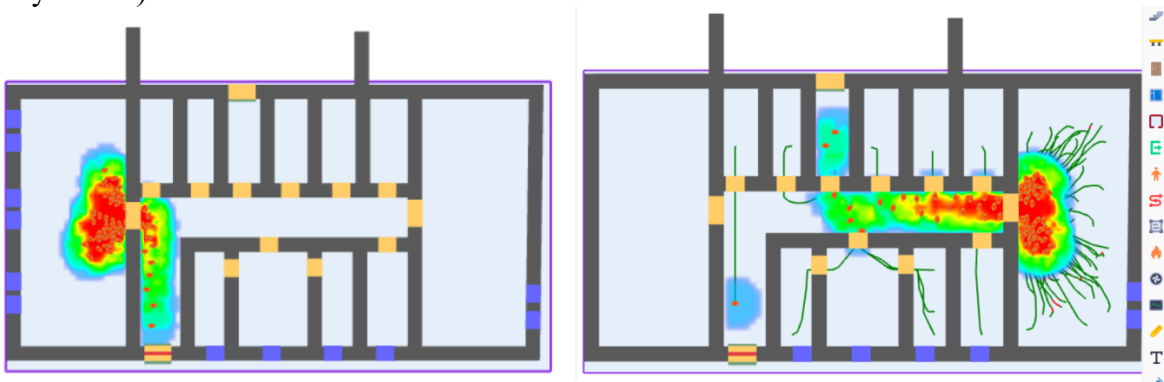


Рисунок 12 – Результати моделювання процесу евакуації

За результатами моделювання сумарна тривалість евакуації з приміщень становила 40,4 с.

Порівняння результатів, отриманих розробленою програмою та сертифікованим у кількох країнах Європейського Союзу програмним комплексом Simulex показало відхилення, що не перевищує 10%. Це свідчить про задовільну точність роботи розробленої нами програми.

Висновки. Для досягнення поставленої мети було проведено детальний аналіз сучасних програмних комплексів, які використовуються для розрахунку часу евакуації людей з будівель та споруд під час пожежі. У цьому аналізі було виявлено переваги та недоліки таких програмних засобів. Окрім того, було досліджено наявний стан розробки подібних продуктів в Україні та з'ясовано, що відсутні законодавчо закріплені норми щодо ліцензування таких програм. Таке дослідження показує актуальність цієї теми.

Крім того, у роботі розглянуто моделі та методи програмної реалізації розрахунку часу евакуації з будівель та споруд під час пожежі. Було використано спрощену математичну модель, для якої було розроблено алгоритм розрахунку часу

евакуації. Враховано різні можливості руху людей, такі як рух горизонтальними ділянками, за допомогою сходів та крізь дверні прорізи.

Було створено програму для розрахунку тривалості евакуації, використовуючи розроблений алгоритм на платформі Java FX. Результати роботи програми перевірено на практиці, порівнявши їх із результатами, отриманими від програмного комплексу Simulex. Розбіжність між результатами склала менше 10%, що свідчить про високу ефективність розробленого алгоритму та програми.

Недоліком розробленого додатка є складність роботи із об'єктами зі складними об'ємно-планувальними рішеннями,

Отримані результати можуть бути використані в майбутньому при створенні програмних комплексів вітчизняного виробництва для розрахунку тривалості евакуації під час пожежі, а також при розробці програмних рішень для працівників органів і підрозділів цивільного захисту, зокрема чат-ботів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. EVACNET 4 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.iklimnet.com/hotelfires/fire_egress_software_10.html
2. FDS+Evac Miscellaneous Examples [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/examples_fds6.html
3. TraffGo [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: www.traffgoht.com/en/pedestrians/products/pedgo/index.
4. PYROSIM [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://pyrosim.ru/raschet-vremeni-ehvakuacii-lyudej>
5. SIMULEX [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: www.iesve.com/Software/VE-Pro/Simulex.
6. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 46 с.
7. ДБН В.2.2-9:2018 Громадські будинки і споруди. Основні положення [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2019. 47 с.
8. ДБНА.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво [Чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ, 2014. 44 с.
9. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 68 с.
10. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с.
11. Ніжник В., Тесленко О., Цимбалістий С., Кравченко Н. Щодо розрахунку часу евакуації дітей з шкільних і дошкільних закладів у разі пожежі. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. Київ, 2016. № 1 (1). С. 81-87.
12. Хлевной О. В. Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Львів, 2021. – 188 с.
13. Тесленко О. М., Цимбалістий С. З., Кравченко Н. В., Доценко О. Г., Крикун О. М. Аналіз існуючих програмних комплексів для розрахунку часу евакуації людей під час пожежі. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. Київ, 2019. № 1 (1). С. 33-39.
14. Гаврись А. П., Лаврівський М. З., Тарнавський А. Б. Влаштування планів евакуації – складова забезпечення цивільної безпеки об'єктів промислового та житлового сектору. Міжнародний науковий журнал «Грааль науки». – Відень. – Червень, 2021. – №6. – с.93-98.

15. Гаврись А. П., Хлевной О. В. Software-based method of determining the necessary population evacuation zone in case of a chemical accident. Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». – Черкаси. – 2022. – 6 (2). – с. 116-128.

16. Коротеєва Т. О. Алгоритми та структури даних: навчальний посібник, 2014, 280 с.

17. Основи програмування (Python, Java) : лабораторний практикум / Смотри О., Придатко О., Малець І. – Львів : ЛДУ БЖД, 2019. – 134 с.

18. Придатко О., Хлевной О., Бурак Н. Основи програмування (мовою Java) : курс лекцій. Львів : ЛДУ БЖД, 2019, 180 с.

REFERENCES

1. EVACNET 4 [Elektron. resurs]. – Access: http://www.iklimnet.com/hotelfires/fire_egress_software_10.html
2. FDS+Evac Miscellaneous Examples [Elektron. resurs]. – Access: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/examples_fds6.html
3. TraffGo [Elektron. resurs]. – Access: www.traffgoht.com/en/pedestrians/products/pedgo/index.
4. PYROSIM [Elektron. resurs]. – Access: <https://pyrosim.ru/raschet-vremeni-ehvakuacii-lyudej>
5. SIMULEX [Elektron. resurs]. – Access: www.iesve.com/Software/VE-Pro/Simulex.
6. DBN V.1.1.7-2016 Fire safety of construction sites. General requirements [Valid from 2017-01-01]. Kyiv, 2017. 46 p.
7. DBN V.2.2-9:2018 Public buildings and structures. Substantive provisions [Valid from 2019-01-01]. Kyiv, 2019. 47 p.
8. DBNA.2.2-3:2014 Composition and content of project documentation for construction [Valid from 2014-10-01]. Kyiv, 2014. 44 p.
9. DBN V.2.2-40:2018 Inclusiveness of buildings and structures [Valid from 2018-01-01]. Kyiv, 2018. 68 p.
10. DSTU 8828:2019. Fire Security. Terms. [Valid from 2020-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2018. 163 p.
11. Nizhnyk V., Teslenko O., Tsymbalistyy S., Kravchenko N. Regarding the calculation of the evacuation time of children from school and preschool institutions in case of fire. Scientific bulletin: Civil defense and fire safety. Kyiv, 2016. № 1 (1). pp. 81-87.
12. Khlevnoi O.V. Standardization of fire safety requirements for evacuation routes and exits in secondary education institutions with inclusive education:: PhD diploma: 21.06.02 / L'viv, 2021. – 188p.
13. Teslenko O.M., Tsymbalistyy S.Z., Kravchenko N.V., Dotsenko O.H., Krykun O.M. Analysis of existing software complexes for calculating the time of evacuation of people during a fire. Scientific bulletin: Civil defense and fire safety. Kyiv, 2019. № 1 (1). pp. 33-39.
14. Havrys A.P. Lavrivskiy M.Z., Tarnavskiy A.B. Arrangement of evacuation plans is a component of ensuring civil safety of industrial and residential sector facilities. International scientific journal "Grail of Science". - Vienna. - June, 2021. – №6. – pp.93-98.
15. Havrys A.P., Khlevnoi O.V. Software-based method of determining the necessary population evacuation zone in case of a chemical accident. Collection of scientific works of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National

University of Civil Defense of Ukraine "Emergency situations: prevention and elimination". - Cherkasy. – 2022. – 6 (2). – pp. 116-128.

16. Korotyeyeva T. O. Algorithms and Data Structures: A Study Guide, 2014, 280 pp.

17. Basics of programming (Python, Java): laboratory practice / Smotr O., Prydatko O., Malets' I. – Lviv : LDU BZHD, 2019. – 134 p.

18. Prydatko O., Khlevnoy O., Burak N. Basics of programming (in Java): a course of lectures. Lviv : LSU LS, 2019, 180 pp.

Oleksandr KHLEVNOI, PhD (ORCID: 0000-0003-2846-3480),

Yuliia KORDUNOVA (ORCID: 0000-0003-0151-8285),

Diana RAITA (ORCID: 0000-0001-7002-7725),

Andriy HAVRYS, PhD (ORCID: 0000-0003-2527-7906),

Viktor KOVALCHUK, PhD, (ORCID: 0000-0003-0043-4936),

Lviv State University of Life Safety

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR CALCULATING EMERGENCY EVACUATION DURATION ACCORDING TO A SIMPLIFIED ANALYTICAL MODEL

The object of research – models and methods of algorithmization and software implementation of the evacuation duration calculation during a fire.

The purpose of the work is to study the existing models and means of calculating the duration of evacuation in case of fire, to develop an algorithm for calculating the duration of evacuation according to a simplified analytical model and software implementation of the algorithm.

An analytical review of modern software packages for calculating the duration of evacuation of people from buildings and structures during a fire, their advantages and disadvantages has been held. It has been found that there is no work in Ukraine to create such software products. This state of affairs testifies to the urgency of this work.

Models and methods of algorithmization and software implementation of the evacuation duration calculation during a fire have been investigated. The simplified mathematical model has been taken as a basis for calculations. An algorithm for calculating the duration of evacuation during a fire has been developed for this model. The possibilities of movement of agents in horizontal sections, stairs, through doorways have been taken into account.

The program on the Java FX platform for calculating the duration of the evacuation has been developed. The work of the program has been tested on a specific example. The results are comparable to similar results obtained with the known software package Simulex.

The obtained results can be used in the future for domestically produced software complexes development., as well as for the development of software solutions for employees of civil defense agencies and units, in particular chatbots.

Key words: *fire, evacuation, simulation, simplified analytical model, algorithm, Java FX.*