

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності



ХЛЕВНОЙ ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ

УДК 614.841.2

**НОРМУВАННЯ ВИМОГ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ДО ЕВАКУАЦІЙНИХ
ШЛЯХІВ І ВИХОДІВ У ЗАКЛАДАХ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З
ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ**

21.06.02 – пожежна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Ковалишин Василь Васильович,
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності,
завідувач кафедри ліквідації наслідків
надзвичайних ситуацій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Ніжник Вадим Васильович,
Інститут державного управління та наукових
досліджень з цивільного захисту,
начальник науково-дослідного центру протипожежного
захисту;

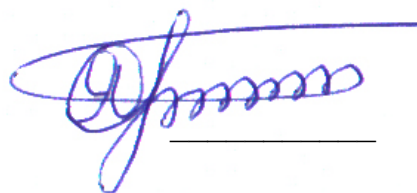
кандидат технічних наук, доцент
Фірман Володимир Михайлович
Львівський національний університет імені Івана
Франка,
доцент кафедри безпеки життєдіяльності.

Захист відбудеться „14” травня 2021 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

Автореферат розісланий „14” квітня 2021 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд. техн. наук



Роман ЯКОВЧУК

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За 2015-2020 роки кількість інклюзивних класів в закладах шкільної освіти України збільшилася майже у 7 разів. При цьому показник інклюзії досі залишається дуже низьким у порівнянні з аналогічними показниками країн ЄС, що свідчить про збереження тенденції до активного розвитку в майбутньому. Для нашої держави інклюзивна освіта є інноваційним явищем, тому при її впровадженні виникає немало проблем. Однією із найсуттєвіших є низький рівень заходів із забезпечення пожежної безпеки. При цьому ризик травматизму під час пожежі в учнів з особливими освітніми потребами є значно вищим, ніж у інших учасників навчального процесу. Відтак, дослідження питань пожежної безпеки в закладах освіти з інклюзивними групами, є актуальним завданням.

Дослідженням евакуації дітей різного віку з будівель закладів освіти займалися А. І. Милінський, В. М. Предтеченський, М. А. Єремченко, В. В. Холщевніков, Д. О. Самошин, О. П. Парфененко, С. В. Слюсарев, S. Tanaka, A. Dederichs, A. R. Larusdottir, D. Bruck, M. Horasan, A. F. Van Bogaert, Y. Murozaki, K. Ohnishi, S. Gamache, J. A. Capote, R. Ono та інші. Основну увагу в більшості досліджень приділено дослідженню параметрів руху гомогенних та гетерогенних евакуаційних потоків, що складаються із учнів групи мобільності М1. Ті ж дослідження, у яких розглядалися параметри евакуації дітей з особливими освітніми потребами, проводилися або в спеціалізованих закладах для постійного або тимчасового перебування дітей з обмеженими можливостями (інтернатах), або в громадських закладах з масовим перебуванням людей, де їх частка у кількісній та віковій структурі суттєво відрізнялася від характеристик закладів освіти з інклюзивним навчанням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій Львівського державного університету безпеки життєдіяльності відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 N 844-р "Про схвалення Стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року" та під час виконання науково-дослідної роботи за держбюджетною темою «Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів в закладах середньої освіти з інклюзивними групами» (номер державної реєстрації 0121U100106), у якій дисертант був відповідальним виконавцем.

Ідея роботи полягає у нормуванні вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням шляхом встановлення закономірностей руху людських потоків, що складаються з дітей різних груп мобільності.

Мета роботи – розкриття особливостей впливу чинників на тривалість евакуації під час пожежі дітей різних груп мобільності як наукового підґрунтя підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети визначено до розв'язання наступні завдання досліджень:

– здійснити аналіз сучасного стану розвитку інклюзивної освіти в Україні та за кордоном, виявити проблеми нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів та виходів в закладах шкільної освіти з інклюзивним навчанням та шляхи їх вирішення;

– виконати аналіз сучасних методів встановлення взаємозв'язків між параметрами руху людських потоків і можливості їх застосування в закладах шкільної освіти з інклюзивним навчанням;

– провести експериментальні дослідження у навчальних приміщеннях закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням з метою встановлення впливу кількісного складу представників різних груп мобільності на тривалість початкового етапу евакуації під час пожежі;

– провести натурні спостереження в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням з метою встановлення залежностей швидкості та інтенсивності руху учнів різного віку і груп мобільності від щільності потоку;

– провести математичне та комп'ютерне моделювання евакуації із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням із використанням даних, отриманих за результатами натурних спостережень;

– розробити комплекс організаційно технічних заходів, спрямованих на оптимізацію процесу евакуації під час пожежі з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Об'єкт досліджень – процес евакуації під час пожежі змішаних потоків дітей різних груп мобільності із будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Предмет досліджень – вплив чинників на тривалість евакуації під час пожежі дітей різних груп мобільності із будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Методи досліджень. В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань дослідження процесів евакуації дітей та підлітків різних груп мобільності із будівель різного призначення; методи натурних спостережень за рухом людських потоків для формування статистичної бази даних емпіричних досліджень, методи математичної статистики для опрацювання результатів натурних спостережень та для оцінки ефективності запропонованих організаційно-технічних заходів, спрощений аналітичний, індивідуально-потоковий та імітаційно-стохастичний методи розрахунку часу евакуації із будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу чинників на тривалість евакуації під час пожежі дітей різних груп мобільності як наукового підґрунтя підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням, при цьому

уперше:

– встановлено вплив кількісного складу представників різних груп мобільності на тривалість початкового етапу евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням;

– виведено залежності середнього значення швидкості вільного руху потоку учнів V_{0j} і коефіцієнта впливу щільності людського потоку a_j від відсоткового складу учасників руху груп мобільності М4 та М3 для різних ділянок евакуаційних шляхів;

– визначено кореляційні залежності площі горизонтальної проекції учнів закладів шкільної освіти з інклюзивним навчанням від віку;

набуло подальшого розвитку:

– застосування спрощеної аналітичної, індивідуально-потокової та імітаційно-стохастичної моделей руху людських потоків для розрахунку часу евакуації із будівель закладів шкільної освіти з інклюзивним навчанням;

– використання ігрових форм навчання як засобу зменшення тривалості початкового етапу евакуації з навчальних приміщень закладів шкільної освіти.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні методології розрахунку індивідуального пожежного ризику та тривалості евакуації під час пожежі для будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням шляхом використання отриманих залежностей швидкості та інтенсивності руху учнів різного віку та різних груп мобільності від щільності потоку, використанні запропонованих ігрових методів навчання та критеріїв оцінювання ефективності проведення початкового етапу евакуації в процесі викладання предмету «Основи безпеки життєдіяльності» в низці закладів середньої освіти; використанні отриманих результатів під час викладання навчальних дисциплін «Пожежна профілактика в населених пунктах» у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, про що складено відповідні акти.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літературних джерел, формулюванні мети і завдань досліджень, обґрунтуванні методології та виборі методик, проведенні експериментів та натурних спостережень, їх плануванні із застосуванням математичного і комп'ютерного моделювання, а також формулюванні висновків. Особистий внесок у наукових працях, опублікованих за співавторства, відображено в авторефераті та анотації дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на 17-й Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (м. Київ, Україна, 2015 р.); на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки» (м. Харків, Україна, 2015 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (м. Львів, Україна, 2016 р.); на 21 Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах» (м. Київ, Україна 2019 р.), IV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, студентів і курсантів «Інформаційна безпека та інформаційні технології» (м. Львів, Україна, 2020 р.), Регіональній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення» (м. Львів, Україна, 2020 р.)

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 7 наукових працях, з них – 5 статей у фахових виданнях України та 2 статті у міжнародних наукових виданнях. Результати досліджень представлено у тезах 6 доповідей на науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 109 найменувань на 12 стор., 3 додатків на 41 стор. Основна частина дисертації займає 114 стор. та містить 47 рисунків і 29 таблиць. Загальний обсяг роботи – 188 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та важливість дослідження процесів евакуації під час пожежі з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням, сформульовано ідею, мету і визначено завдання досліджень, відображено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та публікування основних результатів дослідження.

У **першому розділі** наведено результати аналізу даних про сучасний стан розвитку інклюзивної освіти в Україні, статистику пожеж у закладах шкільної освіти, зокрема у школах з інклюзивним навчанням в світі та Україні, нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах освіти з інклюзивним навчанням, моделювання руху людських потоків під час евакуації із закладів шкільної освіти.

На основі наукових праць вітчизняних та зарубіжних вчених, встановлено, що розвиток інклюзивного навчання в закладах освіти України відбувається надзвичайно стрімко: за останні 5 років кількість інклюзивних класів збільшилася у 7 разів. При цьому показник інклюзії досі залишається дуже низьким у порівнянні з аналогічними показниками країн ЄС (близько 20%), що свідчить про збереження тенденції до активного розвитку в майбутньому.

1 січня 2020 року набув чинності ДСТУ 8828-2019 «Пожежна безпека. Загальні положення», у якому, у порівнянні із попереднім нормативним документом – ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», – змінено підхід до визначення розрахункового часу початку евакуації, а також розширено перелік моделей розрахунку тривалості евакуації під час пожежі з будівель і споруд різного призначення. Так, окрім спрощеної аналітичної моделі, регламентовано застосування індивідуально-поточної та імітаційно-стохастичної моделей руху людських потоків. Виконання розрахунків на основі цих моделей можливе із застосуванням спеціального програмного забезпечення. Необхідно зауважити, що початкові дані для подальших обчислень визначаються експериментальним шляхом на підставі закономірностей руху людських потоків різного складу. За результатами аналізу встановлено, що інформація, наведена в ДСТУ, не дає можливості виконувати розрахунки параметрів руху змішаних потоків, що складаються із дітей різного віку та груп мобільності. У науковій літературі експериментальні та аналітичні дослідження закономірностей руху змішаних потоків, характерних для закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням, висвітлені недостатньо.

Таким чином, розкриття особливостей впливу чинників на швидкість та інтенсивність руху потоків дітей різних груп мобільності під час евакуації є важливим науковим завданням, вирішення якого є підґрунтям для підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

У **другому розділі** наведено методики теоретичних та експериментальних досліджень з розкриття особливостей впливу чинників на тривалість евакуації дітей різних груп мобільності із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням під час пожежі.

За результатами аналізу вимог державних будівельних норм до об'ємно-планувальних рішень закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням розроблено загальну розрахункову схему евакуації, у якій враховано критично допустимі значення параметрів евакуаційних шляхів та виходів.

Наведено удосконалену методику визначення площі горизонтальної проекції учня, яка базується на використанні планової фотозйомки з глибинним масштабом та подальшим застосуванням засобів комп'ютерної графіки, зокрема скрипта GetArea для визначення площ криволінійних фігур. Така методика дає можливість суттєво збільшити швидкість отримання та обробку експериментальних даних.

Дослідження дій учнів та педагогів на початковому етапі евакуації з навчального приміщення (з моменту отримання повідомлення про пожежу до виходу із приміщення в загальний коридор) здійснювалося за допомогою засобів відеофіксації. З метою усунення впливу сторонніх чинників на дії учнів присутність сторонніх осіб не допускалася. В процесі спостережень за кожним учнем весь початковий етап евакуації було розділено на послідовність найпростіших дій: 1) Коротке роз'яснення з інструктажем; 2) Одягання зимового одягу та зміна взуття (за умови наявності в класі); 3) Рух до виходу із приміщення; 4). Вихід із приміщення. Для кожної з цих дій визначався затрачений час.

З етичних міркувань дітей з особливими освітніми потребами не залучали до проведення досліджень. Для імітації їх поведінки було задіяно волонтерів із числа курсантів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Варто відзначити, що процес евакуації відбувався під суворим контролем вчителя та асистента вчителя. Для визначення параметрів руху потоків горизонтальними ділянками, сходами та через дверні прорізи було використано динамічну відеофіксацію. Засоби відеофіксації (екшн-камери Visiocam Z1 FullHD 1080p із кутом охоплення до 170°, розмірами 6×4×2,5 см та масою 40 г) використовувалися учасниками потоку, що забезпечували евакуацію. Синхронізація відео з обох камер давала можливість відстежити весь процес руху від виходу з навчального приміщення до виходу назовні з будівлі, а також розділити загальний час руху на велику кількість часових інтервалів. Це давало змогу, володіючи інформацією про розміри евакуаційних шляхів та виходів, визначати в кожен момент часу значення щільності потоку, швидкості та інтенсивності руху (рис. 1).

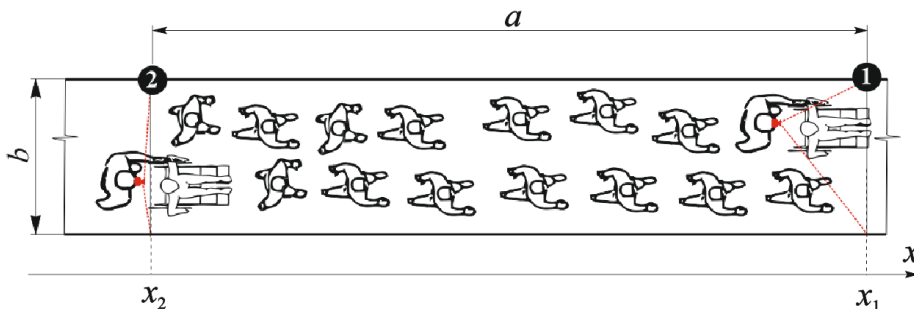


Рисунок 1 – Динамічна відеофіксація параметрів руху евакуаційного потоку.

В момент часу t_n фіксувалося положення учасника руху 1 (x_1) та учасника руху 2 (x_2). При цьому використовувався поверховий план будівлі закладу освіти. Після цього визначалася відстань між учасниками руху 1 та 2:

$$a(t_n) = x_1(t_n) - x_2(t_n). \quad (1)$$

Щільність потоку в момент часу t_1 визначалася за формулою:

$$D(t_n) = \frac{N}{(x_1(t_n) - x_2(t_n)) \cdot b}, \quad (2)$$

де N – кількість учасників евакуації на ділянці спостереження.

2. Аналогічні показники ($x_1(t_{n+1})$, $x_2(t_{n+1})$, $a(t_{n+1})$, $D(t_{n+1})$) визначалися в момент часу t_{n+1} .

Усереднене значення швидкості потоку на ділянці шляху між двома послідовними замірами (в моменти часу t_n та t_{n+1}) визначалося за формулою:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(x_1(t_{n+1}) - x_1(t_n)) + (x_2(t_{n+1}) - x_2(t_n))}{(t_{n+1} - t_n)}, \quad (3)$$

Усереднене значення щільності потоку на ділянці шляху між двома послідовними замірами (в моменти часу t_n та t_{n+1}) визначалося за формулою:

$$D_{\text{сеп}} = \frac{1}{2} \cdot (D(t_n) + D(t_{n+1})). \quad (4)$$

На додачу до даних екшн-камер було використано записи камер відеоспостереження, які дали змогу відстежувати зміну щільності потоку перед дверним прорізом.

Інтенсивність руху крізь дверний проріз визначалася за формулою:

$$q_{\text{дв}} = \frac{N}{b \cdot (t_{n+1} - t_n)}, \quad (5)$$

де b – ширина дверного прорізу, м.

Отримані значення інтенсивності дозволяли визначити швидкість руху крізь дверний проріз:

$$V_{\text{дв}} = \frac{q_{\text{дв}}}{D}. \quad (6)$$

Для комп'ютерного моделювання руху потоків при евакуації було використано програмні комплекси Pathfinder та Fenix+, у яких реалізовано індивідуально-потоківу модель руху людських потоків та передбачено можливість моделювати рух на кріслах колісних зі сторонньою допомогою.

Моделювання поширення небезпечних чинників пожежі здійснювалося за допомогою програмного комплексу FDS, робота якого базується на використанні розв'язків системи рівнянь Нав'є-Стокса та реалізує польову модель визначення часу блокування шляхів евакуації.

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень з виявлення впливу чинників на тривалість евакуації під час пожежі дітей різних груп мобільності із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

В рамках дослідження було визначено площу горизонтальної проекції 472 дітей віком 6 – 17 років. Віковий та гендерний розподіл учасників експерименту представлено у таблиці 1. Враховуючи, що станом на 1 вересня 2020 року кількість дітей шкільного віку в Україні становила 4138 тис., така вибірка забезпечить статистичну похибку не більше 5%.

Таблиця 1 – Віковий та гендерний розподіл учасників експерименту

	6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		Всього	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Чоловіча	19	51	22	52,4	21	51,2	25	52,1	20	51	23	53	22	51,2	25	52,1	21	53	20	53	19	51,4	8	50	245	52
Жіноча	18	49	20	47,6	20	48,8	23	47,9	19	49	20	47	21	48,8	23	47,9	19	48	18	47	18	48,6	8	50	227	48
Всього	37		42		41		48		39		43		43		48		40		38		37		16		472	

За результатами опрацювання отриманих результатів отримані регресійні рівняння площі горизонтальної проекції f (м²) учня від віку x (років) (рисунок 2):

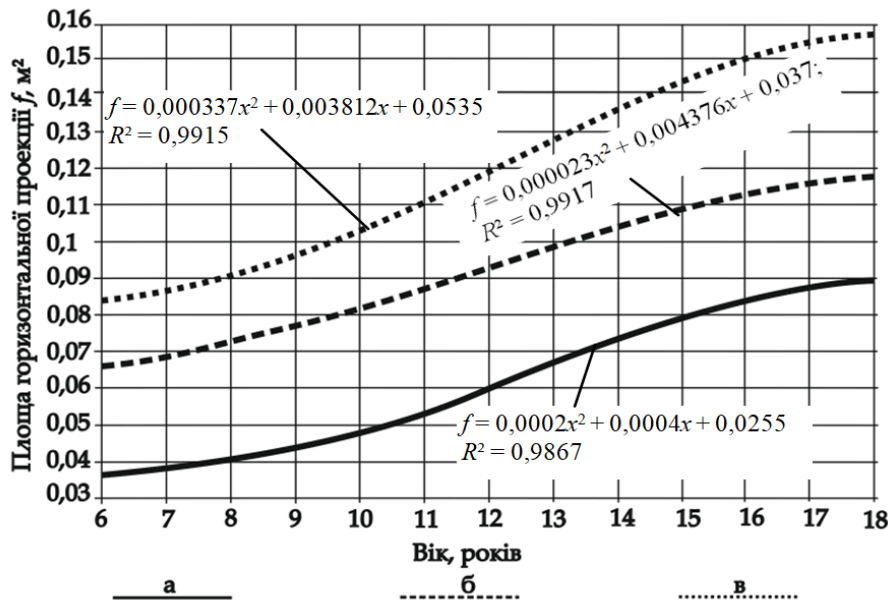


Рисунок 2 – Залежність площі горизонтальної проекції дітей від їх віку:

а – у літньому одязі; б – у літньому одязі зі шкільною сумкою; в – в зимовому одязі зі шкільною сумкою.

Результати замірів свідчать про те, що, у порівнянні з даними, отриманими в 1974 році, спостерігається суттєве зменшення (на 27%) середнього значення площі горизонтальної проекції шкільної сумки в учнів вікової групи 14-17 років, тоді як площа проекції сумки в дітей молодшого шкільного віку збільшилася майже на 10%. Отримані залежності було використано під час розрахунку часу евакуації з будівлі у розділі 4.

В процесі дослідження початкового етапу евакуації було проведено натурні спостереження в навчальних приміщеннях різних вікових груп та встановлено співвідношення між середнім значенням тривалості основних дій. Результати спостережень наведені на рисунку 3.

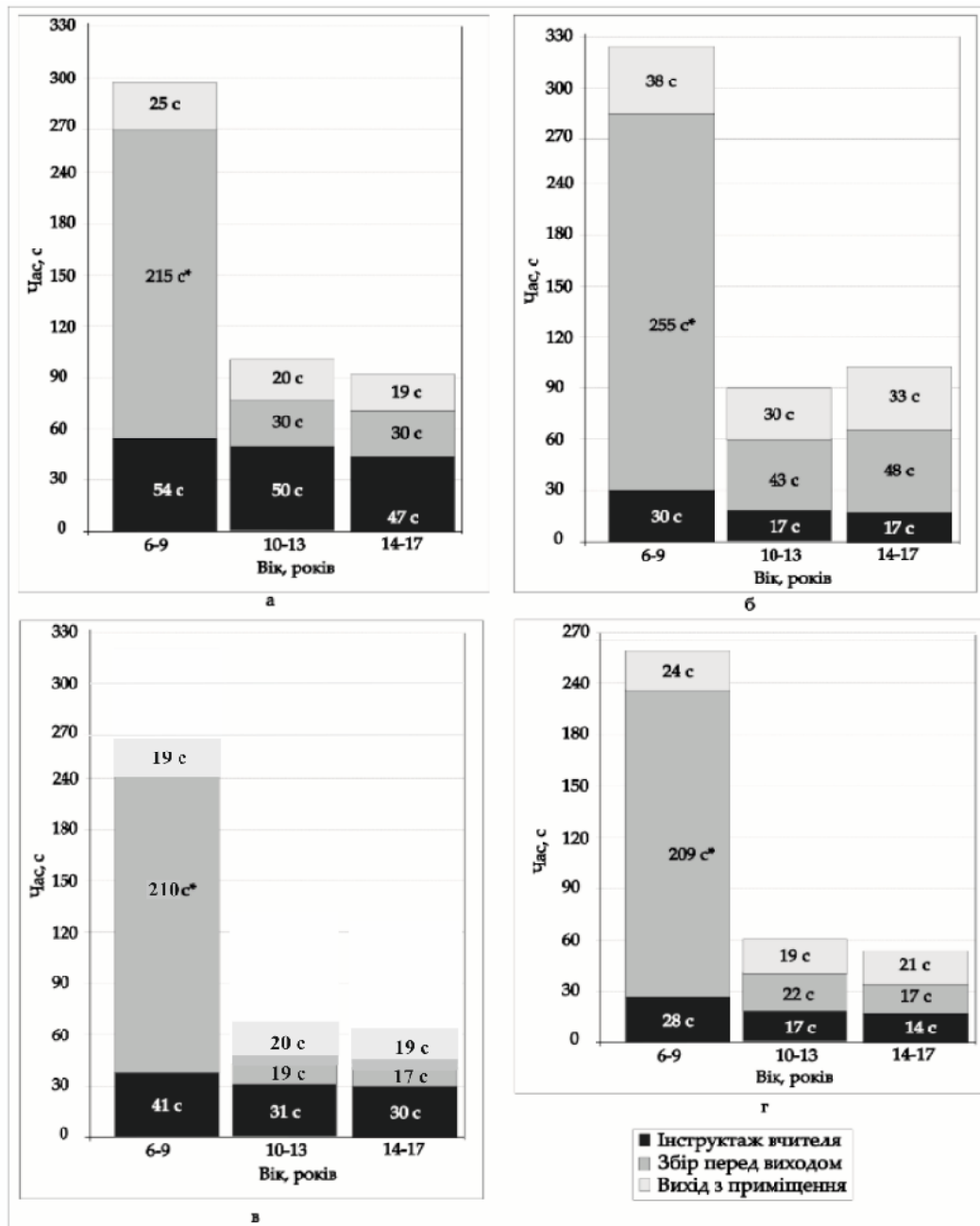


Рисунок 3 – Тривалість початкового етапу евакуації

із закладів освіти з інклюзивним навчанням:

а) 20 учнів (90% M1+10% M2 із числа сліпих); б) 20 учнів (90% M1+10% M4 на кріслах колісних);

в) 20 учнів (90% M1+10% із числа глухих); г) 30 учнів групи мобільності M1

Примітка. Учні молодших класів одягалися в зимовий одяг безпосередньо в навчальному приміщенні

Встановлено, що для отримання достовірних результатів відпрацювання початкового етапу евакуації слід проводити не менше 3 разів. При цьому варто звернути увагу на те, що у разі наявності в класі з інклюзивним навчанням дітей із вадами слуху час проведення первинного інструктажу про порядок подальших дій істотно зростає, однак при повторному відпрацюванні тривалість початкового етапу евакуації суттєво зменшується і наближається до значень тривалості, характерних для класу із 100% учнів групи мобільності M1.

Найбільшою тривалістю початкового етапу евакуації є у класів, до складу яких входять учні груп мобільності М4 та М2 (із числа сліпих). Їх наявність збільшує тривалість до 30%. При цьому варто відзначити, що із збільшенням числа тренувальних відпрацювань спостерігається суттєвіше зменшення тривалості початкового етапу евакуації із класу, до складу якого входять учні із числа сліпих.

Наступним етапом досліджень стало визначення залежності швидкості та інтенсивності руху від щільності змішаних потоків на горизонтальних ділянках, сходах та при проходженні крізь дверні прорізи.

Відповідно до Порядку організації інклюзивного навчання у загальноосвітніх навчальних закладах, у класі з інклюзивним навчанням кількість учнів з особливими освітніми потребами становить: одна-три дитини із числа дітей з порушеннями опорно-рухового апарату, затримкою психічного розвитку, зниженим зором чи слухом, легкими інтелектуальними порушеннями тощо та не більше двох дітей із числа дітей сліпих, глухих, з тяжкими порушеннями мовлення, у тому числі з дислексією, розладами спектра аутизму, іншими складними порушеннями розвитку (порушеннями слуху, зору, опорно-рухового апарату в поєднанні з інтелектуальними порушеннями чи затримкою психічного розвитку) або тих, що пересуваються на кріслах колісних. При цьому можливі різні варіанти кількісного складу інклюзивного класу. Закономірно, що у якості визначального для нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у роботі обрано такий із варіантів, при якому швидкість руху змішаного потоку буде найменшою. Для цього було використано індекс мобільності ЕРІ (Evacuation Performance Index). Цей показник базується на 3-х основних факторах: індивідуальних можливостях людини, рівні підтримки (наявність спеціальних засобів пересування чи осіб, які надають допомогу) та об'ємно-планувальних рішеннях будівлі, з якої відбувається евакуація і визначається:

$$EPI_i = \frac{t}{t_i}, \quad (7)$$

де t_i – час, затрачений на проходження певного етапу евакуації особою з особливими потребами;

t – час, затрачений на проходження аналогічного етапу евакуації особою групи мобільності М1.

При проходженні через дверний проріз індекс мобільності визначався як співвідношення інтенсивності руху крізь проріз при вільному русі:

$$EPI_{\text{дв}} = \frac{q_{\text{дв},i}}{q_{\text{дв}}}, \quad (8)$$

де $q_{\text{дв},i}$ – інтенсивність руху крізь дверний проріз осіб з особливими потребами;

$q_{\text{дв}}$ – інтенсивність руху крізь дверний проріз осіб групи мобільності М1.

Порівняння показників ЕРІ для дітей різних груп мобільності на різних етапах евакуації наведено на рисунку 4.

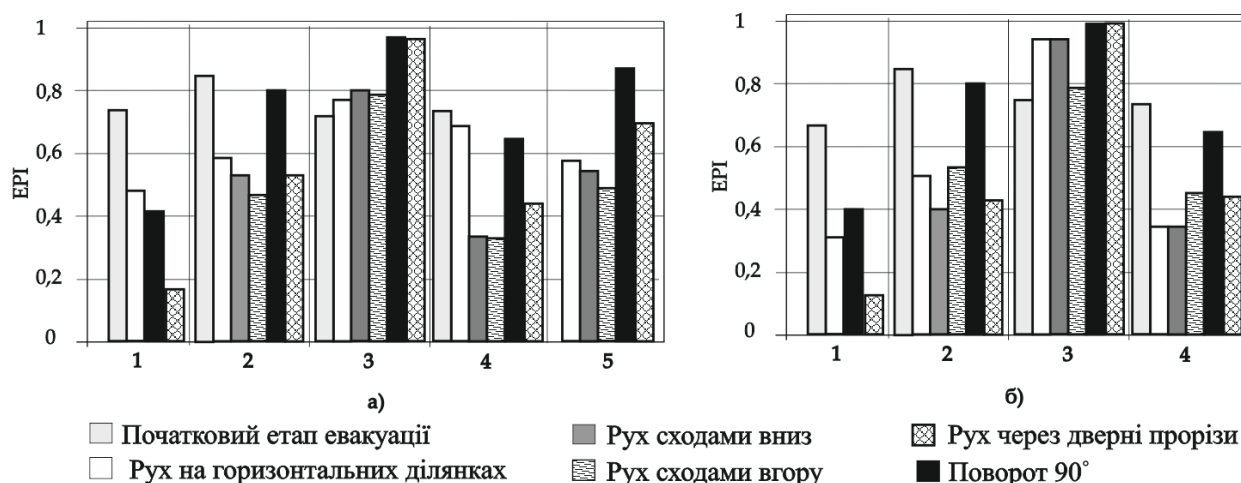


Рисунок 4 – Індекс мобільності при евакуації (ЕРІ) учнів закладів освіти з інклюзивним навчанням:

а) вікова група 6-13 років; б) вікова група 14-17 років

1 – група мобільності М4 (пересування на кріслах колісних); 2 – група мобільності М2 (особи з числа сліпих); 3 – особи з числа глухих; 4 – група мобільності М3 (пересування на 2 опорах); 5 – транспортування дитини на руках дорослого

Отримані результати свідчать, що найменше значення ЕРІ характерне для змішаних потоків М1+М4 та М1+М3 (на 2 опорах). Очевидно, при виборі інших маршрутів руху значення EPI_{zag} буде мати інше значення, але на підставі аналізу окремих складових можна зробити висновок, що, незалежно від конфігурації маршруту (кількості поворотів, довжини та ширини коридорів, кількості сходових маршів та дверних прорізів) саме такий склад груп буде показувати найменше значення EPI_{zag} . Отже, подальші дослідження із встановлення залежностей швидкості та інтенсивності руху змішаного потоку під час евакуації із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням було проведено для змішаних потоків М1+М4, М1+М3 (на 2 опорах), М1+М2 (із числа сліпих).

Загальна кількість замірів для різних вікових груп на кожному виді шляху наведена у таблиці 2.

Таблиця 2 – Кількість замірів швидкості руху для кожної вікової групи на різних видах евакуаційних шляхів

Вікова група	М1+М2 (із числа сліпих)				М1+М3 (на 2 опорах)				М1+М4	
	Ділянки евакуаційних шляхів				Ділянки евакуаційних шляхів				Ділянки	
	Горизонтальні	Сходи вниз	Сходи вгору	Дверний проріз	Горизонтальні	Сходи вниз	Сходи вгору	Дверний проріз	Горизонтальні	Дверний проріз
6-9 років	47	29	32	28	-	-	-	-	115	36
10-13 років	48	33	31	31	113	-	-	-	93	33
14-17 років	47	39	30	32	105	33	35	31	92	32

Отримані за результатами натурних спостережень значення швидкості руху були згруповані за щільністю, видами евакуаційних шляхів, віковою групою учасників, після чого зведені у варіаційні ряди за інтервалами щільності людського потоку в порядку зростання щільності. В подальшому було вжито заходів щодо вилучення з масиву вимірів грубих похибок. Результат вимірювань визначали, виходячи з математичного сподівання, що для нормального закону розподілу є середнім арифметичним:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i. \quad (9)$$

Випадкове відхилення кожного окремого вимірювання:

$$g_i = V_i - \bar{V}. \quad (10)$$

Випадкову похибку оцінювали за середньоквадратичним відхиленням S результатів вимірювань:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n g_i^2}{n-1}}, \quad \sigma[\bar{V}] = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (11)$$

Після визначення середньоквадратичних відхилень результатів вимірювання для значень швидкостей руху евакуаційного потоку було встановлено довірчі інтервали значень $(\bar{V} - \Delta_o, \bar{V} + \Delta_o)$, де \bar{V} – математичне сподівання швидкості потоку при серії вимірювань; Δ_o – довірчі границі похибки вимірювання).

В нашому випадку довірчі межі було визначено за формулою Стюдента:

$$\Delta_o = \pm k_t \cdot \bar{\sigma}(\bar{V}) = \pm 2 \cdot \bar{\sigma}(\bar{V}), \quad (12)$$

де k_t – коефіцієнт розподілу Стюдента, який залежить від заданої ймовірності P і числа вимірювань n . В нашому випадку значення коефіцієнта було прийнято 2, що забезпечує значення ймовірності $P = 0,95$.

Швидкість руху людського потоку при щільності D_i на i -му відрізку ділянки шляху j -го виду слід вважати випадковою величиною V_{Dj} . Середнє значення цієї випадкової величини можна визначити за співвідношенням:

$$V_{Dj} = V_{0j} \left[1 - a_j \ln \frac{D}{D_{0j}} \right], \text{ при } D > D_{0j} \quad (13)$$

Інтенсивність руху представлено залежністю:

$$q_{Dj} = V_{Dj} \cdot D \quad (14)$$

де V_{Dj} – швидкість руху у потоці по j -тій ділянці шляху при щільності потоку D ; q_{Dj} – інтенсивність руху у потоці по j -тій ділянці шляху при щільності потоку D ; D – щільність людського потоку на ділянці евакуаційного шляху, $\text{м}^2/\text{м}^2$; D_{0j} – значення щільності людського потоку на j -тій ділянці шляху, при досягненні якого щільність потоку починає впливати на швидкість руху людей у потоці, $\text{м}^2/\text{м}^2$; V_{0j} – середнє значення швидкості вільного руху людей на j -тій ділянці шляху при значеннях щільності потоку $D \leq D_{0j}$, $\text{м}/\text{хв.}$; a_j – коефіцієнт, що відображає ступінь впливу щільності людського потоку на його швидкість під час руху на j -тій ділянці шляху. Для математичного опису отриманих залежностей було визначено значення a_j та D_{0j} для кожного варіаційного ряду. Для реалізації мети за допомогою Microsoft Excel було виконано апроксимацію логарифмічною функцією виду $y = A \ln D + B$. Коефіцієнт $a_j = \frac{A}{V_{0j}}$. Для отримання значення D_0 лінію тренда автоматично продовжували до перетину з прямою $y = V_{0j}$. Координата x точки перетину відповідала значенню D_0 .

Перш за все було встановлено параметри руху евакуаційних потоків учнів різних вікових груп, до складу яких входило 90% учасників групи мобільності М1 та 10% учасників групи мобільності М4 (на кріслах колісних) (рисунок 5), а також потоків, до складу яких входило 95% учасників групи мобільності М1 та 5% учасників групи мобільності М4 (на кріслах колісних) (рисунок 6).

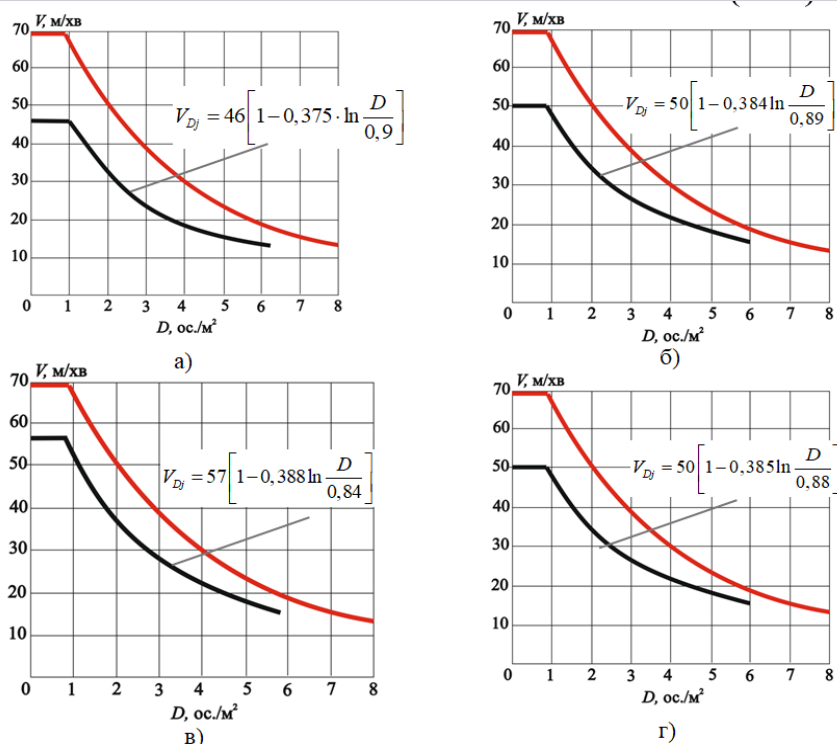


Рисунок 5 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М4 (10%)

а) молодша вікова група; б) середня вікова група; в) старша вікова група;

г) усереднене значення (червоним кольором позначено параметри руху потоку 100% учасників групи мобільності М1)

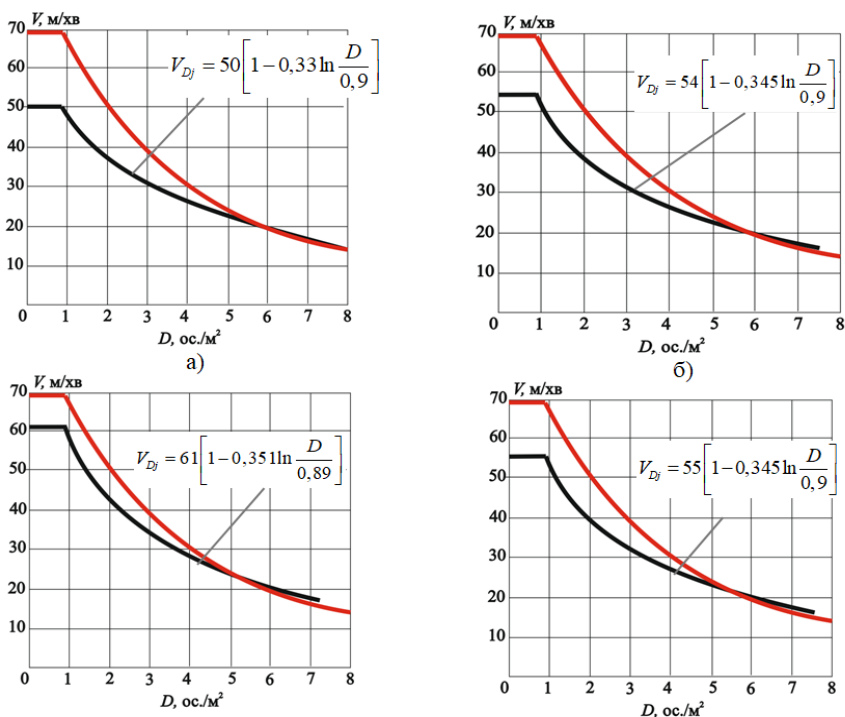


Рисунок 6 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М4 (5%)

а) молодша вікова група; б) середня вікова група; в) старша вікова група; г) усереднене значення

Оскільки за реальних умов функціонування закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням досягнути максимальної чисельності (10% від загальної кількості) учасників групи мобільності М4 практично неможливо, доцільно встановити залежності параметрів a_j та V_{0j} від кількісної частки учасників групи мобільності М4 у потоці.

На основі отриманих даних було встановлено кореляційні залежності значень a_j та V_{0j} від частки ω (%) учасників групи М4 у потоці (рисунок 7).

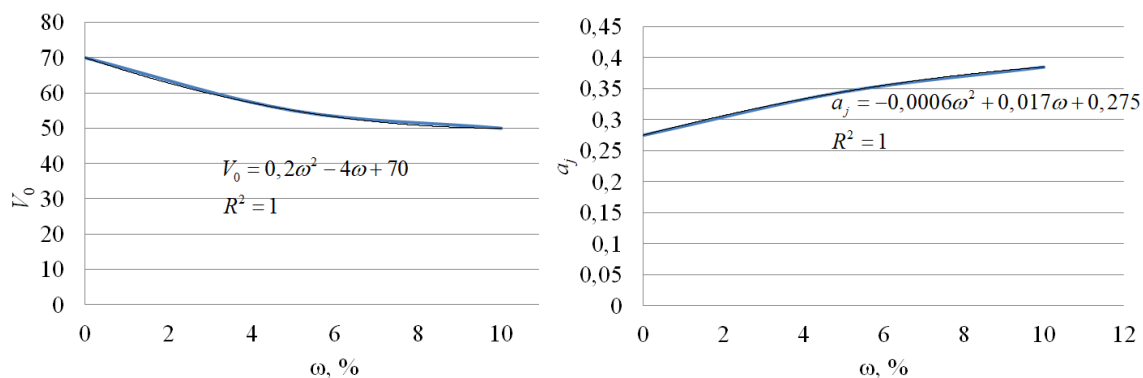
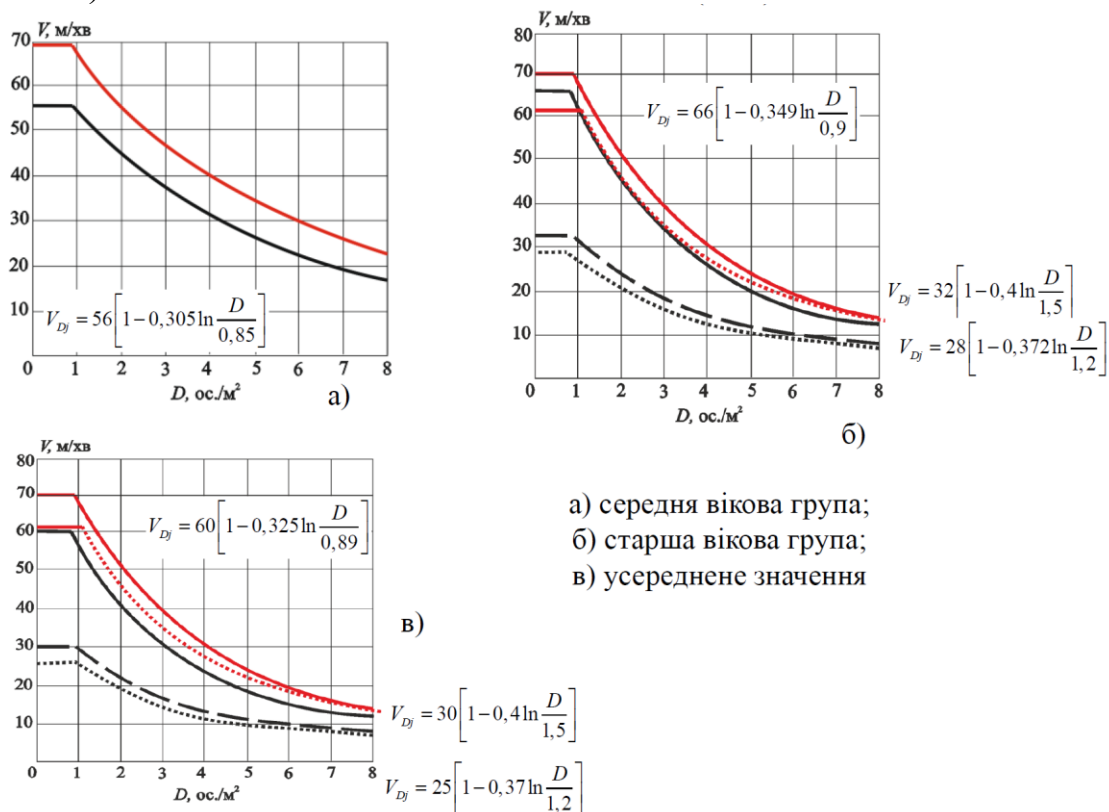


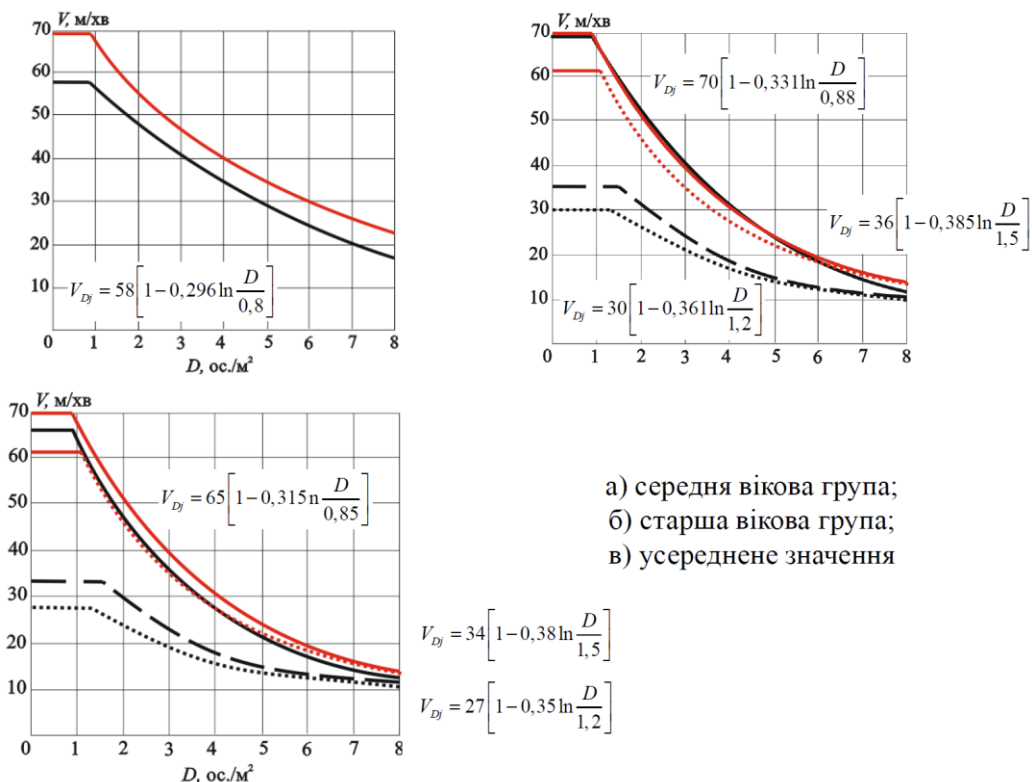
Рисунок 7 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи мобільності М4 у потоці.

Аналогічним чином було визначено параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входили учасники груп мобільності М1 та М3 (на двох опорах) (рисунок 8-12)



- а) середня вікова група;
б) старша вікова група;
в) усереднене значення

Рисунок 8 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М3 (10%) (червоним кольором позначено параметри руху потоку 100% учасників групи мобільності М1)



а) середня вікова група;
 б) старша вікова група;
 в) усереднене значення

Рисунок 9 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М3 (5%) (червоним кольором позначено параметри руху потоку 100% учасників групи мобільності М1)

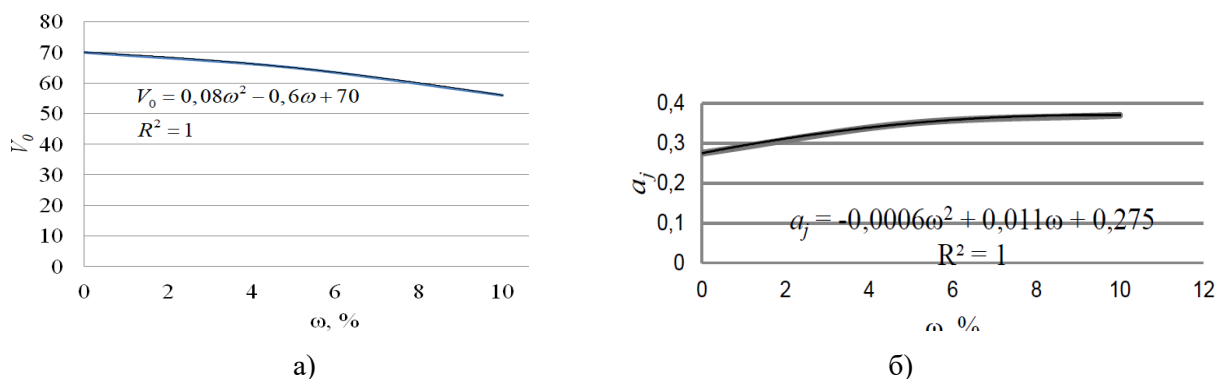


Рисунок 10 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи М3 у потоці під час руху на горизонтальних ділянках

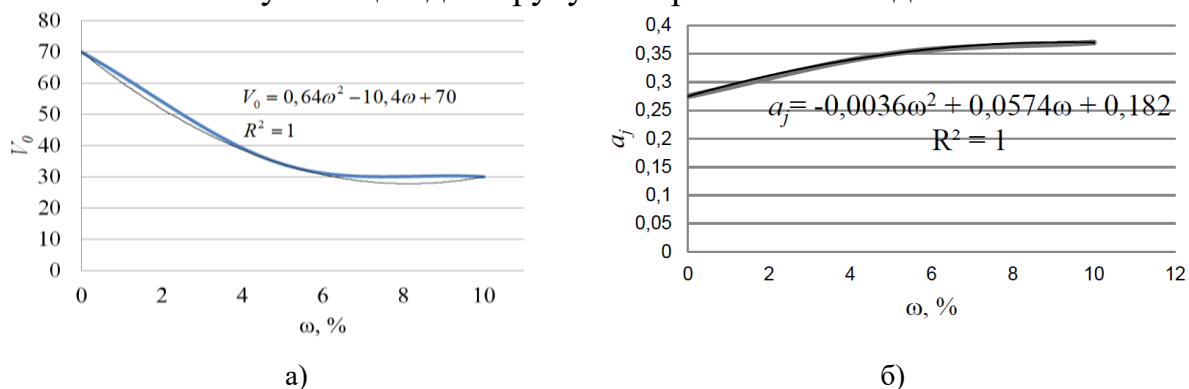
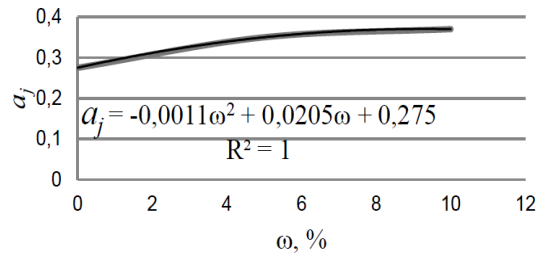
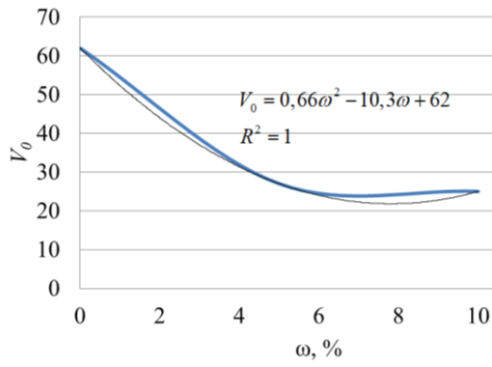


Рисунок 11 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи М3 у потоці під час руху сходами вниз



а)

б)

Рисунок 12 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи МЗ у потоці під час руху сходами вгору

Параметри руху змішаного потоку, до складу якого входять учасники руху груп мобільності М1 (90%) та М2 із числа сліпих (10%) представлені на рисунку 13

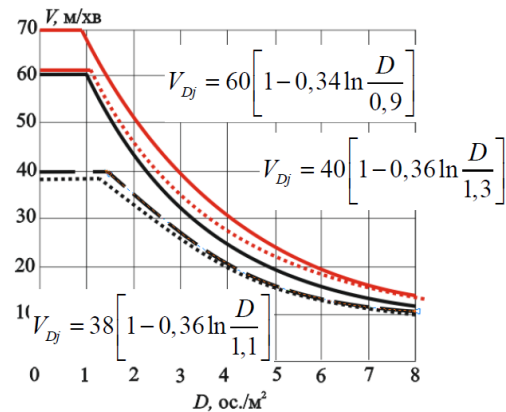
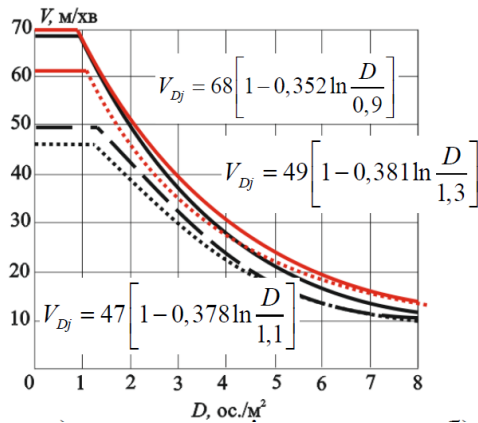
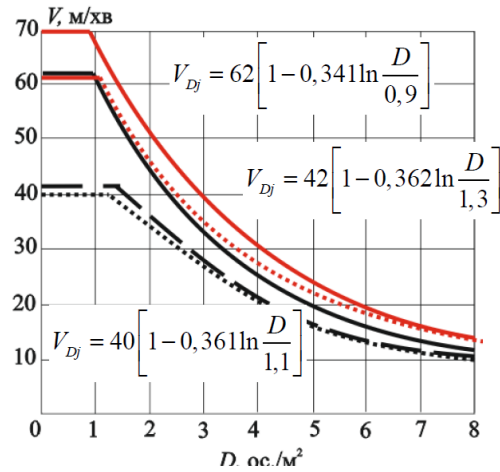
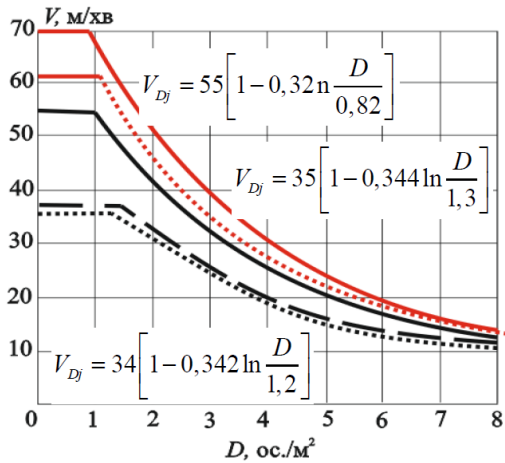


Рисунок 13 – Параметри руху потоків із наявністю учасників із числа сліпих (10%) а) молодша вікова група; б) середня вікова група; в) старша вікова група; г) усереднене значення

За результатами спостережень встановлено, що із зміною відсоткового складу учасників із числа сліпих у змішаному потоці в межах 5-10% параметри руху суттєво не відрізняються.

На рисунку 14 наведено теоретичні залежності інтенсивності руху різних вікових груп учнів закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням через дверний проріз.

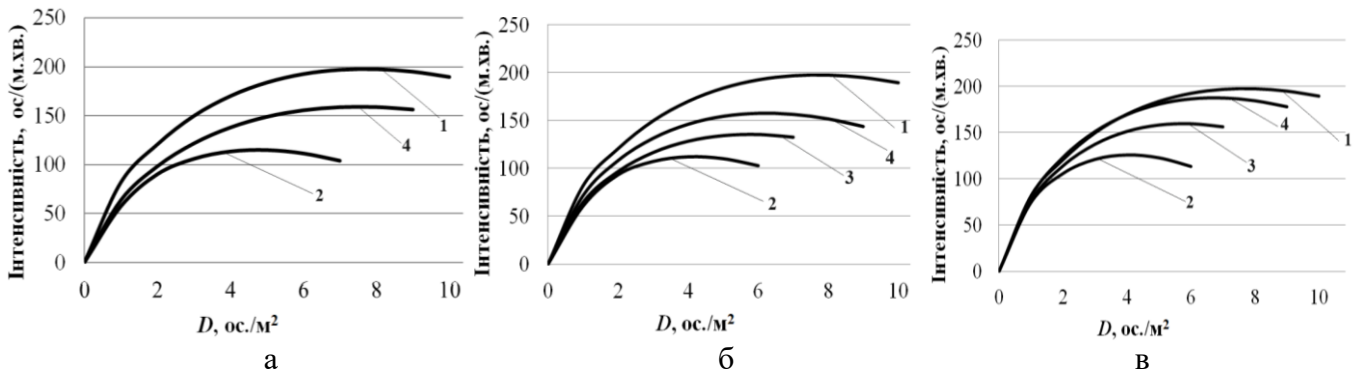


Рисунок 14 – Теоретичні залежності інтенсивності руху через дверний проріз від щільності потоку:

а) молодша вікова група; б) середня вікова група; в) старша вікова група;

1 – потік групи мобільності М1; 2 – змішаний потік (90% М1+10% М4); 3 – змішаний потік (90% М1+10% М3 (на 2 опорах)); 4 – змішаний потік (90% М1+10% М2 (із числа сліпих)).

Отримані результати дали змогу сформуванати емпіричну базу вихідних даних для розрахунку часу евакуації із закладів освіти з інклюзивним навчанням. Залежність a_j та V_{0j} від відсоткового складу учасників руху дає змогу визначити допустиму кількість таких учасників груп мобільності М3 та М4 в тому чи іншому закладі середньої освіти.

У четвертому розділі наведено результати математичного та комп'ютерного моделювання евакуації із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням відповідно до розробленої загальної розрахункової схеми евакуації (рисунок 15). Розрахунки було виконано як для групи мобільності М1, так і для змішаних потоків.

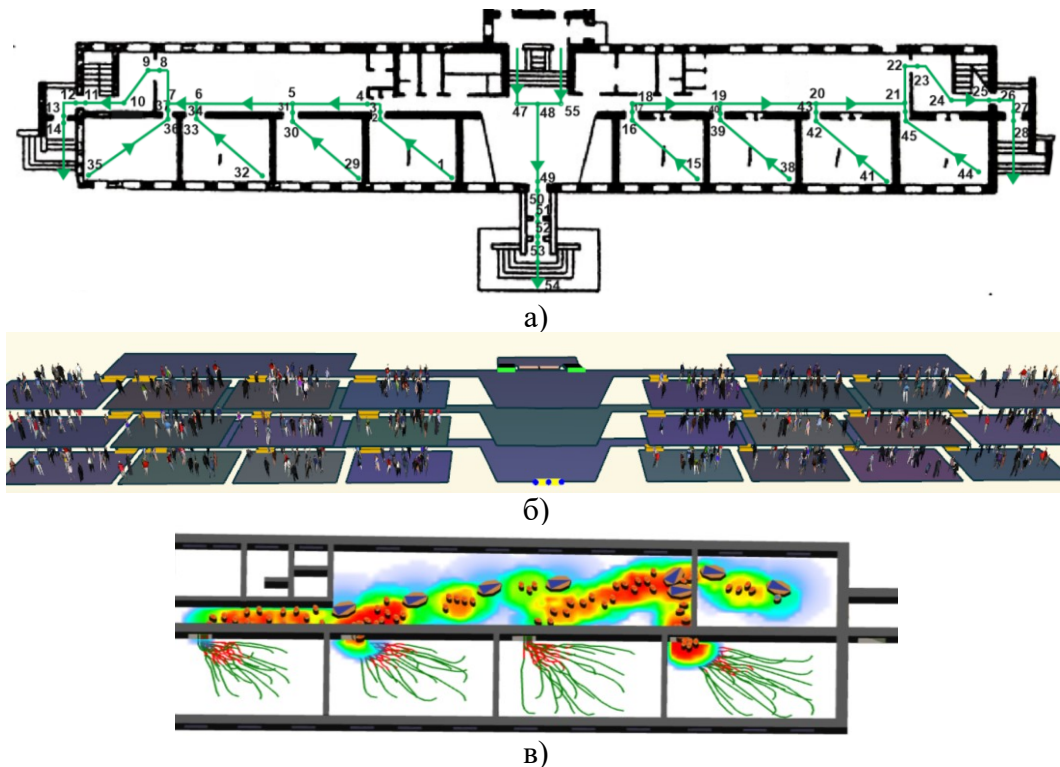


Рисунок 15 – Розрахункові схеми процесів евакуації:

а) за спрощеним аналітичним методом; б) за індивідуально-потіковою моделлю (Pathfinder);
 в) за індивідуально-потіковою моделлю (Fenix+)

Результати розрахунку тривалості евакуації зведено до таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняння результатів розрахунку тривалості евакуації під час пожежі з будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням

Засоби здійснення розрахунку	Тривалість евакуації з будівлі закладу середньої освіти, с					
	Сценарій 1 (100% M1)			Сценарій 2 (M1+M3+M4)		
	$t_{руху}$	$t_{н.е.} + t_{руху}$ (СОУЕ 1-3 типу)	$t_{н.е.} + t_{руху}$ (СОУЕ 4-5 типу)	$t_{руху}$	$t_{н.е.} + t_{руху}$ (СОУЕ 1-3 типу)	$t_{н.е.} + t_{руху}$ (СОУЕ 4-5 типу)
Спрощений аналітичний метод	146	326	236	230	410	330
Pathfinder	85	265	175	136	316	226
Fenix+	108	288	198	159	339	249

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що попри обмеження у чисельності учнів в інклюзивних класах, тривалість руху змішаних потоків 90%M1+10%M3 та 90%M1+10%M4 в процесі евакуації збільшується на 57,53%. При цьому розрахунковий час евакуації збільшується на 25,76% за умови обладнання будівлі системою оповіщення та управління евакуацією (СОУЕ) 1-3 типу та на 39,7% за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу.

Для заданої розрахункової схеми будівлі здійснено моделювання поширення небезпечних чинників пожежі із використанням польової моделі та визначено час блокування евакуаційних шляхів і виходів (рисунок 16). Встановлено, що час блокування виходів за найбільш несприятливого сценарію розвитку становить 346 с.

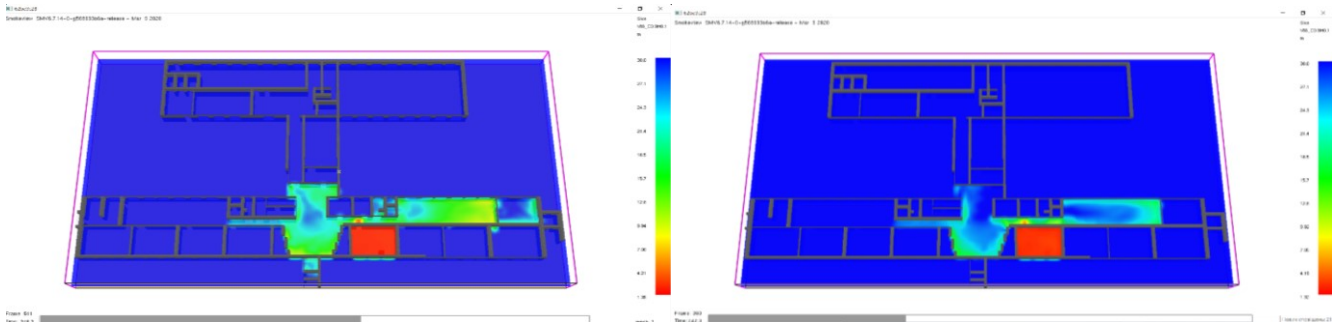


Рисунок 16 – Визначення часу блокування евакуаційних шляхів і виходів небезпечними чинниками пожежі (втрата видимості):
а) вихід з приміщення (346 с); б) коридор першого поверху (243 с)

Таким чином, евакуаційні шляхи та виходи будівлі, розрахункову схему евакуації якої розглянуто у роботі, дозволяють забезпечити своєчасну евакуацію усіх учнів у разі обладнання будівлі СОУЕ 1-3 типу та за умови, що усі учні мають групу мобільності M1.

У випадку присутності у складі потоків учнів груп мобільності M3 та M4 розрахункова тривалість евакуації зростає і наявність СОУЕ 1-3 типу не дає змоги здійснити своєчасну евакуацію усіх учасників навчального процесу навіть попри те, що загальна кількість учнів менша на 30%.

Результати розрахунків свідчать, що забезпечення своєчасної евакуації змішаних потоків груп мобільності M1, M3 та M4 можливе лише за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу.

У п'ятому розділі обґрунтовано ефективність використання ігрових методів підготовки до евакуації із будівель закладів середньої освіти. Запропоновано концепцію тематичної квест-кімнати, яка дає широкий діапазон можливостей для учнів закладів середньої освіти (в тому числі і з інклюзивним навчанням) та науковців.

Результати, представлені у попередніх розділах свідчать, що при розрахунку тривалості евакуації з будівель і споруд різного призначення початковому етапу приділено значно менше уваги, ніж безпосередньому руху потоків до виходів назовні. При цьому, за підсумками спостережень, тривалість саме цього етапу подекуди може перевищувати тривалість руху потоків до виходу назовні. Також необхідно зауважити, що попри значні складності у моделюванні початкового етапу евакуації, мінімізувати його тривалість для закладів середньої освіти значно простіше, ніж пришвидшити процес руху потоків різними ділянками. Суттєво зменшити тривалість початкового етапу можна шляхом проведення тренувальних відпрацювань.

За результатами досліджень встановлено, що особливої уваги потребують учні молодших класів закладів середньої освіти. При цьому суттєвою проблемою є різнобій у влаштуванні гардеробів та місць зберігання зимового одягу і змінного взуття. Досить часто в початкових класах зимовий одяг та змінне взуття зберігають безпосередньо в навчальному приміщенні, що суттєво збільшує тривалість початкового етапу евакуації в зимову пору.

Встановлено, що тривалість початкового етапу евакуації залежить від середнього значення часу, затраченого учнем на зміну взуття та одягання верхнього одягу, а, отже, проведення тренувань є запорукою зменшення тривалості. При цьому для учнів молодших класів подібні заняття доцільно проводити із застосуванням ігрових методів навчання.

Задля перевірки гіпотези про ефективність застосування ігрових методів навчання для формування в учнів закладів середньої освіти молодшого шкільного віку було проведено експериментальні дослідження з їх подальшою статистичною обробкою. 80 учнів молодшого шкільного віку в рамках проведення тренувальних занять отримали завдання на швидкість одягнути зимовий одяг та взуття. Ще 82 учнів отримали аналогічні завдання, але в цьому випадку під час відпрацювання було додано ігровий компонент – учні ділилися на команди і виконання вправи відбувалося у форматі естафети. Перемагала команда із найменшим сумарним часом.

Всі отримані результати фіксували і оцінювали за 12-бальною шкалою. Для першого і другого випадку було побудовано полігони частот та відносних частот успішності. Для порівняння густини розподілу ймовірностей успішності були нанесені на спільний графік (рисунок 17).

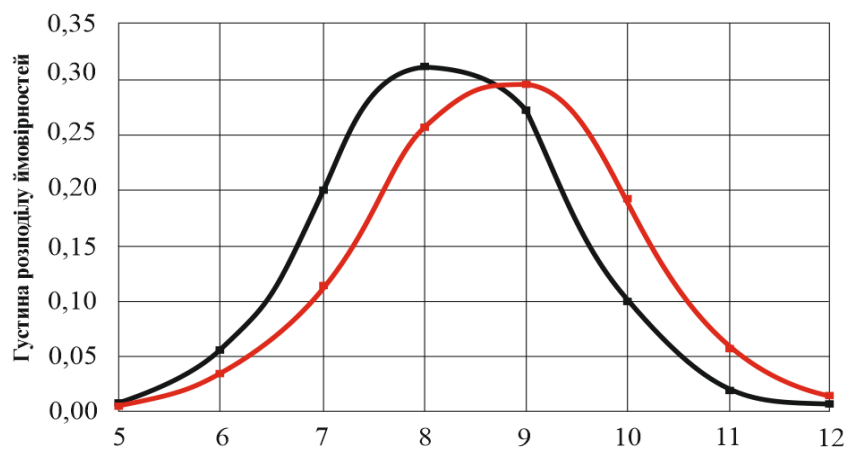


Рисунок 17 – Порівняння густин розподілу успішності підготовки до початкового етапу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням із застосуванням класичних та ігрових методів навчання

Представлена графічна залежність після підтвердження гіпотези про рівність двох дисперсій дає змогу зробити висновок, що застосування ігрових технологій забезпечує кращу готовність учнів закладів шкільної освіти до евакуації з будівлі під час пожежі.

Виходячи із отриманих результатів, запропоновано та обґрунтовано концепцію тематичної квест-кімнати, використання якої дасть можливість здійснювати підготовку учнів та вчителів закладів середньої освіти (в тому числі з інклюзивним навчанням) до дій в умовах евакуації при пожежі, а також закріпити теоретичні знання правил пожежної безпеки та формувати готовність до дій в умовах пожежі (пошук та допомога потерпілим та особам, які не можуть залишити приміщень самостійно; оперативний пошук та евакуація найцінніших та найпотрібніших речей; знеструмлення приміщень, відключення газопостачання; використання саморятівників та первинних засобів пожежогасіння; пересування приміщенням в умовах задимлення; ліквідації пожежі на початковому етапі її виникнення). Спостереження за учасниками також відкриває перспективи отримання в умовах, наближених до умов реальної пожежі, експериментальних даних для широкого спектра наукових досліджень (особливо стосовно поведінки дітей різного віку та груп мобільності в умовах початкового етапу евакуації при пожежі).

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій наведено розв'язання актуального наукового завдання розкриття особливостей впливу чинників на швидкість та інтенсивність руху потоків дітей різних груп мобільності під час евакуації із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Основні наукові та практичні результати роботи наведено нижче.

1. Виконано аналітичний огляд сучасного стану розвитку інклюзивної освіти в Україні та за кордоном. Виявлено, що за період 2016-2020 років кількість учнів з особливими освітніми потребами в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням зросла у 7 разів, а показник інклюзії закладів середньої освіти в Україні станом на 2020 рік становить близько 20%, що свідчить про збереження тенденції до стрімкого розвитку інклюзивної освіти.

2. Здійснено аналіз методів розрахунку часу евакуації, регламентованих чинним законодавством та встановлено відсутність у нормативних документах та науковій літературі даних, які б відображали закономірності руху змішаного потоку із дітей шкільного віку різних груп мобільності. Обґрунтовано необхідність формування емпіричної бази даних параметрів руху евакуаційних потоків в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням як наукового підґрунтя забезпечення нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у цих закладах.

3. Шляхом проведення натурних спостережень визначено індекси ЕРІ (evacuation performance index) для учасників руху різної мобільності. Встановлено, що найменше значення ЕРІ на горизонтальних ділянках, поворотах та при проходженні через дверні прорізи характерне для потоків, що складаються із 90% учасників групи мобільності М1 та 10% групи мобільності М4 (0,52 на горизонтальних ділянках, 0,4 на поворотах), а на сходах – для потоків, що складаються із 90% учасників групи мобільності М1 та 10% групи мобільності М3, які пересуваються на 2 опорах (0,42 під час руху сходами вниз і 0,38 під час руху сходами вгору). Отримані результати дали змогу обґрунтувати склад евакуаційних потоків для проведення подальших натурних спостережень.

4. За результатами натурних спостережень встановлено залежність швидкості та інтенсивності руху учнів на горизонтальних ділянках, сходах та через дверні прорізи від щільності потоку та визначено значення показників V_{0j} , a_j та D_{0j} для евакуаційних потоків різних вікових груп та часток учасників мобільності М3 та М4. Виведено залежності значень V_{0j} і a_j від відсоткового складу учасників руху груп мобільності М4 та М3.

5. Встановлено співвідношення між середнім значенням тривалості основних дій для різних вікових груп на початковому етапі евакуації. Підраховано, що присутність у навчальному приміщенні 10% учнів групи мобільності М4 (із загальної кількості 20 учнів) збільшує тривалість початкового етапу евакуації в середньому на 21% для учнів молодшого шкільного віку (за умови наявності зимового одягу та змінного взуття у навчальному приміщенні) та майже на 50% для учнів середнього та старшого шкільного віку. Присутність 10% учнів із числа глухих збільшує тривалість початкового етапу евакуації в середньому на 19% для учнів молодшого шкільного віку та майже на 50% для учнів середнього та старшого шкільного віку.

6. Шляхом використання фотозйомки з глибинним масштабом із застосуванням комп'ютерних графічних редакторів встановлено емпіричні залежності площі горизонтальної проекції учнів закладів шкільної освіти від їх віку (x , років). Встановлено наступні залежності: $f = 0,0002x^2 + 0,0004x + 0,0255$ – у літньому одязі; $f = 0,000023x^2 + 0,00437x + 0,037$ – у літньому одязі з шкільною сумкою; $f = 0,000337x^2 + 0,003812x + 0,0535$ – у зимовому одязі з шкільною сумкою.

7. Із використанням отриманих даних виконано розрахунки часу евакуації із будівлі закладу середньої освіти за спрощеним аналітичним методом та за індивідуально-поточною моделлю. Отримані результати порівняно із результатами розрахунку часу евакуації учнів 100% групи мобільності М1. Встановлено, що за наявності у складі евакуаційних потоків 10% учнів груп мобільності М4 (1 поверх) та М3 (2-3 поверхи) тривалість руху збільшується на 57,53%. При цьому розрахунковий час евакуації збільшується на 25,76% за умови обладнання будівлі СОУЕ 1-3 типу та на 39,7% за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу.

8. За допомогою статистичних методів прогнозування обґрунтовано ефективність використання ігрових методів підготовки до початкового етапу евакуації із будівель закладів середньої освіти, в тому числі і з інклюзивним навчанням. Запропоновано концепцію тематичної квест-кімнати, яка дає широкий діапазон можливостей як для учнів закладів освіти з інклюзивним навчанням, так і для науковців, що займаються дослідженням безпеки життєдіяльності в цих закладах.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Хлевной О. В., Харишин Д. В., Назаровець О. Б. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами. *Пожежна безпека*. Львів, 2020. № 37. С. 72–76.

2. Ковалишин В. В., Хлевной О. В., Харишин Д. В., Івануса А. І. Концепція тематичної квест-кімнати для формування готовності дітей до дій під час пожежі. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. Львів, 2020. №22. С. 32-38.

3. Ковалишин В. В., **Хлевной О. В.** Визначення площі горизонтальної проекції дітей шкільного віку. *Науковий вісник: цивільний захист і пожежна безпека*. Київ, 2020. №2 (2020). С. 54-60.

4. Горбань В. Б., Жезло Н. В., **Хлевной О. В.** Діагностика рівня знань дітьми молодшого шкільного віку правил пожежної безпеки. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. Львів, 2015. № 11. С. 144-151.

5. Жезло Н. В., **Хлевной О.В.**, Ємельяненко С.О. Пустощі дітей з вогнем як соціально-педагогічна проблема. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. Львів, 2014. № 10. С. 219-224.

У міжнародних наукових фахових виданнях:

6. Kovalyshyn V. V., **Khlevnoy O. V.**, Kharyshyn D. V. Primary school-aged children evacuation from secondary education institutions with inclusive classes. *Sciences of Europe*. Praha, 2020. Vol 60. P. 53–56.

7. Горбань В. Б., **Хлевной А. В.**, Жезло Н. В. Оценка нормативно-правового обеспечения профилактики термических ожогов среди детей и подростков *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. Гомель, 2016 Вып. 1 (11). С. 81-88.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

В роботі [1] здобувач проаналізував чинні нормативні документи, що регламентують методи та моделі розрахунку тривалості евакуації з будівель різного призначення та можливість їх застосування стосовно будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням. В роботі [2] здобувачу належить постановка задачі, алгоритм розрахунку та аналіз результатів, обґрунтування об'ємно-планувальних рішень та архітектури автоматизованої системи управління квест-кімнатою. В роботі [3] здобувач здійснив фотозйомку з глибинним масштабом та графічну та статистичну обробку отриманих результатів. В роботі [4] здобувач здійснив статистичну обробку результатів опитування учнів закладів середньої освіти. В роботі [5] здобувачем виконано аналіз вітчизняних та закордонних статистичних даних про пожежі, що виникли з вини дітей шкільного віку. В роботі [6] здобувач провів експериментальні дослідження руху змішаного потоку учнів закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням та виконав статистичну обробку замірів швидкості, інтенсивності та щільності потоку. В роботі [7] здобувач проаналізував чинні норми вітчизняного законодавства на предмет ефективності передбачених заходів профілактики термічних опіків серед дітей і підлітків.

Матеріали наукових конференцій

1. Горбань В. Б., Жезло Н. В., **Хлевной О. В.** Особливості виникнення пожеж, спричинених пустощами дітей з вогнем. *Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору: матеріали 17-ї Всеукр. наук.-практ. конф.*, Київ, 22 – 23 вересня 2015 р. Київ, 2015. С. 82-84.

2. **Хлевной О. В.**, Харишин Д.В. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної освіти з інклюзивними групами. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: Зб. наук. праць регіон. наук.-практ. конф.*, Львів, 3-4 грудня 2020 р. Львів, ЛДУ БЖД, 2020. С. 107-111.

3. **Хлевной О. В.**, Горбань В. Б., Жезло Н. В. Оцінка нормативно-правового забезпечення профілактики дитячого травматизму внаслідок пожеж за методикою TACTICS. *Забезпечення пожежної та техногенної безпеки: Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф.*, Харків, 29 – 30 жовтня 2015 р. Харків, НУЦЗУ, 2015. С. 79 – 81.

4. Горбань В. Б., Хлевной О. В., Жезло Н. В. Тематичний квест в реальності як засіб підготовки населення до дій в умовах пожежі. *Пожежна та техногенна безпека: теорія, практика, інновації*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Львів, 20-21 жовтня 2016 р. Львів, ЛДУ БЖД, 2016. С. 608-610.

5. Хлевной О. В., Бурак Н.Є. Квести в реальності як засіб підготовки майбутніх рятувальників до дій в умовах пожежі. *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах*: матеріали 21 Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, Київ, 8 жовтня 2019 р. Київ, ІДУЦЗ, 2019. С. 286-289.

6. Луканді С., Хлевной О. Визначення площі горизонтальної проекції людини із застосуванням графічного редактора. *Інформаційна безпека та інформаційні технології*: зб. тез доп. IV Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених, студентів і курсантів, Львів, 27 листопада 2020 р. Львів, ЛДУБЖД, 2020. С. 176-179.

АНОТАЦІЯ

Хлевной О. В. Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2021.

Роботу присвячено вирішенню актуальної науково-технічної задачі розкриття особливостей впливу чинників на тривалість евакуації під час пожежі дітей різних груп мобільності з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

На основі аналізу літературних джерел обґрунтовано необхідність формування емпіричної бази даних параметрів руху евакуаційних потоків в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням як наукового підґрунтя забезпечення нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у цих закладах.

Встановлено залежність швидкості та інтенсивності руху учнів на горизонтальних ділянках, сходах та через дверні прорізи від щільності потоку для евакуаційних потоків різних вікових груп та часток учасників різної мобільності. Виведено залежності значень V_{0j} і a_j від відсоткового складу учасників руху груп мобільності М4 та М3. Встановлено емпіричні залежності площі горизонтальної проекції учнів закладів середньої освіти від їх віку. Виконано розрахунки часу евакуації із будівлі закладу середньої освіти за спрощеним аналітичним методом та за індивідуально-поточною моделлю. Обґрунтовано ефективність застосування ігрових форм навчання при підготовці учнів закладів середньої освіти до початкового етапу евакуації під час пожежі.

Ключові слова: заклади середньої освіти, інклюзивне навчання, евакуація під час пожежі, група мобільності, щільність евакуаційного потоку, швидкість та інтенсивність евакуації, тривалість евакуації, початковий етап евакуації, небезпечні чинники пожежі.

ABSTRACT

Khlevnoy O. Standardization of fire safety requirements for evacuation routes and exits in school institutions with inclusive education. – The manuscript

Dissertation for the degree of a Candidate of Sciences (Engineering) on the specialty 21.06.02 – Fire Safety. – Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem – of fire safety requirements for evacuation routes and exits in school institutions with inclusive education by studying the dependence of speed and traffic intensity on the density of mixed human flows.

Based on the scientific works of Ukrainian and foreign scientists, it has been established that the development of inclusive education in educational institutions of Ukraine is extremely rapid. At the same time, the inclusion rate still remains very low (20 %) compared to similar rates in the EU, which indicates that the trend towards active development will continue in the future. In the scientific literature, experimental and analytical studies on the problem of mixed flows of children (characterized by different mobility) movement during the evacuation from educational institutions with inclusive education in case of fire have been covered insufficiently. Computer simulation is one of the methods used for determining the duration of the evacuation. However, this method cannot be used without establishing proper relationships between the parameters of evacuation flows including children with special educational needs.

Thus, it has been substantiated that the disclosure of the different factors influence on the speed and intensity of traffic flows including children of different mobility groups during evacuation is an important scientific task. The solution of this task is the basis for improving fire safety of educational institutions with inclusive education.

An advanced method of determining the area of horizontal projection of the human, based on the use of planned photography with a deep scale with the subsequent use of computer graphics (special GetArea script) for determination of the curved shapes area has been proposed. This technique makes it possible to significantly increase the speed of obtaining and processing experimental data.

Empirical dependences of the area of horizontal projection of schoolchildren on their age (x , years) have been established based on the results of processing photo data using computer graphic editors. The following dependences have been established:

$f = 0,0002x^2 + 0,0004x + 0,0255$ – for children in summer clothes;

$f = 0,000023x^2 + 0,00437x + 0,037$ – for children in summer clothes with a school bag;

$f = 0,000337x^2 + 0,003812x + 0,0535$ – for children in winter clothes with a school bag.

For the determination of the parameters of flow movement through horizontal sections, stairs and through doorways dynamic video capture has been used. Video recording devices (Full HD action cameras with a coverage angle of up to 170° , measuring $6 \times 4 \times 2.5$ cm and weighing 40 g) have been attached to the head of the people who had led the evacuation process. Synchronization of video from both cameras made it possible to monitor the entire process of movement from the exit of the classroom to the exit of the building, as well as to divide the total movement time into a large number of time intervals. Obtained data and floor plans of the building allowed getting the information about the size of escape routes and exits, and thus, determining the values of flow density, speed and traffic intensity at any time.

According to the results of observations at the initial stage of evacuation, the ratio between the average duration of the main actions and the number of children of different mobility groups has been established. 10% of children using the wheelchairs increase the duration of the initial evacuation phase by an average of 21% for primary school aged children (taking into account the necessity to put on warm clothes immediately in the class) and almost by 50% for middle and high school aged children (without the necessity to put on warm clothes immediately in the class. Such children usually carry their warm clothes in wardrobes). The presence of 10% of deaf pupils increases the duration of the initial stage of evacuation by an average of 19% for primary school students and almost 50% for middle and high school students.

For the developed calculation scheme of evacuation the duration of evacuation with use of the simplified analytical model and individual-flow model has been calculated. Simulation of the evacuation process from the school institution with inclusive education has been performed using Pathfinder and Fenix + software packages.

The results of calculations show that, despite the reduction of the total number of evacuation participants by 33%, the time required to move from the starting positions to the exit, for a mixed flow consisting of participants using wheelchairs and crutches (10%) and M1 mobility group participants (90%) increases by 57.53% compared to the flow with 100% of M1 mobility group participants.

Using the FDS software product, implemented on the basis of the field model, the modeling of hazardous factors of fire in the school building has been performed and the minimum values of time required to block the escape routes and exits has been determined. The most unfavorable development scenario has been observed during a fire on the ground floor in a classroom located near the lobby. Under such conditions the main exit has been blocked by the loss of visibility on the 347 second of fire.

Based on the results of comparing the estimated duration of evacuation with the time of escape routes and exits blocking, it has been established that ensuring timely evacuation of mixed flows of mobility groups M1, M3 and M4 is possible only when the building is equipped with emergency voice alarm communication system of the 4-5th type.

The concept of thematic quest-room has been also proposed. The quest-room provides a wide range of opportunities for schoolchildren (including school institutions with inclusive education) and scientists. Observation of participants opens up the wide range of experimental data for different spheres of research (especially on the behavior of children of different ages and mobility groups at the initial stage of evacuation in case of fire).

Key words: secondary schools, inclusive education, fire evacuation, mobility group, evacuation flow density, evacuation speed and intensity, evacuation duration, initial evacuation stage, hazardous factors of fire.

Підписано до друку 09.04.2021
Формат 60x86/15. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура "Times New Roman". Ум. друк арк. 1,0
Наклад 100 пр. Зам. № 4/04-21 від 12.04.2021.

Надруковано в секторі видавничої діяльності
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.
Тел. /факс: (032) 233-00-88. E-mail: vydavnytvo@ldubgd.edu.ua.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції:
Серія ДК, № 7249 від 09.02.2021 р.