

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Хлевной Олександр Вікторович

УДК 614.841.12:539.377

ДИСЕРТАЦІЯ

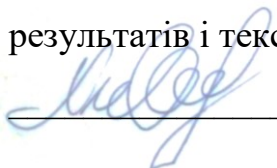
**НОРМУВАННЯ ВИМОГ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ДО ЕВАКУАЦІЙНИХ
ШЛЯХІВ І ВИХОДІВ У ЗАКЛАДАХ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З
ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ**

Спеціальність 21.06.02 – «Пожежна безпека»

Галузь знань – 261 «Пожежна безпека»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

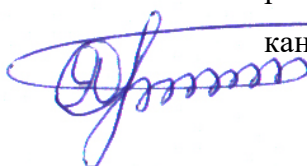
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на інше джерело



Олександр ХЛЕВНОЙ

Науковий керівник
Ковалишин Василь Васильович,
доктор технічних наук, професор

Перший примірник дисертації ідентичний за
змістом з усіма іншими примірниками
Учений секретар



канд. техн. наук Роман ЯКОВЧУК

Львів – 2021

АНОТАЦІЯ

Хлевной О.В. Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека». – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України, Львів, 2021.

Дисертація присвячена 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..

За 2015-2020 роки кількість інклюзивних класів в закладах загальної середньої освіти України збільшилася майже у 7 разів. При цьому показник інклюзії досі залишається 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 чимало 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 вищим, ніж у інших учасників навчального процесу.

Інформація, наведена в чинних нормативних документах, не дає можливості виконувати розрахунки параметрів руху змішаних потоків, що складаються із дітей різного віку та груп мобільності в процесі евакуації під час пожежі. У науковій літературі експериментальні та аналітичні дослідження закономірностей руху змішаних потоків, характерних для закладів загальної середньої освіти з інклюзивним навчанням, висвітлені недостатньо.

Відтак, дослідження питань пожежної безпеки в закладах з інклюзивним освітнім середовищем, зокрема вивчення параметрів руху евакуаційних потоків

у цих закладах, є актуальним завданням.

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

Мета роботи полягає у розкритті особливостей впливу чинників на тривалість евакуації при пожежі дітей різних груп мобільності як наукового підґрунтя підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.

У роботі виконано 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.

Шляхом проведення натурних спостережень визначено індекси ЕРІ (Evacuation Performance Index) для евакуаційних потоків змішаної 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, та 0,17 при проходженні через дверні прорізи), 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.

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.

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 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.

За допомогою використання фотозйомки з глибинним масштабом із застосуванням комп'ютерних графічних редакторів встановлено емпіричні залежності площі горизонтальної проекції учнів закладів загальної середньої освіти від їх віку.

Із використанням отриманих даних виконано розрахунки часу евакуації із будівлі закладу середньої освіти за спрощеним аналітичним методом та за індивідуально-потоковою 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) час евакуації зростає на 25,76%.

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.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу чинників на тривалість евакуації при 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 при пожежі для будівель закладів загальної 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 здоров'я» в низці закладів середньої освіти; використанні отриманих результатів під час викладання навчальної дисципліни «Пожежна профілактика в населених пунктах» у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, про що складено відповідні акти.

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

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові статті у 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.

Наукові статті в іноземних 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.

Матеріали та тези 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 проєкції 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.

SUMMARY

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 – standardization 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.

Over the last 5 years the number of inclusive classes in school institutions of Ukraine increased almost 7 times. At the same time, the inclusion rate still remains very low compared to similar indicators in the EU, which indicates that the trend towards active development will continue in the future. For our country, inclusive education is an innovative phenomenon, so its implementation raises many problems. One of the most significant is the low level of fire safety measures. At the same time, the risk of injury during a fire is much higher for children with special educational needs than for other participants of the education process.

The information provided in the current regulations does not allow performing calculations of the mixed flows consisting of children of different ages and mobility groups movement parameters, during the evacuation in case of fire. 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.

The idea of the work is to regulate fire safety requirements for evacuation routes and exits in school institutions with inclusive education by establishing movement parameters of human flows, consisting of children of different age and mobility groups.

The aim of the work is to reveal the peculiarities of the different factors influence on the evacuation duration in case of fire as a scientific basis for improving the effectiveness of fire safety of school 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 and 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.

EPI (evacuation performance index) values for evacuation flows of mixed mobility have been determined by field observations. The lowest values of EPI on horizontal sections, turns and doorways have been obtained for flows consisting of 90% of participants of the mobility group M1 and 10% of the participants of the mobility group M4 (0,52 on horizontal sections, 0,4 on turns, and 0,17 during passing

through doorways). The lowest EPI values on the stairs have been obtained for flows consisting of 90% of participants of the mobility group M1 and 10% of the participants of the mobility group M3 using a pair of crutches (0,42 – downstairs and 0,38 – upstairs). The obtained results have made it possible to substantiate the composition of evacuation flows for further field observations.

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 × 4 × 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).

The scientific novelty of the obtained results resides in revealing the peculiarities of the influence of factors on the evacuation duration as a scientific basis for improving the fire safety of school institutions with inclusive education.

The influence of the quantitative composition of different mobility groups representatives on the duration of the initial stage of evacuation from the buildings of school institutions with inclusive education has been defined.

The dependencies of the average free movement speed V_{0j} value and the coefficient of the density influence of human flow a_j on the percentage of participants of mobility groups M4 and M3 in the flow for different sections of the evacuation routes have been determined.

Correlation dependencies of the horizontal projection area of children on their age have been defined.

Application of simplified analytical, individual-flow and simulation-stochastic models of human flows for the of evacuation duration calculating in the school institutions with inclusive education has been worked out.

Use of educative gaming methods as the means of reducing the duration of the initial stage of evacuation from school institutions with inclusive education has been worked out.

The practical significance of the results resides in improving the methodology for calculating individual fire risk and duration of evacuation in case of fire for schools institutions with inclusive education by using the obtained dependences of speed and intensity of mixed flows movement on flow density. The proposed educative gaming methods and criteria for evaluating the effectiveness of the initial stage of evacuation have been introduced in the teaching of the subject "Fundamentals of life safety" in a number of school institutions. The obtained results have been used during the teaching of the discipline "Fire prevention" at Lviv State University of Life Safety.

The analysis of the evacuation models exploitation has helped to identify a number of tasks that require further consideration and solution.

First of all, a significant problem of modern valid regulations is the lack of a unified approach to the organization of wardrobes. This creates significant problems in calculating the duration of the evacuation in winter. Obviously, the current state building codes should establish clearer requirements for the placement and spatial planning of wardrobes in educational institutions with inclusive education.

Similarly with wardrobes, it is necessary to specify the requirements for the placement and arrangement of elevators, which, as practice has shown, are already

being actively implemented in secondary schools with inclusive education. The installation of such elevators without prior calculation of the duration of the evacuation is unacceptable. At the same time, the current models do not allow to provide such calculations properly.

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

PUBLICATIONS LIST OF THE POSTGRADUATE***Scientific articles in professional editions***

1. Khlevnoy O.V., Kharyshyn D. V., Nazarovets O. B. Problem issues of evacuation time calculation during fires in preschool and secondary education institutions with inclusive groups. *Fire Safety*. Lviv, 2020. Vol. 37. P. 72–76.
2. Kovalyshyn V. V., Khlevnoy O. V., Kharyshyn D. V., Ivanusa A. I. The concept of the thematic quest-room for formation of children's readiness to action in fire. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. Lviv, 2020. Vol. 22. P. 32-38.
3. Kovalyshyn V. V., Khlevnoy O. V. Determination of horizontal projection areas of school-age children. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*. Kyiv, 2020. №2 (2020). Pp. 54-60.
4. Gorban V. B, Zhezlo N. V., Khlevnoy O. V. Diagnosis of the level of knowledge of children of primary school age rules of fire safety. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. Lviv, 2015. Vol. 11. P. 144-151.
5. Zhezlo N.V, Khlevnoy O.V., Yemelyanenko S. O. Children's playing with fire as a social and educational problem. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. Lviv, 2014. Vol. 10. P. 219-224.

Scientific articles in foreign editions

1. Kovalyshyn V. V., Khlevnoy O.V., Kharyshyn D. V. Primary school-aged children evacuation from secondary education institutions with inclusive classes. *Sciences of Europe*. Prague, 2020. Vol 60. P. 53–56.
2. Gorban V. B., Khlevnoy O. V., Zhezlo N. V. Estimation of standard legal support of prevention of thermal burns among children and adolescents. *Emergencies: education and science*. Gomel, 2016. Vol. 1 (11). P. 81-88.

Proceedings and abstracts of conferences

1. Gorban V. B., Zhezlo N. V., Khlevnoy O. V. Features of fires caused by children's playing. *The current state of civil defense of Ukraine: prospects and ways to the European space*: Proceedings of the 17th All-Ukrainian scientific-practical conf., Kyiv, September 22-23, 2015. Kyiv, 2015. P. 82-84.
2. Khlevnoy O. V., Kharyshyn D. V. Problematic issues of calculating the evacuation duration in case of fires in preschool institutions with inclusive groups. *Actual problems of fire safety and prevention of emergencies in today's conditions*: Scientific works of regional scientific-practical conference, Lviv, December 3-4, 2020. Lviv, LSULS, 2020. P. 107-111.
3. Khlevnoy O. V., Gorban V. B., Zhezlo N. V. Evaluation of regulatory and legal support for the prevention of child injuries in case of fires according to the TACTICS method. *Ensuring fire and technogenic safety*: Materials of All-Ukrainian scientific-practical conference, Kharkiv, October 29-30, 2015. Kharkiv, NUCPU, 2015. P. 79-81.
4. Gorban V. B., Khlevnoy O. V., Zhezlo N. V. Thematic quests in reality as means of preparing the population for action in a fire. *Fire and technogenic safety: theory, practice, innovations*: Proceedings of International. scientific-practical conf., Lviv, October 20-21, 2016. Lviv, LSULS, 2016. P. 608-610.
5. Khlevnoy O. V., Burak N. Ye. Quests in reality as a means of preparing future rescuers for action in a fire. *Development of civil protection in modern security conditions*: Proceedings of 21th All-Ukrainian scientific-practical conf. with international participation, Kyiv, October 8, 2019. Kyiv, ISMCP, 2019. P. 286-289.
6. Lukandi S., Khlevnoy O. Determining the area of horizontal projection of a person using a graphic editor. *Information security and information technologies*: Proceedings of 4th All-Ukrainian scientific-practical conference of young scientists, Lviv, November 27, 2020. Lviv, LSULS, 2020. P. 176-179.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН НОРМУВАННЯ ВИМОГ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ДО ЕВАКУАЦІЙНИХ ШЛЯХІВ І ВИХОДІВ У ЗАКЛАДАХ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ.	27
1.1. Сучасний стан впровадження інклюзивної освіти в Україні.	27
1.1.1. Поняття інклюзивної освіти.....	27
1.1.2. Історія розвитку інклюзивної освіти	30
1.1.3. Сучасний стан впровадження інклюзивної освіти в Україні	33
1.2. Аналіз статистики пожеж в закладах загальної середньої освіти.....	36
1.3. Вимоги до влаштування евакуаційних шляхів і виходів в будівлях закладів шкільної освіти з інклюзивним навчанням.....	40
1.4. Дослідження процесів евакуації в закладах шкільної освіти.....	43
1.4.1. Аналіз досліджень евакуації учнів з будівель закладів освіти	43
1.4.2. Особливості евакуації учнів з особливими освітніми потребами	46
1.5. Висновки до розділу.....	48
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	49
2.1. Обґрунтування моделей та методів розрахунку часу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням.....	49
2.1.1. Класифікація моделей евакуації	49
2.1.2. Обґрунтування вибору моделі для розрахунку	52
2.2. Визначення площі горизонтальної проекції учнів різних вікових груп.	61
2.3. Визначення параметрів руху евакуаційного потоку на горизонтальних ділянках та вертикальних шляхах евакуації.	65
2.4. Визначення параметрів руху евакуаційних потоків учнів закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням через дверні прорізи	67
2.5. Висновки до розділу.....	68

РОЗДІЛ 3. НАТУРНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ЗАКЛАДАХ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ.....	69
3.1. Експериментальні дослідження з виявлення залежності площі горизонтальної проекції від віку учня	69
3.2. Експериментальне дослідження початкового етапу евакуації із навчальних приміщень закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням.....	71
3.3. Експериментальне визначення показників ЕРІ дітей з особливим освітніми потребами	77
3.4. Експериментальне визначення залежності швидкості та інтенсивності руху учнів різних вікових груп від щільності потоку.....	80
3.4.1. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входять учасники груп мобільності М1 та М4	82
3.4.2. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входять учасники груп мобільності М1 та М3	85
3.4.3. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входять учасники груп мобільності М1 та учасники групи мобільності М2 (із числа сліпих).....	89
3.4.4. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків через дверні прорізи... ..	90
3.5. Висновки до третього розділу	92
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЕВАКУАЦІЇ ІЗ БУДІВЕЛЬ ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ	94
4.1. Розрахунок часу евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням за спрощеною аналітичною моделлю.....	94
4.1.1 Розрахунок тривалості евакуації за сценарієм 1	94
4.1.2 Розрахунок тривалості евакуації за сценарієм 2.....	98
4.2. Розрахунок часу евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням за індивідуально-поточною моделлю	102
4.3. Розрахунки часу блокування евакуаційних шляхів та виходів небезпечними чинниками пожежі.....	105

4.4. Висновки до розділу.....	113
РОЗДІЛ 5. АПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	114
5.1. Рішення з мінімізації затрат часу на початковому етапі евакуації із навчальних приміщень закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням	114
5.2. Обґрунтування ефективності застосування ігрових форм навчання для мінімізації тривалості початкового етапу евакуації.....	115
5.3. Концепція тематичної квест-кімнати для формування готовності дітей до дій під час пожежі	125
5.4. Висновки до розділу.....	131
ВИСНОВКИ	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	136
ДОДАТКИ	148
Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертаційної роботи	148
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	151
Додаток В. Протоколи відеореєстрації руху змішаних потоків	154

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕРІ	Індекс мобільності (Evacuation Performance Index)
ГР	Горючі рідини
ЄС	Європейський Союз
ЗСО	Заклад середньої освіти
ІН	Інклюзивне навчання
ІРЦ	Інклюзивно-ресурсний центр
ЛЗР	Легкозаймисті рідини
МОН	Міністерство освіти і науки України
НС	Надзвичайна ситуація
НЧП	Небезпечні чинники пожежі
ООП	Особливі освітні потреби
СОУЕ	Система оповіщення і управління евакуацією
ЮНЕСКО	Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)
ЮНІСЕФ	Дитячий фонд ООН (United Nations Children's Fund, UNICEF)

ВСТУП

Актуальність теми. За 2015-2020 роки кількість інклюзивних класів в закладах загальної середньої 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 з них 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 з інклюзивними навчанням, 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 розглянуто параметри евакуації дітей з особливими освітніми потребами, проведені або в спеціалізованих закладах для постійного або тимчасового перебування таких дітей (інтернатах, ІРЦ), або в громадських закладах з масовим перебуванням людей, де їх частка у кількісній та віковій структурі не відображає особливостей кількісного та вікового складу учасників евакуації із закладів середньої 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-потоківий 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

потоків 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 здоров'я» 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 вибору методик, плануванні і безпосередньому проведенні натурних спостережень з узагальненням одержаних результатів. Особистий внесок у наукових працях, опублікованих за співавторства, відображено в авторефераті та анотації дисертації, зокрема:

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 загальної середньої освіти з інклюзивним навчанням.

В роботі [2] здобувачу належить постановка задачі, обґрунтування об'ємно-планувальних рішень та архітектури автоматизованої системи управління квест-кімнатою.

В роботі [3] здобувач здійснив фотозйомку з глибинним масштабом, а також 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.

Співавтори вказаних робіт за даними дослідженнями дисертації не захищали. Всі основні результати дисертаційного дослідження отримані автором самостійно. Керівник роботи і здобувач спільно зробили постановки задач і загальні висновки.

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.

РОЗДІЛ 1

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

За даними МОН, у період з 2015 до 2020 року кількість закладів освіти з інклюзивними класами та групами збільшилася майже у 7 разів. Загалом станом на 1 січня 2020 року в інклюзивних класах українських закладів загальної середньої освіти навчалось 19348 дітей із особливими освітніми потребами. У січні 2020 року на території нашої держави загальна кількість зареєстрованих інклюзивних класів становила 13782 [96].

Варто відзначити, що для України інклюзивна освіта є інновацією в сфері педагогіки. Як правило, на початкових стадіях впровадження усі подібні види діяльності стикаються із великою кількістю викликів. Однією з основних проблем при запровадженні інклюзивного навчання є необхідність адаптації персоналу, матеріально-технічної бази, навчальних програм та інших документів для роботи з дітьми із особливими освітніми потребами.

Особливу увагу при створенні інклюзивного освітнього середовища варто приділити питанням забезпечення безпечних умов навчання. Варто відзначити, що в Україні смертність дітей на пожежах перевищує показники Європейського союзу більше, ніж в 4 рази. Слід врахувати, що діти з особливими потребами під час виникнення пожеж є більш вразливими, що підкреслює актуальність дослідження питань пожежної безпеки в закладах з інклюзивним навчанням [100].

1.1. Сучасний стан впровадження інклюзивної освіти в Україні

1.1.1. Поняття інклюзивної освіти

Еволюція процесу навчання дітей з особливими освітніми потребами передбачає кілька етапів розвитку: від виключення через «медичну модель»

(сегрегація) та «модель нормалізації» (інтеграція) до «соціальної моделі» (інклюзія). Перш за все, необхідно розкрити зміст кожного із цих етапів.

Виключення – це пряме чи опосередковане позбавлення дітей з особливими освітніми потребами доступу до освіти.

Сегрегація – забезпечення можливості дітям з ООП здобувати освіту в спеціалізованих закладах освіти (інтернати, ІРЦ), пристосованих до одного або кількох порушень психофізичного розвитку. Основною характерною ознакою сегрегації є відокремлення (ізоляція) від інших дітей.

Інтеграція – організація навчання дітей з ООП у закладах освіти разом із іншими дітьми. При цьому характерною ознакою є те, що діти з ООП змушені пристосовуватися до умов навчання у цих закладах.

Інклюзія – організація навчання дітей з ООП у закладах освіти разом із іншими дітьми. Відмінність від інтеграції полягає в тому, що умови навчання у закладі освіти слід пристосовувати до потреб дітей.

Відповідно до офіційного визначення ЮНЕСКО інклюзивна освіта – це усвідомлення і реагування на основні проблеми дітей шляхом забезпечення їхньої участі у навчанні та житті колективу та зменшення виключення в освіті.

ЮНІСЕФ визначає інклюзивну освіту через концепцію «Школа, дружня до дитини». Ця концепція передбачає створення освітнього середовища для ефективного навчання з відповідними фізичними умовами та правилами.

Основні засади і положення щодо здобуття освіти неповносправними людьми викладено у 1994 році в Саламанкській декларації та Рамках дій щодо освіти осіб з особливими потребами. У Саламанкській декларації наголошено, що кожна дитина має унікальні здібності, інтереси та навчальні потреби, тому необхідно розвивати систему освіти і розробляти навчальні плани та програми таким чином, щоб ураховувати широке розмаїття цих особливостей і потреб.

Аналіз Саламанкської декларації дає можливість встановити низку основних положень.

По-перше, реформування освітньої системи будь-якої держави необхідно здійснювати із необмінним створенням перспектив для залучення до навчання усіх дітей незалежно від їх індивідуальних відмінностей.

По-друге, слід законодавчо гарантувати права та можливості для усіх дітей навчатися у звичайних закладах освіти.

По-третє, задля оптимальної реалізації освітніх рішень для дітей із особливими освітніми потребами, необхідно максимально заохочувати батьків та різноманітні інституції, що мають досвід роботи із людьми з інвалідністю, до планування навчального процесу.

По-четверте, необхідно забезпечити на міждержавному рівні співпрацю в царині інклюзивної освіти.

По-п'яте, одним із найважливіших завдань є здійснення наукових досліджень, спрямованих на оптимізацію процесів інклюзивного навчання. Тематика та проблематика цих досліджень може бути різноманітною:

- дослідження педагогічних аспектів інклюзивної освіти (підготовка педагогів до роботи з дітьми із особливими потребами);
- удосконалення медичних аспектів інклюзивної освіти (забезпечення медичного супроводу навчального процесу);
- розробка технічних аспектів (впровадження технічних рішень, які б полегшували навчання дітей з особливими освітніми потребами та забезпечували їх безпеку).

У 2006 році у Великобританії вченими М. Ейнскоу та Т. Бутом було розроблено збірку методичних матеріалів під назвою «Індекс інклюзії». У розробці взяли участь педагоги, батьки дітей з особливими освітніми потребами, представники органів влади, тощо. У матеріалах розписано порядок основних дій, необхідних для успішного впровадження інклюзивного навчального середовища в закладах освіти. Збірку було перекладену більш ніж 40 мовами, в тому числі і українською. Вона апробована і схвалена МОН для використання в закладах дошкільної, загальної середньої, професійно-технічної освіти.

Як бачимо, для нашої держави інклюзивна освіта – не лише один із модних західних трендів, а повноцінне міжнародне зобов'язання, закріплене фактом ратифікації Конвенції ООН про права інвалідів. Пріоритетність проведення досліджень, що стосуються безпеки дітей з особливими освітніми потребами під час навчання в інклюзивних закладах освіти, підкреслена ще в Саламанкській декларації.

1.1.2. Історія розвитку інклюзивної освіти

Важливо з'ясувати, якими шляхами розвивалися системи загальної середньої освіти, а, отже, і системи інклюзивної освіти у різних країнах світу до прийняття Саламанкської декларації. Вочевидь, кожна система освіти розроблялася у залежності від історичних реалій розвитку конкретної країни. Аналіз літературних джерел [68, 72, 97] свідчить про те, що приблизно до XIX століття діти з особливими потребами не мали змоги отримати освіту. В найкращому випадку (США, Франція, Італія, Великобританія та ряд інших європейських країн) для них створювалися окремі притулки, хоча найчастіше турбота про таких дітей лягала на плечі батьків.

Відправною точкою розвитку інклюзивної освіти можна вважати відкриття у 1198 році першого притулку для сліпих (Німеччина). На території сучасної України перші притулки для дітей із особливими потребами почали системно створюватися при монастирях орієнтовно на початку XVIII століття. На цьому етапі мова не йшла про будь-яке навчання – лише про опіку та піклування.

В 1770 році на території Франції було відкрито першу спеціальну школу для глухонімих та сліпих. На території сучасної України перші такі школи почали відкриватися у 1807 році. Тобто, на цьому етапі відбувся перехід від догляду до навчання.

Лише наприкінці XIX століття зафіксовано перші спроби законодавчо закріпити права на освіту дітей з особливими потребами. Тоді в більшості

західноєвропейських країн було ухвалено законодавчі акти про початкову шкільну освіту, а також закони про навчання дітей з особливими потребами. В той же час їх було вперше законодавчо розділено на такі категорії: діти з числа сліпих (або з вадами зору), діти з числа глухих (або з вадами слуху) та діти з порушеннями інтелектуального розвитку. На території України перші такі школи відкрилися лише після прийняття радянською владою Закону про Всеобуч (1927). Приблизно в цей же час у Франції та Великобританії було зроблено спроби забезпечити спільне навчання дітей із особливими освітніми потребами разом із здоровими однолітками.

У 60-ті – 80-ті рр. ХХ століття настав так званий період інтеграції – коли залучення дітей з особливими освітніми потребами до суспільного середовища стало нормою.

Варто відзначити, що процес інтеграції в першу чергу вимагав від дітей з особливими потребами прийняття «умов гри», притаманних суспільству. Цього було явно недостатньо для забезпечення якісної освіти, адже до суспільства за таких умов також слід ставити вимоги щодо забезпечення комфортних умов навчання для дітей з особливими потребами.

В традиційному розумінні інклюзивна освіта бере початок лише з 90-х років ХХ століття. В її основі лежить усвідомлення, що дитина з особливими потребами не зобов'язана готуватися до життя у суспільстві, а радше навпаки: завдання суспільства – забезпечення рівних умов для усіх його членів. Свідченням цьому є те, що з початку 80-х років у Західній Європі розпочалося зменшення кількості спеціалізованих шкіл. В Україні цей процес розпочався лише на рубежі ХХ і ХХІ століть.

Одразу після розпаду СРСР в Україні діти з особливими освітніми потребами мали змогу навчатися у величезній мережі спеціальних закладів освіти (середню освіту забезпечували школи-інтернати, спеціалізовані класи в загальноосвітніх школах), у яких лівова частка дітей залишалася поза суспільством. Цьому неабияк посприяло те, що влада СРСР провадила політику

ізоляції дітей з особливими потребами. Це позначилося і на об'ємно-планувальних рішеннях закладів середньої освіти, які функціонують досі. Інколи організувати у таких закладах інклюзивне освітнє середовище з точки зору пожежної безпеки досить складно.

Із здобуттям Україною незалежності було прийнято ряд законів, зокрема «Про освіту», «Про загальну середню освіту», «Про реабілітацію інвалідів в Україні», Національну доктрину розвитку освіти. Усі ці нормативні акти сприяли зростанню кількості навчально-реабілітаційних центрів для категорій дітей з тяжкими і помірними формами ДЦП, вадами слуху, опорно-рухового апарату, аутизмом.

У 2001 році з метою розробки механізму інтеграції дітей з особливими освітніми потребами в заклади дошкільної та середньої освіти МОН та Академія педагогічних наук України започаткували науково-педагогічний експеримент «Соціальна адаптація та інтеграція в суспільство дітей з особливостями психофізичного розвитку шляхом організації їх навчання у загальноосвітніх закладах».

Ще одним із важливих кроків на шляху до європейських стандартів інклюзивної освіти стала ратифікація у 2009 р. Верховною Радою України вже згаданої у цій роботі Конвенції ООН «Про права інвалідів», а також Факультативного протоколу до неї.

У 2010 році до Закону України «Про загальну середню освіту» було затверджено низку змін, які легалізували в загальноосвітніх закладах середньої освіти створення інклюзивних класів та груп. В серпні 2011 року Кабінет Міністрів України затвердив «Порядок організації інклюзивного навчання в загальноосвітніх навчальних закладах». В 2018 році до цього Порядку було внесено зміни, а також введено в дію низку державних будівельних норм, зокрема ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд» [58] та ДБН В.2.2-3:2018 «Заклади освіти. Будинки і споруди» [57].

Таким чином, станом на 2021 рік інклюзивне навчання поширене у всіх регіонах України.

1.1.3. Сучасний стан впровадження інклюзивної освіти в Україні

Станом на сьогодні діти з ООП мають змогу здобувати освіту в навчально-виховних закладах і комплексах, реабілітаційних центрах. В даному випадку мова йде про спеціальну освіту. Разом з тим, поряд із розвитком спеціальної освіти, паралельно передбачено можливість переведення дітей з особливими освітніми потребами із закладів спеціальної освіти до закладів загальної освіти з інклюзивним навчанням. [49].

У 2019 році кількість шкіл в Україні зменшилась на 596, порівняно з 2018 роком [79]. Станом на початок 2020 року в Україні налічувалося 14 175 шкіл, не враховуючи філій опорних закладів, шкіл-інтернатів, спеціальних та вечірніх шкіл, а також приватних закладів. Водночас, за цей же рік кількість класів збільшилася на 864 – з 198 840 до 199 704. У цих класах навчалося 4138466 учня (таблиця 1.1).

Державою на законодавчому рівні гарантовано право на освіту осіб з особливими освітніми потребами (Законами України «Про освіту», «Про дошкільну освіту», «Про повну загальну середню освіту», «Про позашкільну освіту» й інші). За даними ДНУ «ЮА», за чотири останні роки в Україні кількість учнів, які навчаються в інклюзивних класах закладів загальної середньої освіти, збільшилася у 4,5 рази (з 4180 учнів у 2016/2017 н. р. до 18643 учні у 2019/2020 н. р.); майже у п'ять разів збільшилася і кількість інклюзивних класів (з 2715 класів у 2016/2017 н. р. до 13497 класів у 2019/2020 н. р.), майже у сім разів зросла кількість асистентів учителя у таких класах (із 1825 асистентів у 2016/2017 н. р. до 12362 асистентів у 2019/2020 н. р.).

Кількість дітей (0-17 років) з особливими потребами станом на кінець 2019 року [83]

№ п/п	Найменування	Усього	з них жителі:	
			міських поселень	сільської місцевості
	Україна	163 886	107 658	56 228
	АР Крим	0	0	0
	Вінницька	6 950	3 889	3 061
	Волинська	5 627	2 780	2 847
	Дніпропетровська	13 183	11 252	1 931
	Донецька	7 084	6 205	879
	Житомирська	6 091	3 671	2 420
	Закарпатська	7 079	2 737	4 342
	Запорізька	7 042	5 625	1 417
	Івано-Франківська	6 191	2 497	3 694
	Київська	8 482	5 318	3 164
	Кіровоградська	3 869	2 587	1 282
	Луганська	2 233	1 616	617
	Львівська	11 342	6 706	4 636
	Миколаївська	5 070	3 478	1 592
	Одеська	8 628	5 643	2 985
	Полтавська	5 432	3 481	1 951
	Рівненська	6 665	2 684	3 981
	Сумська	3 879	2 902	977
	Тернопільська	4 845	2 133	2 712
	Харківська	9 354	7 381	1 973
	Херсонська	4 055	2 642	1 413
	Хмельницька	5 847	3 426	2 421
	Черкаська	4 603	2 832	1 771
	Чернівецька	4 498	1 583	2 915
	Чернігівська	4 417	3 170	1 247
	м.Київ	11 420	11 420	0

Динаміка збільшення кількості закладів середньої освіти з інклюзивними класами показана в табл. 1.2 та на рис. 1.1.

Таблиця 1.2

Динаміка збільшення кількості шкіл з інклюзивними класами та учнів, що у них навчаються [65, 83]

Навчальний рік	Кількість учнів	Кількість класів	Кількість шкіл	Кількість асистентів вчителя
2015/2016	2720	-	-	-
2016/2017	4180	2715	1518	1825
2017/2018	7179	5033	2620	3732
2018/2019	11866	8417	3790	7636
2019/2020	18643	13497	5331	12362

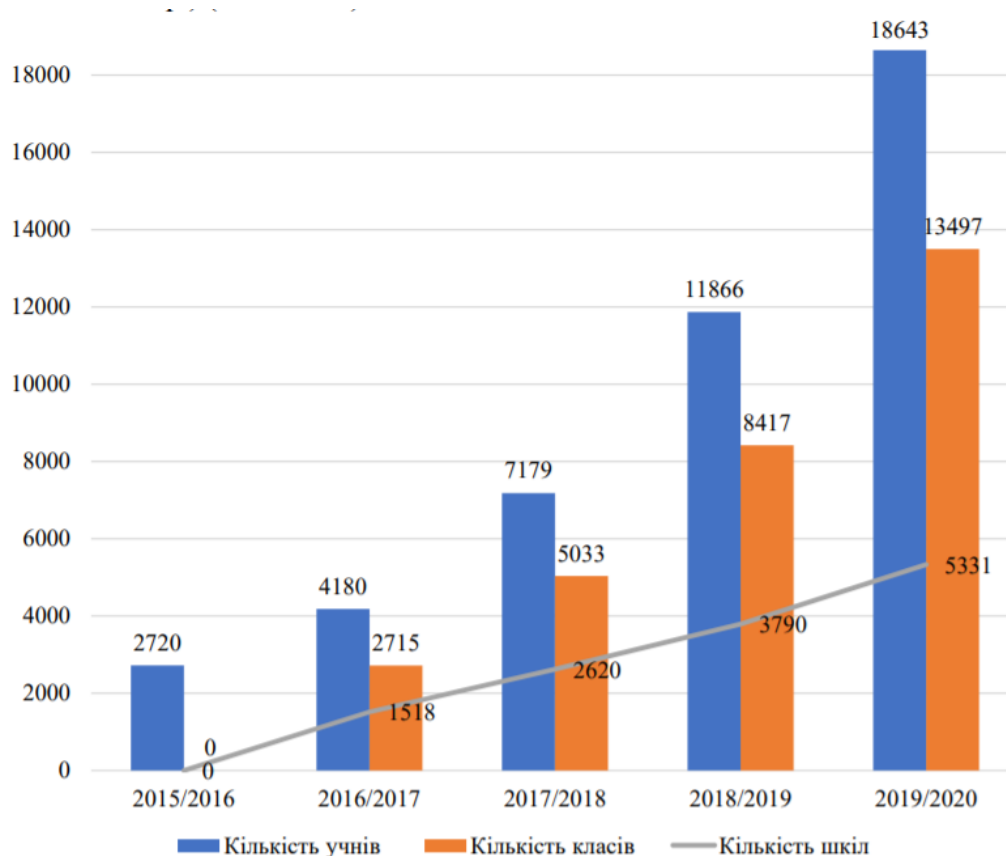


Рисунок 1.1 – Динаміка збільшення кількості закладів середньої освіти з інклюзивними класами у 2015-2020 роках [1].

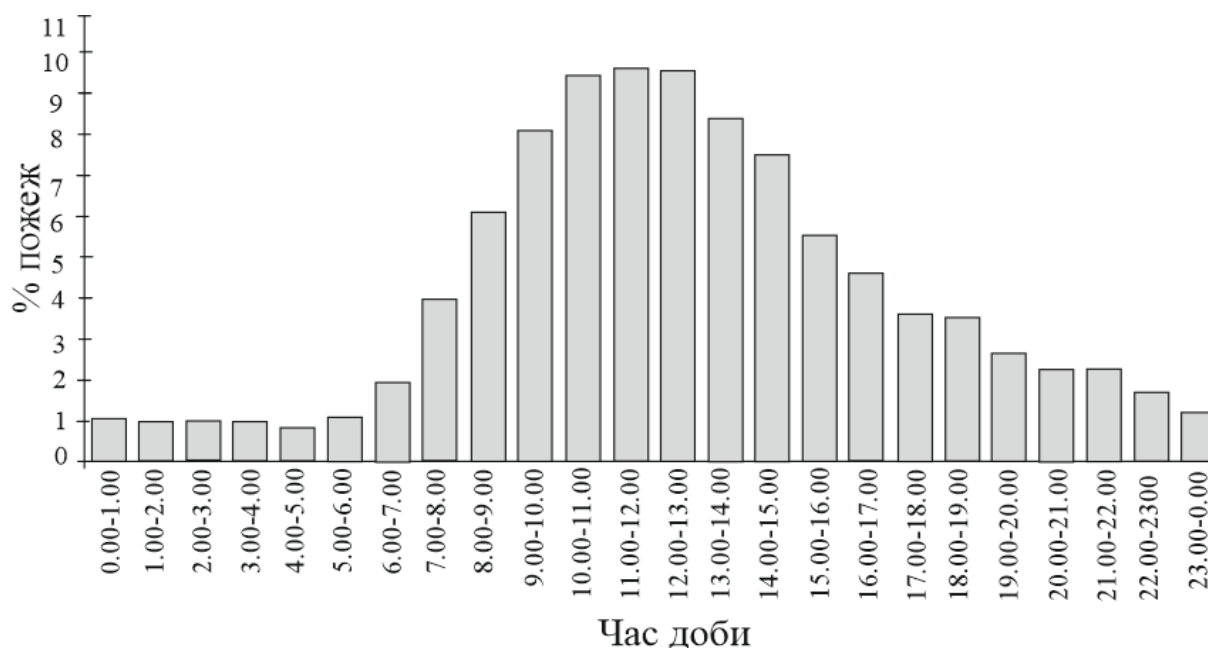
Також станом на 24.07.2020 р. кількість класів з інклюзивним навчанням в опорних школах і їх філіях становить 2 149; кількість учнів з особливими потребами, які в них навчаються – 3 278.

Аналіз наведених даних дає можливість зробити висновок, що, незважаючи на стрімкий розвиток інклюзивного освітнього середовища, із близько 100 тисяч дітей шкільного віку із особливими освітніми потребами, лише трохи більше 20% з них отримують повноцінну загальну середню освіту. Для порівняння: в Литві показник інклюзії сягає 90%, Польщі – 42%, Словаччини – 42%, Угорщині – 57%, Італії – 99%, Норвегії – 90%, Франції – 25%. [49].

1.2. Аналіз статистики пожеж в закладах загальної середньої освіти

З метою дослідження особливостей виникнення та перебігу пожеж в будівлях закладів середньої освіти було проаналізовано статистичні дані, наведені як у щорічних звітах ДСНС України, так і документації протипожежних служб інших країн [7, 40, 61, 94]. За результатами проведеного аналізу було встановлено, що близько 70% пожеж виникають у часовому інтервалі між 8.00 та 17.00, тобто тоді, коли у приміщеннях перебуває велика кількість учнів.

При цьому найбільш пожежонебезпечними місяцями є жовтень, січень і березень. На ці місяці припадає по 10% пожеж. Закономірно, що найменше пожеж виникають у літні місяці (6% – у червні і по 5% – у липні і серпні відповідно) (рисунок 1.2).



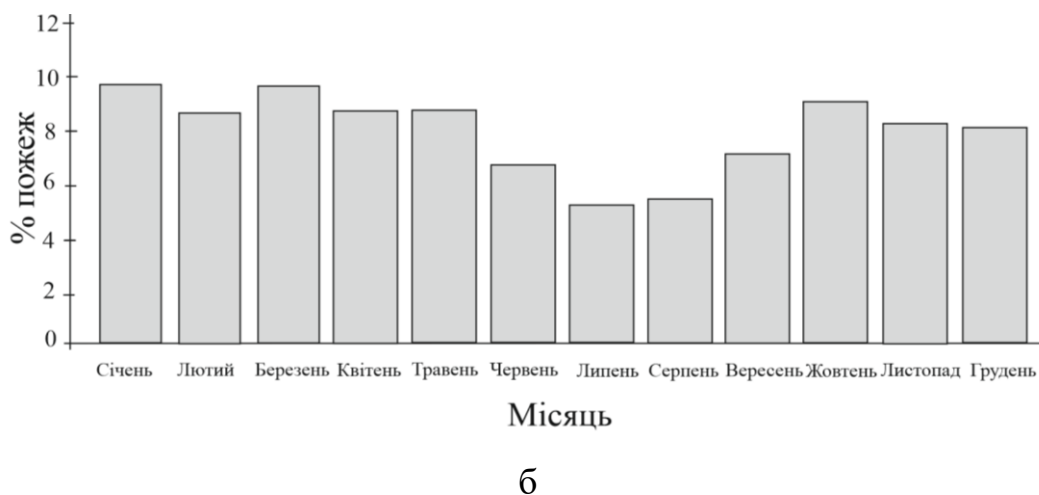


Рисунок 1.2 – Розподіл кількості пожеж в закладах середньої освіти:

а – за часом доби; б – за місяцями

За результатами аналізу причин виникнення пожеж у будівлях закладів середньої освіти можна виділити 3 основні характерні причини (таблиця 1.3):

- несправність або порушення умов експлуатації кухонного обладнання;
- необережне поводження з вогнем (сюди відносять пустощі дітей з вогнем та навмисні підпали);
- нагрівальні прилади та несправність електромереж.

Таблиця 1.3

Основні причини виникнення пожеж в закладах загальної середньої освіти

Заклади дошкільної освіти	Початкові школи	Загальноосвітні школи I-III ступенів	Інші заклади середньої освіти
Кухонне обладнання (73%)	Кухонне обладнання (36%)	Необережне поводження з вогнем (40,1%)	Кухонне обладнання (46%)
Нагрівальні прилади (6,5%)	Необережне поводження з вогнем (24%)	Кухонне обладнання (25%)	Нагрівальні прилади (21,5%)
Електрообладнання (5,3%)	Нагрівальні прилади (12,5%)	Нагрівальні прилади (8%)	Необережне поводження з вогнем (11%)

У закладах освіти, де передбачено навчання дітей дошкільного віку разом із учнями початкових шкіл (школи-садки) пожежі найчастіше виникають на кухнях (36% випадків). У приміщеннях, де навчаються учні 5-9 класів пожежі найчастіше виникають в результаті необережного поводження з вогнем (майже 40%). У приміщеннях старших класів, де учні є більш свідомими на перше місце виходять несправності електромереж (27%).



Рисунок 1.3 – Розподіл пожеж у закладах дошкільної та загальної середньої освіти за видами закладів

Аналіз пожеж за складністю та масштабами вказує на наступні особливості:

- 75% пожеж та займань ліквідують на початковому етапі, не дозволяючи їм поширюватися на інші предмети;
- 18% пожеж охоплюють приміщення, у яких вони виникли, не поширюючись на інші приміщення;
- майже у 7% випадків пожежі поширюються за межі приміщень (при цьому 1,7% не поширюються на інші поверхи, тоді як понад 5% переходять на інші поверхи);
- складних пожеж, що охоплюють усю будівлю менше 1%.

Причини, які підштовхують учнів закладів загальної середньої освіти до пустощів з вогнем, які стають причинами пожеж, можна розділити на 4 групи.

1. Цікавість. До цієї групи можна віднести учнів молодшого та середнього шкільного віку. Вони активно пізнають світ і закономірно, що вогонь може викликати у них інтерес. Пожежі в такому випадку виникають через необізнаність або необережність.

2. Психологічні (вікові) кризи. Коли стан справ у житті (навчання, сім'ї) дитину не влаштовує, а вона ще не має достатніх знань та досвіду дій в подібних ситуаціях, вчинки на кшталт підпалів можуть слугувати засобом привернення уваги.

3. Делінквентна поведінка. В психологічній літературі під цим терміном розуміють некримінальні правопорушення чи протиправну поведінку дітей та підлітків. Причиною може виступати намагання самоствердження при відсутності усвідомлення можливих наслідків.

4. Психологічні патології. В цьому випадку мова йде переважно про учнів старших класів або дорослих, які чітко усвідомлюють можливі наслідки, проте це не заважає їм чинити підпали. Як правило, подібні патології зводять до загального терміну «піроманія» [82] – розлад імпульсивної поведінки, що виражається у нестримному хворобливому потязі до підпалів, а також у сильному захопленні споглядання вогню та горіння.

Варто відзначити, що дуже часто важко виділити якусь одну із причин – як правило, винуватцям пожеж мотивацією слугують одразу кілька згаданих вище факторів.

Заслуговує уваги досить високий відсоток пожеж, що виникає з вини учнів. У більшості випадків такі пожежі можуть виникати під час перерв, коли діти перебувають без нагляду педагогів. В такому випадку організація евакуації значно ускладнюється. Через складність врахування усіх можливих варіантів це питання наразі досліджено недостатньо і потребує додаткових досліджень. Особливо на це слід звернути увагу за наявності в закладах загальної середньої освіти інклюзивних класів.

1.3. Вимоги до влаштування евакуаційних шляхів і виходів в будівлях закладів шкільної освіти з інклюзивним навчанням

Порядок організації інклюзивного навчання у закладах загальної середньої освіти було затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 15 серпня 2011 р. № 872 (Постановою КМ № 588 від 09.08.2017 до Порядку внесено низку змін). У цьому Порядку вимоги майже ідентичні із вимогами, встановленими до закладів дошкільної освіти [85]. Так, 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 візках [86].

У цій же Постанові зазначено, що власник та керівник загальноосвітнього навчального закладу несуть відповідальність за організацію, стан та якість інклюзивного навчання. Таким чином, на директорів шкіл покладається відповідальність за забезпечення відповідності об'ємно-планувальних та архітектурно-будівельних рішень вимогам державних будівельних норм.

У грудні 2018 року на Всеукраїнській нараді зі створення безперешкодного середовища у Міністерстві регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України було презентовано нові державні будівельні норми щодо доступності – ДБН В.2.2-40:2018 "Інклюзивність будівель і споруд". У цих нормах прописано усі вимоги до організації будівель та споруд, зокрема до входів та шляхів руху, а також для горизонтальних та вертикальних комунікацій [58].

1 вересня 2018 року набули чинності Державні будівельні норми ДБН В.2.2.3:2018 «Будинки і споруди. Заклади освіти», у яких визначено основні вимоги до закладів загальної середньої освіти (в тому числі з організацією інклюзивного навчання) [57].

На основі аналізу ДБН В.2.2-40:2018 та ДБН В.2.2-3:2018 можна визначити основні вимоги до влаштування евакуаційних шляхів і виходів в закладах середньої освіти з інклюзивними класами.

Максимально допустима кількість поверхів в будівлях закладів шкільної освіти – 4 (при цьому будівля повинна бути не нижче II ступеню вогнестійкості).

Якщо будівля III ступеню вогнестійкості, максимальне число поверхів – 3, кількість учнів – не більше 1600. Будівлі IV ступеня вогнестійкості допускається зводити з числом поверхів не більше 2 та розміщувати в них не більше 270 учнів. Таку ж максимальну кількість учнів можна розміщувати в будівлях закладів шкільної освіти IIIа, IIIб та V ступенів вогнестійкості, але при цьому допускається лише 1 поверх.

Вимоги до горизонтальних шляхів евакуації

Ширина горизонтальних ділянок шляхів евакуації повинна забезпечувати щільність людського потоку не менше 5 осіб на 1 м². При цьому ширина коридорів на поверхах із навчальними класами повинна становити не менше 2,2 м, а мінімальна допустима ширина усіх інших коридорів – 1,4 м. При одnobічному розташуванні класів ширина рекреаційних приміщень повинна становити не менше 2,8 м, при двобічному – не менше 3,5 м.

Ширина проходів між меблями у навчальних класах з інклюзивним навчанням повинна бути не менше 1,2 м (рис 1.4).

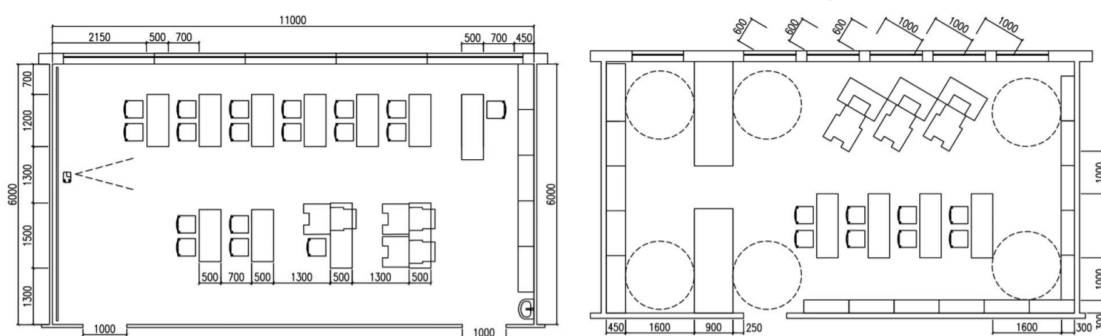


Рисунок 1.4. – Планування приміщень в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням [58]

Відстань від дверей навчальних класів, у яких передбачено навчання учнів з особливими потребами до евакуаційного виходу із поверху або назовні за умови виходу в тупиковий коридор не повинна перевищувати 15, в інших випадках – 30 м. Місця розміщення учнів з вадами слуху слід розміщувати не далі ніж за 10 м від джерела звуку.

Якщо за проектом немає можливості забезпечити евакуацію усіх учнів з особливими потребами у встановлений час, на шляхах евакуації необхідно передбачити пожегобезпечні зони, з яких вони матимуть змогу евакуюватися впродовж більш тривалого проміжку часу або перебувати до прибуття рятувальників.

Вимоги до вертикальних комунікацій (сходів і пандусів)

В будівлях закладів загальної середньої освіти з інклюзивними класами ширина маршів сходів повинна бути не менше 1,35 м. У випадках, коли ширина маршу сходів перевищує 2,5 м, необхідно влаштовувати розділові поручні. Верхню або зовнішню (відносно маршу) поверхню поручнів слід маркувати для позначення номеру поверху (тактильно або шрифтом Брайля). Першу та останню сходинки або поручні слід маркувати світловідбивними елементами.

В їдальнях закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням місця для харчування учнів з особливими освітніми потребами слід влаштовувати поблизу евакуаційних виходів, але не в зоні, через яку відбувається рух інших учнів.

Ухил внутрішніх пандусів не повинен перевищувати 8%.

Вимоги до дверних прорізів

Мінімальна ширина дверних прорізів на виходах із навчальних приміщень закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням становить 0,9 м за умови одночасного перебування в приміщенні не більше 15 осіб.

Вимоги до актових залів закладів середньої освіти з інклюзивними групами

Із актових залів закладів шкільної освіти потрібно передбачати не менше 2 евакуаційних виходів. Приміщення для учнів перших класів дозволено

розміщувати не вище 2-го поверху. Якщо будівля 4-поверхова, площа навчальних приміщень на 4-му поверсі не повинна перевищувати 25% площі поверху.

Спеціально для учнів з особливими освітніми потребами в актових залах слід передбачати спеціальні місця, розташовані в рядах, які мають вихід на самостійний шлях евакуації, що не перетинається із іншими евакуаційними шляхами.

1.4. Дослідження процесів евакуації в закладах шкільної освіти

1.4.1. Аналіз досліджень евакуації учнів з будівель закладів освіти

Проблемам евакуації дітей та підлітків дослідники почали приділяти увагу близько 50 років тому. Так, у 1974 році [66] було проведено натурні спостереження в 15 школах, на основі яких вперше було визначено закономірності руху потоків школярів у закладах загальної середньої освіти. Тоді ж було визначено площі горизонтальної проекції дітей і підлітків для трьох вікових груп. Ці самі значення використовуються для розрахунків і сьогодні. Зокрема, вони внесені до нового ДСТУ 8828:2019. «Пожежна безпека. Загальні положення». Автори цього дослідження Предтеченський В. М., Милінський А. І. стали одними із перших науковців, які у своїх роботах приділили увагу питанням евакуації учнів закладів загальної середньої освіти [77, 84].

Питаннями евакуації дітей та підлітків в СРСР та на пострадянському просторі також займалися Холщевніков В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П. та ін. [21, 80, 91, 92, 103-109], які досліджували процеси евакуації дітей віком від 3 до 17 років, використовуючи при цьому навчальні евакуації, натурні спостереження та анкетування.

У роботі Kravontka S.J. [24] (США, 1975) запропоновано концепцію пожежної сигналізації для дітей із вадами слуху. Це одна із перших робіт, пов'язаних із евакуацією дітей з особливими потребами.

Заслужують уваги також дослідження канадського науковця Б. Джонсона [20], який розглядав можливості та засоби евакуації людей із обмеженими можливостями з будівель різного призначення.

Однією з перших робіт, присвячених евакуації дітей дошкільного віку (1-5 років) є дослідження Murozaki Y. Та Ohnishi K. [30] (Японія, 1985).

Результати досліджень, присвячених евакуації дітей зі шкіл Бельгії, опубліковані у роботах Van Bogaert A.F. [44, 45] (1986).

Одними із перших науковців, які дослідили вплив психологічних факторів на процеси евакуації дітей старшого віку у закладах шкільної освіти, а також виконали спостереження за реакцією дітей на спрацювання автоматичної пожежної сигналізації, були Horasan M. Та Bruck D. (Австралія, 1994) [17].

Роботи Gamache S. та Porth D. (США, 2001) [12] присвячені розробці навчальних програм для закладів дошкільної освіти з акцентом на мінімізації ризиків травматизму при пожежі.

Відома наукова школа, представники якої чимало уваги приділяють питанням руху людських потоків, що складаються із учасників різних груп мобільності, сформована з науковців Університету м. Ухань (Китай). Однією із тем їх досліджень є вивчення параметрів руху на кріслах колісних [29].

Британські дослідники Prolux G., Heyes E., Hedman G. та інші зосередили зусилля на дослідженні можливостей евакуації осіб з особливими потребами за допомогою ліфтів [36, 37].

У дослідженнях колективу авторів під керівництвом Klüpfel H. (Німеччина, 2003) [22] було виконано порівняльний аналіз експериментальних даних про евакуацію дітей молодшого шкільного віку із закладів середньої освіти з результатами комп'ютерного моделювання аналогічних процесів.

У 2004 році було виконано міжнаціональну науково-дослідну роботу (Ono R., Tatebe K. та ін.) [32-34], в якій шляхом анкетування та тестування було порівняно суб'єктивне ставлення 11-14-річних школярів до пожежної безпеки загалом і евакуації зокрема.

У 2006 році під керівництвом Hassanain M.A. було виконано високобюджетну роботу, присвячену нормуванню евакуаційних шляхів та виходів в закладах освіти Саудівської Аравії [15].

Починаючи з 2008-2010 років кількість робіт, присвячених евакуації дітей та підлітків, активно зростає. Зокрема, суттєво збільшилася кількість досліджень впливу психологічних особливостей поведінки дітей на швидкість евакуації (Larusdottir A.R., Dederichs A.S. та ін.) [6, 26, 27], а також зростає кількість праць із використанням результатів комп'ютерної симуляції процесів (Capote J.A.).

У 2017 році представлено результати досліджень параметрів руху дітей з особливими потребами, виконаних Д. О. Самошиним та С. В. Слюсаревим [88-90, 95]. У них встановлено залежності швидкості та інтенсивності руху від щільності для однорідних потоків, що складаються із 100% учасників різних груп мобільності М2, М3, М4.

В Україні питання евакуації з будівель закладів дошкільної і загальної середньої освіти досліджували В. Ніжник, О. Тесленко, С. Цимбалістий, Н. Кравченко [78]

Аналіз закордонних нормативних документів, що регламентують вимоги до евакуаційних шляхів і виходів, а також моделі та методи розрахунків тривалості евакуації з будівель та споруд [2, 4, 18, 19, 25] показав відсутність єдиного підходу як до моделювання руху людських потоків в приміщеннях і будівлях, зокрема і у закладах освіти з інклюзивним навчанням. Причиною є різні підходи до архітектурно-будівельного проектування будівель закладів освіти, організації освітнього процесу та створення інклюзивного середовища. Як правило нормативні документи інших країн, як і в Україні, регламентують перелік моделей, за якими дозволено здійснювати розрахунки тривалості евакуації. Згідно цих моделей комерційні організації розробляють відповідне програмне забезпечення, яке, після проведення сертифікації, використовується у практичній діяльності. Оскільки продукти є комерційними, у відкритих джерелах кількість даних про математичний апарат, на який вони опираються,

обмежена [14]. Детальний порівняльний аналіз найбільш поширених програмних комплексів наведе в [99]. Відтак, у питанні нормування вимог до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням в Україні слід орієнтуватися в першу чергу на норми вітчизняного законодавства.

При цьому слід зауважити, що проблема евакуації дітей з особливими освітніми потребами досліджена не повною мірою. Зокрема, в Україні, зважаючи на інноваційність інклюзивного навчання, такі роботи не виконувалися.

Також варто відзначити, що попри те, що у світі вирішенням проблем підготовки до евакуації під час пожеж та НС та мінімізації тривалості цього процесу займаються достатньо давно [28], в Україні ці проблеми не досліджені належним чином. Зокрема, недостатньо уваги приділено розробці та реалізації ігрових методів формування в дітей знань та психологічної готовності до евакуації під час пожежі, які можуть бути дієвим засобом зменшення тривалості початкового етапу евакуації.

1.4.2. Особливості евакуації учнів з особливими освітніми потребами

Слід розрізняти поняття «діти з особливими освітніми потребами» і «діти з обмеженими можливостями». З'ясуємо зміст кожного з цих понять.

Діти з обмеженими можливостями – громадяни віком до 18 років, обмеження життєдіяльності яких викликане порушенням здоров'я зі стійким розладом функцій організму, що призводить до необхідності соціального захисту і допомоги [67].

Діти з особливими освітніми потребами – громадяни віком до 18 років, які потребують додаткової постійної чи тимчасової підтримки в освітньому процесі з метою забезпечення їх права на освіту [87].

Згідно Бюджетного Кодексу України [47], субвенція в 2020 році спрямована на надання державної підтримки для здобуття освіти дітьми з особливими освітніми потребами таких категорій: сліпих; зі зниженим зором;

глухих; зі зниженим слухом; з тяжкими порушеннями мовлення; із затримкою психічного розвитку; з порушеннями опорно-рухового апарату; з порушенням інтелектуального розвитку; зі складними порушеннями розвитку (зокрема й з розладами аутистичного спектра, зниженим зором і інтелектуальними порушеннями, зниженим слухом і інтелектуальними порушеннями, порушення опорно-рухового апарату і інтелектуальні порушення). Діти лише з вищезазначеними нозологіями мають особливі освітні потреби та потребують інклюзивного навчання. Інша категорія дітей, в тому числі з порушенням психологічного розвитку, порушенням поведінки, не підлягає інклюзивному навчанню.

Таким чином, нозології дітей з особливими освітніми потребами можна умовно розділити на дві групи:

- ті, які **безпосередньо** впливають на швидкість руху під час евакуації;
- ті, які **опосередковано** впливають на швидкість руху під час евакуації.

До першої групи можна віднести порушення опорно-рухового апарату (вроджені або набуті). Швидкість руху дітей з порушеннями опорно-рухового апарату залежать від великої кількості факторів і залежать як від віку, так і допоміжних засобів пересування (моторизовані та немоторизовані візки, наявність та кількість опор тощо).

До другої групи в першу чергу слід віднести сліпоту (порушення гостроти зору), яка ускладнює орієнтацію в просторі і можливість самостійного вибору напрямку евакуації. Глухота (порушення слуху) впливає на збільшення тривалості початкового етапу евакуації. Розлади аутистичного спектру, психічні та інтелектуальні порушення, залежно від складності, впливають як на початковий етап евакуації, так і на швидкість руху в цілому, можуть супроводжуватися порушенням опорно-рухового апарату і потребують постійного контролю вчителя (асистента вчителя).

Спеціально для оцінки здатності до евакуації осіб з обмеженими можливостями в закордонних нормативних джерелах передбачено спеціальний показник – EPI (Evacuation Performance Index) [39]. 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.

В дослідженнях, пов'язаних із нормуванням вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів, показник ЕРІ може бути корисним, оскільки з його допомогою можна обґрунтувати такий склад інклюзивного класу, при якому швидкість евакуації буде найменшою. Відтак, надалі усі дослідження можна буде проводити для заздалегідь визначеного найнесприятливішого варіанту.

1.5. Висновки до розділу

Виконано аналіз сучасного стану розвитку інклюзивної освіти в Україні, статистики пожеж у закладах шкільної освіти, зокрема у школах з інклюзивним навчанням в світі та Україні. Встановлено зростання кількості інклюзивних класів в Україні у 7 разів за останні 5 років, що, при показнику інклюзії близько 20%, свідчить про збереження тенденції до стрімкого розвитку інклюзивного освітнього середовища.

Здійснено аналітичний огляд літературних джерел у галузі нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах освіти з інклюзивним навчанням. Виявлено відсутність емпіричних даних, необхідних для моделювання руху людських потоків під час евакуації із закладів шкільної освіти, зокрема значень швидкості та інтенсивності руху змішаних потоків, що складаються з учнів закладів загальної середньої освіти різних груп мобільності.

Встановлено, що розкриття особливостей впливу чинників на швидкість та інтенсивність руху потоків учнів закладів середньої освіти 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.

Результати досліджень опубліковано в [100], [102], [61], [52].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1 січня 2020 року набув чинності ДСТУ 8828:2019. «Пожежна безпека. Загальні положення» [59], у якому регламентовано використання методів та моделей для розрахунку часу евакуації з будівель різного призначення.

Основними параметрами руху евакуаційного потоку є щільність, швидкість та інтенсивність руху. Задля визначення цих параметрів необхідно провести натурні спостереження в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням та сформувати статистичну базу емпіричних даних. У цьому розділі проаналізуємо чинні методики для розрахунку часу евакуації та опишемо методи, за якими на основі натурних спостережень будемо визначати потрібні нам параметри евакуації.

2.1. Обґрунтування моделей та методів розрахунку часу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням

Важливою складовою розрахунку тривалості евакуації з будь-якого приміщення при пожежі є моделювання руху людських потоків. Від адекватності конкретної моделі залежить точність розрахунків. Проаналізуємо наявні моделі, які використовують для розрахунку часу евакуації.

2.1.1. Класифікація моделей евакуації

Більшість моделей, що описують рух людей в евакуаційних потоках, представлені математичними функціями. Усі моделі можна розділити на 2 групи:

- математичні;
- психологічні.

Психологічні моделі мають низку обмежень для використання. Перш за все, психологічні особливості поведінки людей в умовах пожежі досі вивчені недостатньо через складність проведення експериментів. Тому для розрахунку тривалості евакуації з будівель та споруд частіше використовують саме математичні моделі. Їх, в свою чергу, поділяють на:

- емпіричні;
- аналогові;
- системні.

Емпіричні математичні моделі відображають результати великої кількості натурних спостережень, та виявлених на їх основі закономірностей. Вони забезпечують точні результати розрахунків, тому є найбільш поширеними. Емпіричні моделі теж можна поділити на 2 групи:

1) відображають загальні особливості руху людських потоків

У моделях цієї групи розглядають загальні характеристики змішаних потоків людей. Перші моделі були розроблені одразу після Другої світової війни у Великобританії і були своєрідною відповіддю на необхідність опису процесів евакуації мирного населення під час бомбардування міст. Недоліком таких моделей є відсутність універсальності. Їх можна вдало застосовувати для одних будівель і отримувати незадовільні результати в інших.

2) відображають індивідуальні особливості учасників руху

Потреба в таких моделях виникла, оскільки попередня група моделей показала неможливість здійснення точних розрахунків для людей з особливими потребами. Моделі цієї групи дозволяють враховувати як фізичні особливості людей з особливими потребами, так і необхідність залучення інших людей для їх пересування. Як і в попередньому випадку, основним недоліком таких моделей є неможливість їх застосування для різних об'єктів. Відтак, кожен конкретний вид будівель потребує створення окремої моделі.

Аналогові моделі

Такі моделі передбачають використання закономірностей, що описують інші динамічні системи, у якості аналогів для відображення особливостей руху людських потоків, наприклад, рівнянь гідравліки чи механіки. Найпоширенішими представниками такої групи є: моделі, створені на основі теорії графів, моделі, створені за принципами магнетизму та кінетичні моделі.

Саме представником цієї групи моделей є спрощена аналітична модель руху, використання якої регламентовано ДСТУ 8828:2019. Недоліком такої групи моделей є неможливість врахування початкового етапу евакуації та руху різнонаправлених потоків на ділянках.

Системна модель – це сукупність кількох взаємопов’язаних підсистем, кожна з яких виконує певну функцію. Такі моделі, як правило, потребують застосування комп’ютерної техніки. Стрімкий розвиток інформаційних технологій дає змогу створювати складні системи, що забезпечують високу точність розрахунків. Прикладом такої моделі є індивідуально-потоківна модель (також рекомендована до використання ДСТУ 8828:2019). Недоліком таких моделей є складність використання, необхідність застосування потужного комп’ютерного обладнання. Розрахунки, що виконуються за допомогою таких програм, іноді потребують значних затрат часу.

Як бачимо, усі описані вище моделі можна умовно розділити на мікроскопічні і макроскопічні (або індивідуальні та поточні). У першому випадку кожна людина розглядається окремо від інших. Такий підхід дозволяє призначати учасникам евакуації індивідуальні характеристики. Наприклад, такі, як маса, зріст, вік, стать, швидкість, роль в процесі евакуації, евакуаційний вихід як пункт призначення і т. д. У другому випадку розглядається лише рух маси людей з певними однорідними характеристиками (наприклад, щільністю учасників і середньою швидкістю пересування всієї групи).

Перші моделі руху людей були макроскопічними і описували зміни щільності людей і їх швидкості в часі [9, 11]. Зазвичай моделі макрорівня детерміновані і безперервні. У макроскопічному підході виділяються кілька напрямків.

Перший напрям – моделі на основі гідродинаміки і молекулярно-кінетичної теорії (Д. Хелбінг) [16]. Основним недоліком цих моделей є неможливість коректного опису руху потоків людей при малих щільностях, тобто в приміщеннях з розвиненою внутрішньою інфраструктурою (наприклад, лекційні та глядацькі зали, навчальні класи, торгові зали і т.д.).

Також до макромоделей належать потоківна модель першого порядку, модель Бруно [5]; модель Коломбо-Росіні [8] та багато інших.

З розвитком обчислювальної техніки великої популярності набули мікроскопічні моделі. Однією з перших і найвідоміших є модель соціальних сил, в якій взаємодія між окремими частинками здійснюється за допомогою використання ідеї соціальної сили або соціального поля. Ця модель належить

до детермінованих безперервних моделей. Залежно від динаміки руху людей, соціальна сила представляє вплив оточення. Ця сила відповідальна за величину прискорення кожної частки. Рух частинок відбувається за рівнянням 2-го закону Ньютона. Частковим аналогом моделі соціальних сил є модель оптимальної швидкості. Тут не враховуються фізичні взаємодії людей, а тільки відхилення швидкості від бажаної внаслідок наявності інших людей на шляху, при цьому вплив людей, що стоять попереду, виражено сильніше.

Станом на сьогодні низка дослідників сходяться на думці, що надзвичайно стрімкий розвиток інформаційних технологій вимагає розробки принципово нових підходів до моделювання процесів евакуації [43]. Більшість наявних моделей ґрунтуються на засадах, сформованих тоді, коли потужності ЕОМ були досить обмеженими. Відтак, попри наявність великої кількості моделей руху людських потоків, розробка нових засобів досі залишається надзвичайно актуальною.

2.1.2 Обґрунтування вибору моделі для розрахунку

Згідно ДСТУ 8828:2019 розрахунок тривалості евакуації з будівель чи споруд різного призначення за трьома розрахунковими методами.

1. Спрощений аналітичний метод

Спрощена аналітична модель дозволяє виконувати розрахунки без застосування комп'ютерної техніки, є потоковою (модель макрорівня) і має ряд недоліків, про які вже було згадано. Розрахункова тривалість евакуації людей t_p в такому випадку визначається для усіх можливих потоків. Підсумкове значення тривалості евакуації визначається за даними потоку, тривалість евакуації якого буде найбільшою.

В процесі виконання розрахунку шлях від початку руху до виходу у безпечну зону поділяється на елементарні ділянки. Такими ділянками можуть бути проходи, коридори, дверні прорізи, сходові марші, тамбури, пандуси тощо. Кожна ділянка характеризується такими параметрами, як довжина l_i і ширина b_i . Первинними ділянками, в залежності від виду та призначення приміщення чи будівлі, можуть бути проходи між обладнанням, робочими

місцями, меблями тощо. В закладах загальної середньої освіти розрахунок слід розпочинати з проходів між партами.

Значення довжини і ширини ділянок визначають за фактом або відповідно до проектно-кошторисної документації. Довжину похилих ділянок (сходи, пандуси) визначають відповідно до планів поверхів та кутів нахилу. Довжину дверних прорізів, влаштованих у стінах товщиною до 0,7 м при розрахунку не враховують (приймають рівною 0 м). Якщо ж товщина стіни більше 0,7 м, такі прорізи розглядають як самостійні горизонтальні ділянки.

Для кожного потоку розрахункова тривалість евакуації t_p слід визначається шляхом знаходження суми значень тривалості руху на кожній із елементарних ділянок:

$$t_p = t_1 + t_2 + \dots + t_i, \quad (2.1)$$

де: t_1 – тривалість руху на первинній ділянці;

t_2, \dots, t_i – тривалість руху потоку на наступних після першої ділянках.

Очевидно, що якщо учасники евакуації рухаються паралельними ділянками (наприклад, у класі – паралельними проходами між рядами), то при визначенні сумарної тривалості тривалості руху на кожній із ділянок не додаються. Натомість, серед отриманих обирають найбільше значення тривалості.

На первинній евакуаційній ділянці тривалість руху потоку t_1 визначають за формулою:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \quad (2.2)$$

де l_1 – довжина первинної евакуаційної ділянки шляху, м;

V_1 – швидкість руху людського потоку по горизонтальному шляху на першій ділянці, м/хв (визначається залежно від щільності D).

На первинній ділянці щільність потоку D_1 розраховують згідно з формулою:

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot b_1}, \quad (2.3)$$

де N_1 – кількість людей на первинній ділянці. Для закладу загальної середньої освіти – кількість учнів, що евакуюються через один прохід між рядами столів;
 f – середня площа горизонтальної проекції людини, м²/люд;
 b_1 – ширина первинної ділянки, м.

На основі розрахованого значення щільності потоку D_1 із таблиці 2.1 визначають значення інтенсивності руху потоку на первинній ділянці q_1 .

В подальшому при переході з первинної ділянки на наступні швидкість руху людського потоку V_1 визначають за таблицею 2.1, орієнтуючись за значенням інтенсивності руху потоку на кожній із ділянок. Для кожної ділянки, окрім первинної (в тому числі і для дверних прорізів), інтенсивність розраховують за формулою:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (2.4)$$

де b_i, b_{i-1} – ширина розрахункової ділянки та ділянки, яка їй передує, відповідно;

q_i, q_{i-1} – інтенсивність руху потоку розрахунковою ділянкою та ділянкою, яка їй передує, відповідно.

Таблиця 2.1

Інтенсивність і швидкість руху людського потоку на різних ділянках шляхів евакуації в залежності від щільності для групи мобільності М1 [59]

Щільність потоку D м ² /м ²	Горизонтальний Шлях		Дверний проріз, інтенсивність q , м/хв	Сходи вниз		Сходи вверх	
	Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв.		Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв	Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 і більше	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Для дверних прорізів шириною понад 1,6 м інтенсивність руху при щільності потоку понад 0,9 приймається рівною 8,5 м/хв, при меншій ширині прорізу інтенсивність необхідно визначати за співвідношенням $q = 2,5 + 3,75 \cdot b$.

Для випадків, коли значення інтенсивності q_i не перевищує допустимого значення q_{\max} , тривалість руху на ділянці шляху t_i , визначається:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \quad (2.5)$$

Якщо ж розрахункова інтенсивність q перевищує значення q_{\max} , то за можливості ширину b_i ділянки необхідно збільшити до значення, при якому буде виконуватися умова:

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (2.6)$$

Очевидно, це можливо втілити у життя на етапі будівництва або реконструкції. Якщо ж об'єкт уже функціонує, необхідно обрати із таблиці 2.1 значення швидкості та інтенсивності, які відповідають щільності потоку $D = 0,9$ і більше. Окрім цього необхідно розрахувати тривалість затримки через скупчення на ділянці. Для цього слід використовувати формулу:

$$t_3 = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{q(D=0,9) \cdot b_{i-1}} - \frac{1}{q_{i-1} \cdot b_i} \right). \quad (2.7)$$

де q_{i-1} – інтенсивність руху евакуаційних потоків, що зливаються на початку i -ї ділянки, м/хв;

b_{i-1} – ширина ділянок шляху злиття, м;

b_i – ширина розглянутої ділянки шляху, м.

Для різних ділянок шляху допустимі значенні інтенсивності руху q_{\max} , становлять:

- для горизонтальних ділянок $q_{\max} = 16,5$ м/хв;
- для дверних прорізів $q_{\max} = 19,6$ м/хв;
- для сходів вгору $q_{\max} = 11,0$ м/хв;
- для сходів вниз $q_{\max} = 16,0$ м/хв.

Якщо в певній точці шляху зливаються два або більше потоків, інтенсивність руху на ділянці одразу після злиття необхідно розраховувати за формулою:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (2.8)$$

2. Індивідуально-потокова модель руху людей із будівлі чи споруди

Індивідуально-потокова модель руху є моделлю макрорівня, яка дозволяє враховувати індивідуальні особливості кожного учасника евакуації. При розрахунку тривалості евакуації за цією моделлю остаточний результат визначається за часом виходу з будівлі останнього учасника.

Розрахунок розпочинається із складання розрахункової схеми евакуації. Як і при спрощеному аналітичному методі, усі шляхи евакуації поділяються на елементарні ділянки розмірами $a \times b$.

Для кожного учасника евакуації, в залежності від групи мобільності, вихідними даними для розрахунку є площа горизонтальної проекції та координата x_i , яка вказує на відстань учасника до кінця ділянки (рис. 2.1). Початкові координати визначають згідно зі схемою розміщення людей у приміщенні. Для навчального класу закладу середньої освіти схема розміщення у початковий момент часу відтворює положення учнів за робочими столами у класі. У випадку відсутності даних про меблі або обладнання, приймається рівномірне розміщення учасників евакуації на всій площі приміщення (первинної ділянки).

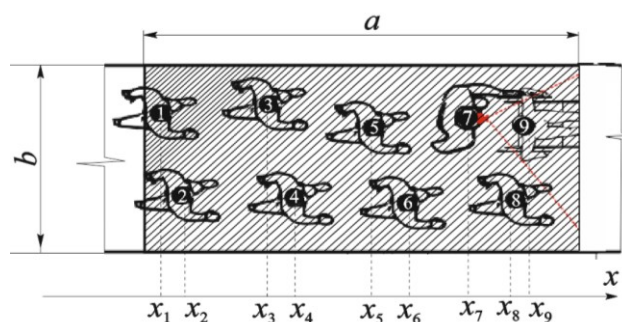


Рисунок 2.1 – Координатна схема розміщення учасників руху на шляхах евакуації

Координата кожного учасника евакуації в момент часу t визначається за формулою:

$$x_i(t) = x_i(t - \Delta t) - V_i(t) \cdot \Delta t \quad \text{м}, \quad (2.8)$$

де $x_i(t - \Delta t)$ – координата i -го учасника руху в попередній момент часу, м;

$V_i(t)$ – швидкість i -го учасника в момент часу t , м/с;

Δt – проміжок часу, с.

Швидкість i -го учасника $V_i(t)$ у момент часу t визначається за таблицею 2.1 в залежності від щільності потоку, у якому вона рухається, $D_i(t)$ і типу ділянки евакуації.

Щільність $D_i(t)$ визначається для певних груп учасників руху, що складаються з n людей:

$$D_i(t) = (n(t) - 1) \cdot \frac{f}{(b - \Delta x)} \quad \text{м}^2/\text{м}^2, \quad (2.9)$$

де n – кількість людей у групі, люд.;

f – середня площа горизонтальної проекції учасника руху, м²;

b – ширина евакуаційної ділянки, м;

Δx – різниця координат першого і останнього учасників в групі, м.

Якщо координата учасника $x_i(t)$, визначена за (2.8), набуває від'ємного значення, це свідчить про те, що учасник досяг межі поточної ділянки та переходить на наступну.

Координата учасника на наступній ділянці визначається за формулою:

$$x_i(t) = [x_i(t - dt) - V_i(t) \cdot dt] + a_k - l_k, \quad (2.10)$$

де $x_i(t - dt)$ – координата i -го учасника в попередній момент часу на попередній $(k - 1)$ евакуаційній ділянці, м;

$V_i(t)$ – швидкість i -го учасника на $(k - 1)$ евакуаційній ділянці в момент часу t , м/с;

a_k – довжина поточної k -ї евакуаційної ділянки, м;

l_k – координата точки злиття k -ї та $(k - 1)$ евакуаційних ділянок.

Інтенсивність переходу учасників руху між ділянками залежить від пропускної здатності виходу з ділянки $Q_k(t)$ і визначається:

$$Q_k(t) = q_k(t) \cdot c_k \frac{dt}{f \cdot 60}, \quad (2.11)$$

де $q_k(t)$ – інтенсивність руху на виході з k -ї евакуаційної ділянки в момент часу t , м/хв;

c_k – ширина виходу з k -ї евакуаційної ділянки, м;

dt – проміжок часу, с;

f – середня площа горизонтальної проекції учасника руху, m^2 .

Інтенсивність руху на виході з k -ї евакуаційної ділянки $q_k(t)$ у момент часу t визначається аналогічним чином, як і при застосування спрощеної аналітичної моделі – за щільністю потоку.

Щільність людського потоку на евакуаційній ділянці у момент часу t визначається за формулою:

$$D(t) = \frac{N_k \cdot f \cdot dt}{a_k \cdot b_k} \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (2.12)$$

N_k – кількість людей на k -й евакуаційній ділянці, люд.;

f – середня площа горизонтальної проекції учасника евакуації, m^2 ;

a_k – довжина k -ї евакуаційної ділянки, м;

b_k – ширина k -ї евакуаційної ділянки, м;

dt – інтервал часу, с.

У момент часу t визначається кількість учасників руху m , у яких координати, обчислені згідно (2.8), набули від'ємного значення. Якщо виконується умова $m \leq Q_k(t)$, це означає, що всі m учасників перейшли на наступну евакуаційну ділянку, на якій їх координати визначаються за формулою (2.10). Якщо ж $m > Q_k(t)$, це свідчить, що на наступну ділянку перейшло $Q_k(t)$ учасників, тоді як на поточній залишилося $(m - Q_k(t))$. Отже, приймається, що перед виходом з ділянки виникає скупчення. При скупченні учасники розподіляються у ряди збоку один від одного. Максимальна кількість

учасників, що можуть знаходитися у ряді, визначається залежно від параметрів кожної ділянки. Координати учасника руху у скупченні визначаються за формулою $x_i(t) = n \cdot 0,25 + 0,25$, де n – номер ряду.

Таким чином, розрахунок тривалості евакуації відбувається за наступною послідовністю. Відповідно до вихідних даних (початкові координати учасників та розміри кожної ділянки) визначаються щільності людських потоків на та пропускні здатності виходів з ділянок. У момент часу $t = t + dt$ визначається наявність на шляхах евакуації НЧП. Це дозволяє встановити напрямок руху кожного учасника і визначити його координату. Після цього повторно визначаються щільності потоків та пропускні здатності виходів. Процес повторюють крок за кроком, допоки усі учасники евакуації не залишать будівлі. Вочевидь, такі розрахунки можливо здійснювати лише із використанням сучасних комп'ютерних програм.

Імітаційно-стохастична модель руху людських потоків

Стохастичними вважають моделі, у яких параметри, умови функціонування і характеристики стану об'єкта, що моделюється, представлені випадковими величинами і пов'язані випадковими залежностями. Таким чином, характеристики стану в моделі визначаються не однозначно, а через закони розподілу їх ймовірностей. У цій моделі, за аналогією до попередніх, розподіл N_i людей на первинних ділянках шириною b_i і довжиною a_i приймається рівномірним. Відтак, в початковий момент часу t_0 на ділянці Δl_i щільність потоку визначається за формулою (2.12).

В подальшому в процесі руху відбувається злиття та переформування потоків. При цьому слід розуміти, що передня частина потоку, де перед учасниками руху немає інших учасників, розтікається – усі намагаються йти вільно. Вільний рух можливий при певному значенні щільності D_0 . За інтервал часу Δt частина людей переходить з цих елементарних ділянок на наступні та відбувається зміна стану людського потоку.

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:

$$V_{Dj} = V_{0j} \left[1 - a_j \ln \frac{D}{D_{0j}} \right], \text{ при } D > D_{0j} \quad (2.13)$$

$$q_{Dj} = V_{Dj} D \quad (2.14)$$

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} – порогове 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.

При будь-якому можливому значенні $V_D(t)$ люди в кількості $N_i(t)$, що знаходяться в момент t_0 на i -й елементарній ділянці, рухаються по ній та починають переходити на наступну ділянку ($i + 1$). На ділянку i у свою чергу переходить частина людей із попередньої ($i - 1$) елементарної ділянки та з витоку j .

Враховуючи сполучення потоків, кількість людей N_i , що заходять на ділянку i за одиницю часу буде рівною:

$$N_i = \sum_{i=1}^n \int_0^t V_D(t) b_i D_i(t) dt \quad (2.15)$$

Визначимо кількість людей, що залишають ділянку i .

$$N_o = \sum_{i=1}^n \int_0^{t_0} V_D(t) b_i D_i(t) dt + \int_{t_0}^t V_D(t) b D(t) dt \quad (2.16)$$

де t_0 – час виходу першої людини за межі ділянки.

Таким чином, кількість людей, що перебуває в ділянці i в певний момент часу можна визначити

$$N = N_i - N_o = \sum_{i=1}^k \int_0^t V_D(t) b_i D_i(t) dt - \left(\sum_{i=1}^k \int_0^{t_0} V_D(t) b_i D_i(t) dt + \int_{t_0}^t V_D(t) b D(t) dt \right) = \sum_{i=1}^k \int_{t_0}^t V_D(t) b_i D_i(t) dt - \int_{t_0}^t V_D(t) b D(t) dt. \quad (2.17)$$

Знаючи загальну кількість людей, що проходять через ділянку, можна визначити час, за який потік пройде крізь ділянку:

$$t = t_0 + \frac{N_{заг} - \sum_{i=1}^k \int_0^{t_0} V_D(t) b_i D_i(t) dt}{V_{вих} \cdot q_{вих} \cdot b}, \quad (2.18)$$

де $N_{заг}$ – загальна кількість людей, що евакуювалися через вихід; $v_{вих}$ – швидкість вільного руху на переході між ділянками; $q_{вих}$ – інтенсивність вільного руху при переході між ділянками; b – ширина переходу між ділянками.

Як бачимо, для реалізації імітаційно стохастичної моделі також необхідно використання відповідного програмного забезпечення.

2.2. Визначення площі горизонтальної проекції учнів різних вікових груп

Площу горизонтальної проекції людини можна визначати різними способами. В чинних нормативних документах вказано значення площ горизонтальних проекцій дітей та підлітків, визначені під час досліджень, проведених в 1974 році [66] (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Площі горизонтальної проекції дітей і підлітків [59]

Тип одягу	Вікові групи		
	Молодша до 9 років	Середня 10 – 13 років	Старша 14-16 років
домашній одяг	0,04	0,06	0,08
домашній одяг зі шкільною сумкою	0,07	0,10	0,14
вуличний одяг зі шкільною сумкою	0,09	0,13	0,16

Оскільки з часу проведення замірів минуло майже 50 років, доцільно провести повторні дослідження з метою уточнення значень. Ці значення необхідні для переведення значень щільності із кількості осіб на одиницю площі до розмірних одиниць m^2/m^2 , що використовуються в нормативних документах.

Найточніші результати можна отримати, використовуючи сучасні інформаційні технології. Відтак, дослідження необхідно провести у кілька етапів.

Перший етап передбачав здійснення планової фотозйомки з глибинним масштабом. Метою цього етапу було отримання 3-х варіантів фотографій (у літньому одязі, у літньому одязі з шкільною сумкою та у зимовому одязі з шкільною сумкою) кожного учасника експерименту за допомогою фотокамери, встановленої на висоті 3 м. Всіх учасників фотографували на білому аркуші паперу площею розміром 1x1 м (рис 2.2). Під час фотозйомки оптична вісь об'єктива співпадала з горизонтальною віссю симетрії людини, а фокальну площину фотокамери було встановлено паралельно до підлоги. Одночасно із фотографуванням було проведено заміри значення ширини горизонтальної проєкції учасника (за наявності шкільної сумки вимірювання здійснювалося на рівні найвищої точки сумки).



а)

б)

в)

Рисунок 2.2 – Фото учасника експерименту:

а – у літньому одязі; б – у літньому одязі зі шкільною сумкою;

в – в зимовому одязі зі шкільною сумкою

Подальші обрахунки виконувалися у графічному редакторі, який дає можливість визначати площу фігур. Зокрема, було обрано CorelDraw із застосуванням скрипта GetArea. Усі фотографії імпортувалися до редактора, обрізалися та масштабувалися (саме для цього і використовувався квадратний аркуш розміром 1 x 1 м) (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Масштабування у графічному редакторі

Отримані зображення не давали змоги точно визначити площу геометричної проекції учасника експерименту, оскільки в такому випадку мало місце перспективне спотворення. Щоб позбутися цього спотворення, використовувалися результати замірів ширини горизонтальної проекції на рівні найвищої точки шкільної сумки. (рис. 2.4)

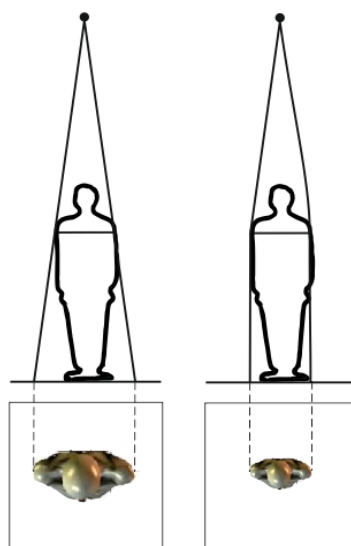


Рисунок 2.4 – Усунення перспективного спотворення

Для цього було виконано трасування кожної фотографії з метою отримання криволінійної фігури та повторне масштабування відповідно до замірів. Такі дії дозволяли отримати криволінійну фігуру, придатну для подальшого визначення площі (рис. 2.5).

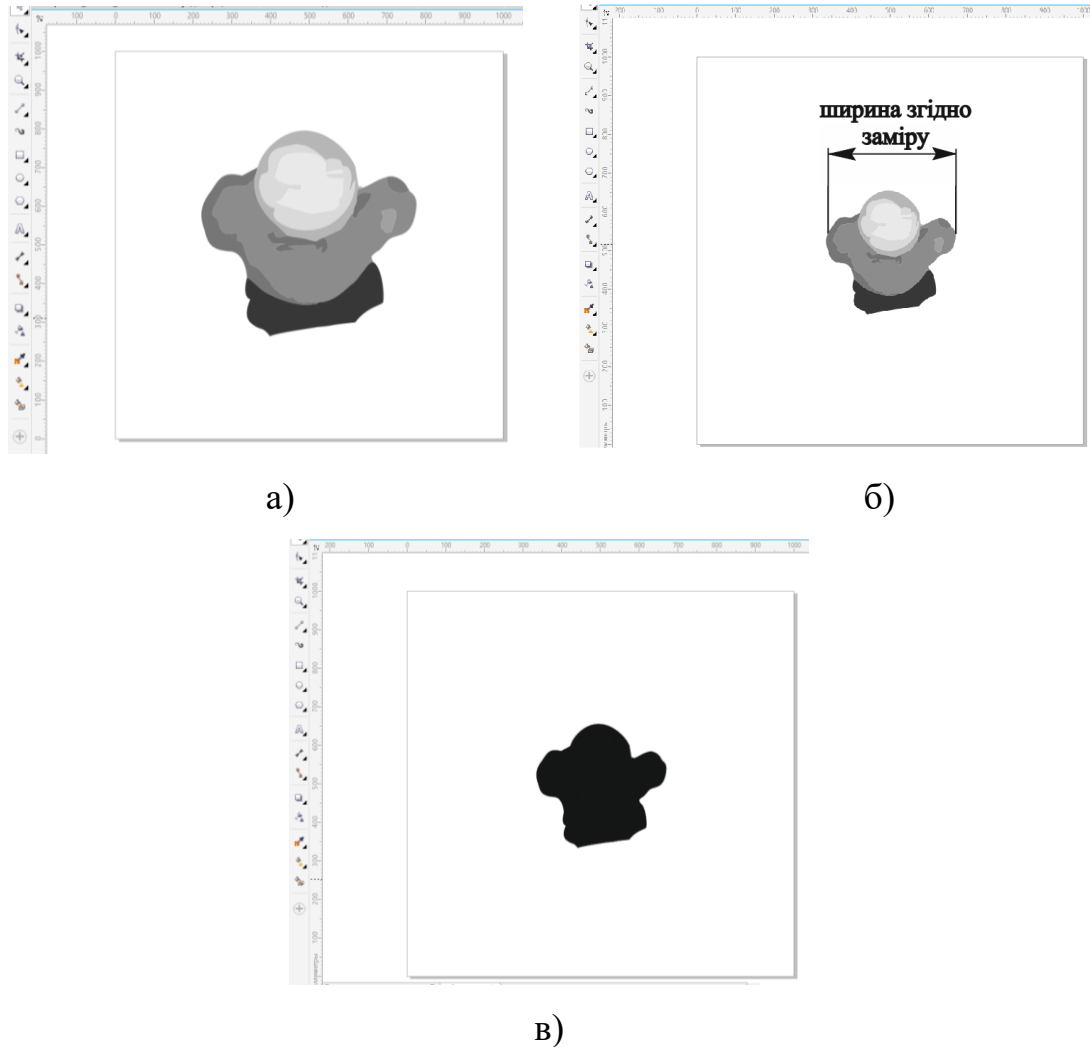


Рисунок 2.5 – Отримання криволінійної фігури для визначення площі:
 а – фігура після трасування; б – фігура після усунення перспективного спотворення; в – криволінійна фігура для визначення площі

На завершальному етапі за допомогою скрипта GetArea було обчислено значення площі кожної фігури. Отримані дані зберігалися і вносились до бази даних із зазначенням віку та статі учасника, а криволінійні фігури – до бібліотеки фігур з метою використання у подальших дослідженнях (рис. 2.6).

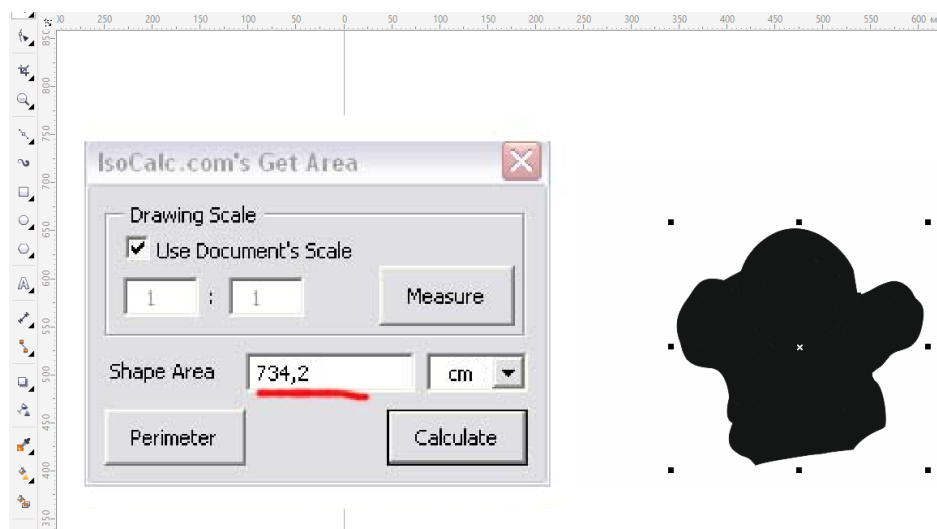


Рисунок 2.6 – Визначення площі криволінійної фігури.

Запропонований спосіб продемонстрував високу ефективність. Основною його перевагою є можливість легко і оперативно отримувати велику кількість точних експериментальних даних.

2.3. Визначення параметрів руху евакуаційного потоку на горизонтальних ділянках та вертикальних шляхах евакуації

Для збору статистичних даних про параметри руху евакуаційних потоків на горизонтальних ділянках було використано дані камер відеоспостереження. Проте, в процесі опрацювання даних камер відеоспостереження, було встановлено, що перспективне спотворення значно ускладнює точне визначення щільності на значних відстанях від об'єктиву камери.

Для збільшення точності під час проведення натурних спостережень було використано метод динамічної відеореєстрації, який полягав у використанні учасниками руху екшн-камер із кутом охоплення до 170° , розмірами $6 \times 4 \times 2,5$ см та масою 40 г (рис. 2.8). Записи камер синхронізувалися, що дало можливість з більшою точністю визначати швидкість руху на кожній ділянці (рис. 2.7).

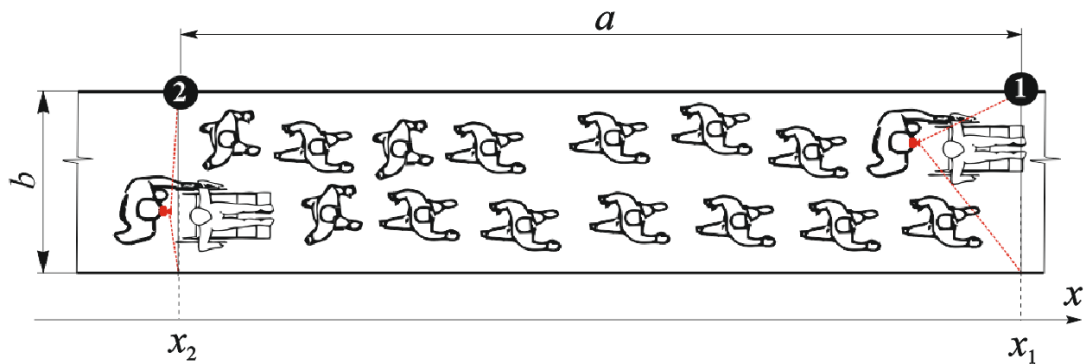


Рисунок 2.7 – Динамічна відеореєстрація параметрів руху евакуаційного потоку.



Рисунок 2.8 – Екшн-камера для динамічної відеореєстрації

Кожен із замірів виконувався в наступній послідовності:

1. 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:

$$a(t_n) = x_1(t_n) - x_2(t_n).$$

Щільність потоку в момент часу t_1 визначалася за формулою:

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

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:

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

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

$$D_{сер} = \frac{1}{2} \cdot (D(t_n) + D(t_{n+1})).$$

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.

2.4. Визначення параметрів руху евакуаційних потоків учнів закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням через дверні прорізи

Описаний вище метод визначення швидкості важко застосовувати для дослідження параметрів руху потоку крізь дверний проріз, оскільки довжина ділянки шляху в прорізі близька до нуля.

Метод динамічної відеореєстрації дає змогу підрахувати кількість людей N , що проходить крізь дверний отвір за певний проміжок часу. При цьому слід також врахувати тривалість існування перед дверним прорізом певної щільності потоку D . В зв'язку із цим, 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:

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

де b – ширина дверного прорізу, м.

Отримавши значення інтенсивності, можна визначити швидкість руху крізь дверний проріз:

$$V_{дв} = \frac{q_{дв}}{D}.$$

2.5. Висновки до розділу

1. Запропоновано методологію та методики проведення досліджень з виявлення впливу щільності на швидкість та інтенсивність руху потоків дітей різних груп мобільності під час евакуації.

2. Обґрунтовано доцільність застосування динамічної відеореєстрації для визначення значень щільності, швидкості та інтенсивності руху змішаних потоків на різних ділянках евакуаційних шляхів.

3. Запропоновано методику визначення горизонтальної проекції учасника евакуації із застосуванням планової фотозйомки з глибинним масштабом та подальшої обробки отриманих зображень у графічному редакторі із застосування скрипта GetArea для визначення площі криволінійної фігури.

4. Зважаючи на неоднорідність евакуаційних потоків, обґрунтовано доцільність застосування потокових моделей розрахунку тривалості евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням та запропоновано варіанти та способи використання комп'ютерних програм, що базуються на індивідуально-потокових моделях розрахунку тривалості евакуації.

Результати досліджень опубліковано в [70], [75].

РОЗДІЛ 3. НАТУРНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ЗАКЛАДАХ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ

3.1. Експериментальні дослідження з виявлення залежності площі горизонтальної проекції від віку учня

Статистика свідчить, що станом на 1 вересня 2019 року у закладах середньої освіти навчалось 4138 тис. учнів [79]. 23 січня Кабінет Міністрів України презентував оцінку чисельності наявного населення України станом на 1 грудня 2019 року [63]. Відповідно до цих даних, співвідношення хлопчиків та дівчаток серед дітей шкільного віку склало відповідно 52% та 48%. Ці дані було враховано для забезпечення репрезентативності вибіркової сукупності під час проведення досліджень.

Виходячи із допустимої статистичної похибки 5%, було визначено мінімальний розмір вибірки:

$$n = \frac{1}{\Delta^2 + 1/N} = \frac{1}{0,05^2 + 1/4138000} = 400, \quad (3.1)$$

N – обсяг генеральної сукупності (загальна кількість учнів закладів середньої освіти), Δ – допустима статистична похибка.

В рамках дослідження було визначено площу горизонтальної проекції 472 дітей віком 6 – 17 років. Віковий та гендерний розподіл учасників експерименту представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Віковий та гендерний розподіл учасників експерименту

	6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		Всього	
	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%
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	

Для аналізу отриманих експериментальних результатів було використано табличний редактор Microsoft Excel.

Отримані значення площі горизонтальної проекції були згруповані за віком та типом одягу, після чого зведені у варіаційні ряди за інтервалами віку в порядку зростання. Після цього було виконано перевірку гіпотези про нормальність розподілу вибірових сукупностей.

Математичні сподівання площ горизонтальних проекцій для різних вікових інтервалів наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Математичні сподівання площі горизонтальної проекції дітей та підлітків
різного віку

Вік (років)	Площа горизонтальної проекції, м ²		
	у літньому одязі	у літньому одязі зі шкільною сумкою	в зимовому одязі зі шкільною сумкою
6	0,038	0,066	0,084
7	0,039	0,069	0,088
8	0,04	0,072	0,09
9	0,043	0,077	0,097
10	0,049	0,081	0,103
11	0,053	0,087	0,11
12	0,06	0,093	0,12
13	0,068	0,1	0,129
14	0,073	0,104	0,137
15	0,08	0,11	0,143
16	0,084	0,112	0,149
17	0,088	0,116	0,155

Застосування MS Excel дало змогу побудувати графіки залежності площі горизонтальної проекції f (м²) як функції від віку k (років) (рис. 3.1). При цьому встановлено залежності площі геометричної проекції від віку:

– для учасників евакуації у літньому одязі:

$$f = 0,0002x^2 + 0,0004x + 0,0255 \quad (3.2)$$

– для учасників у літньому одязі з шкільною сумкою:

$$f = 0,000023x^2 + 0,00437x + 0,037 \quad (3.3)$$

– для учасників у зимовому одязі з шкільною сумкою:

$$f = 0,000337x^2 + 0,003812x + 0,0535 \quad (3.4)$$

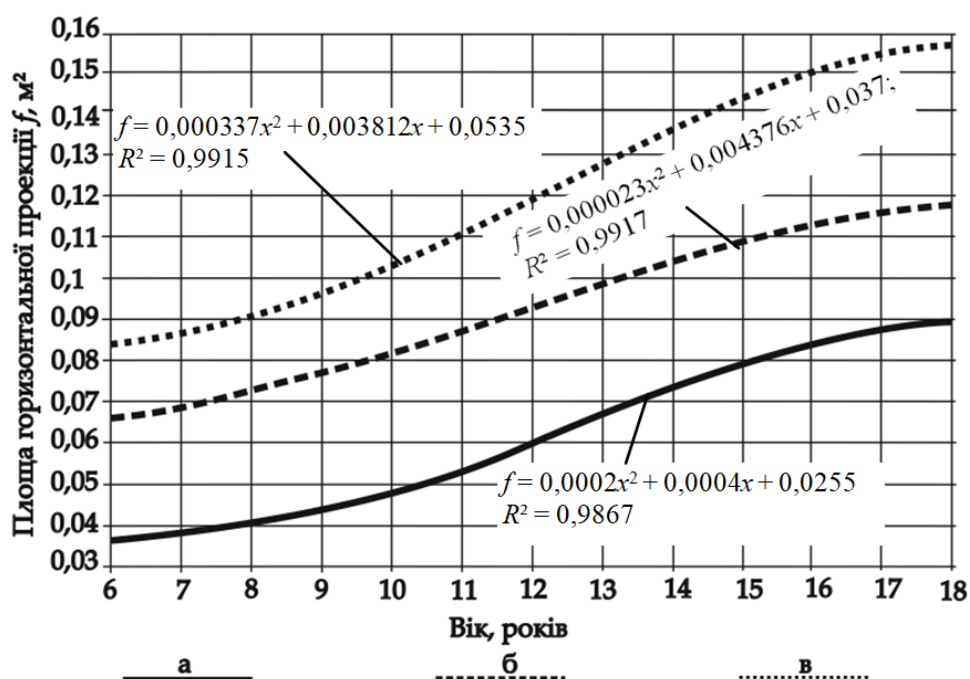


Рисунок 3.1 – Залежність площі горизонтальної проекції учнів від віку:

- 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, антропометричні дані дітей зазнали деяких змін. Необхідно відзначити 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 дещо збільшилася (на 5-7%).

3.2. Експериментальне дослідження початкового етапу евакуації із навчальних приміщень закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням

Проміжок часу між спрацюванням автоматичної пожежної сигналізації і початком руху в безпечну зону може становити до 70% від загального часу

евакуації. Цей процес залежить від великої кількості факторів і потребує додаткових досліджень. [92].

Результати досліджень початкового етапу евакуації при виникненні пожежі в закладах шкільної освіти Данії представлені в роботі А. Р. Ларусдоттір [27]. У них зазначено, що усі діти, особливо молодшого шкільного віку, дуже залежні від дій старших. Як правило, якщо після спрацювання пожежної сигналізації вчитель не реагує, діти не проявлять занепокоєння (очевидно, більшість з них можуть чути цей сигнал вперше в житті). І навпаки, тривожний стан вчителів передається учням. При цьому було встановлено, що майже в 20% випадків вчитель, почувши, що спрацювала сигналізація, замість невідкладних дій намагається з'ясувати подробиці, виходить із класу і втрачає дорогоцінні секунди.

Початковий етап евакуації з інклюзивного класу має як спільні, так і відмінні ознаки від початкового етапу евакуації із звичайного класу. Охарактеризуємо три основні відмінності:

1. В інклюзивному класі передбачено додаткову штатну одиницю – асистент вчителя. Допускається у окремих випадках також залучення до навчального процесу асистентів учня, звідки випливає, що всі завдання розподіляються як мінімум між двома дорослими.

2. Учні з особливими потребами у більшості випадків потребують допомоги дорослих.

3. Загальна кількість учнів у інклюзивному класі не може перевищувати 20, тоді як у звичайних класах одночасно може знаходитися понад 30 учнів.

Слід звернути увагу, що, оскільки навчання в закладах загальної середньої освіти України починається із 6-річного віку, певний відсоток учнів молодшого шкільного віку також можуть потребувати допомоги дорослих на початковому етапі евакуації.

Виходячи із наведених вище фактів, ми виокремили основні дії, які можуть виконувати вчителі та учні у класі після отримання сигналу про пожежу.

1. Коротке роз'яснення з інструктажем
2. Збір перед виходом з приміщення, що, залежно від пори року та інших обставин, включає певну послідовність дій:
 - Одягання зимового одягу (за умови його наявності в класі)
 - Зміна взуття (за умови його наявності в класі).
 - Рух до виходу із приміщення.
 - Закривання вікон, дверей, вимикання світла.
3. Вихід із приміщення.

Відповідно до п. 6.83 ДБН В. 2.2.3-2018 у закладі середньої освіти з інклюзивним навчанням передбачається загальний гардероб із виділеною зоною для дітей з особливими освітніми потребами. Для учнів перших-четвертих класів допускається влаштовувати шафи або вішалки для верхнього одягу безпосередньо у класному приміщенні (рис 3.2). В рамках досліджень було розглянуто саме цей варіант.



Рисунок 3.2 – Шафи для одягу в приміщенні початкової школи

За результатами натурних спостережень (60 спостережень) було встановлено середні значення часу, які затрачають діти різного віку на початковому етапі евакуації. Для кожного учасника експерименту визначався час, затрачений на виконання кожної із наведених вище дій. Загальний час початкового етапу евакуації для кожного класу визначався за виходом із навчального приміщення останнього учня. Результати спостережень наведені на рисунку 3.3 та в таблиці 3.3.

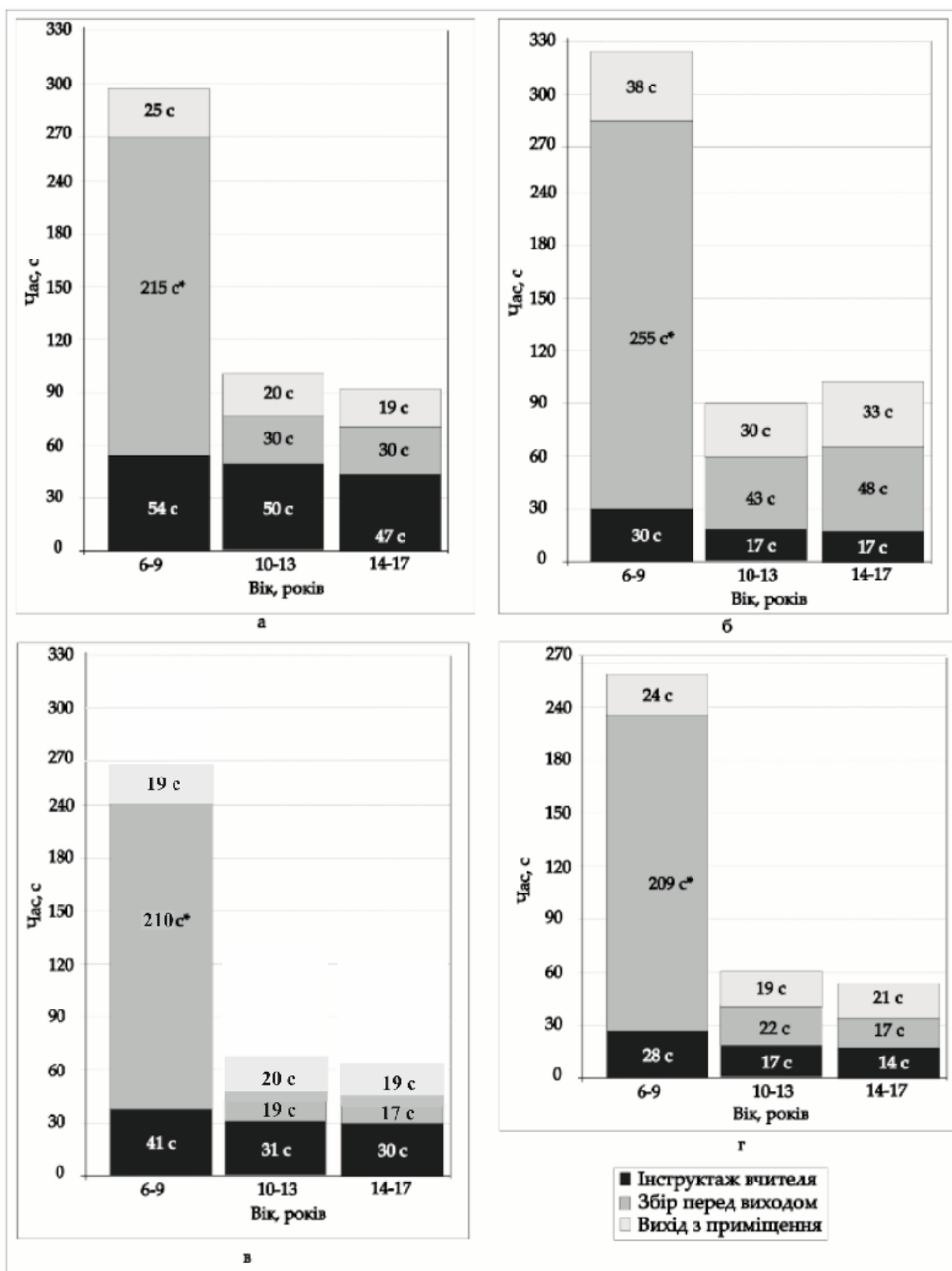


Рисунок 3.3 – Тривалість початкового етапу евакуації

із закладів освіти з інклюзивним навчанням:

- а) 20 учнів, (10% учнів із числа сліпих); б) 20 учнів (10% групи мобільності М4); в) 20 учнів, (10% учнів із вадами слуху); г) 30 учнів групи мобільності М1

Тривалість початкового етапу евакуації при пожежі (с)

Склад учасників евакуації	№ відпрацювання					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
100% М1 (30 осіб)						
– 6-9 років	311	272	250	236	231	261
– 10-13 років	71	56	53	50	52	56
– 14-16 років	73	52	50	48	49	54
90% М1+10%М4 (20 осіб)						
– 6-9 років	351	329	320	316	302	323
– 10-13 років	104	92	86	87	84	90
– 14-16 років	116	101	94	91	88	98
90% М1+10% учнів із числа сліпих (20 осіб)						
– 6-9 років	344	296	281	275	276	294
– 10-13 років	118	104	95	94	91	100
– 14-16 років	122	101	88	85	85	96
90% М1+10% учнів із вадами слуху (20 осіб)						
– 6-9 років	340	269	255	246	241	270
– 10-13 років	110	73	56	57	52	70
– 14-16 років	99	69	57	56	51	66

Закономірно, що найдовший час продемонстрували учні молодшого шкільного віку. Спостереження показали суттєвий розкид результатів. Проте з кожним наступним відпрацюванням початкового етапу евакуації загальний час та розкид результатів зменшувалися. При цьому виявлено, що після досягнення учнями 12-річного віку середнє значення часу, затраченого ними на початковий етап евакуації змінюється несуттєво.

Залежність тривалості початкового етапу евакуації від кількості відпрацювань наведена на графіку (рис. 3.4).

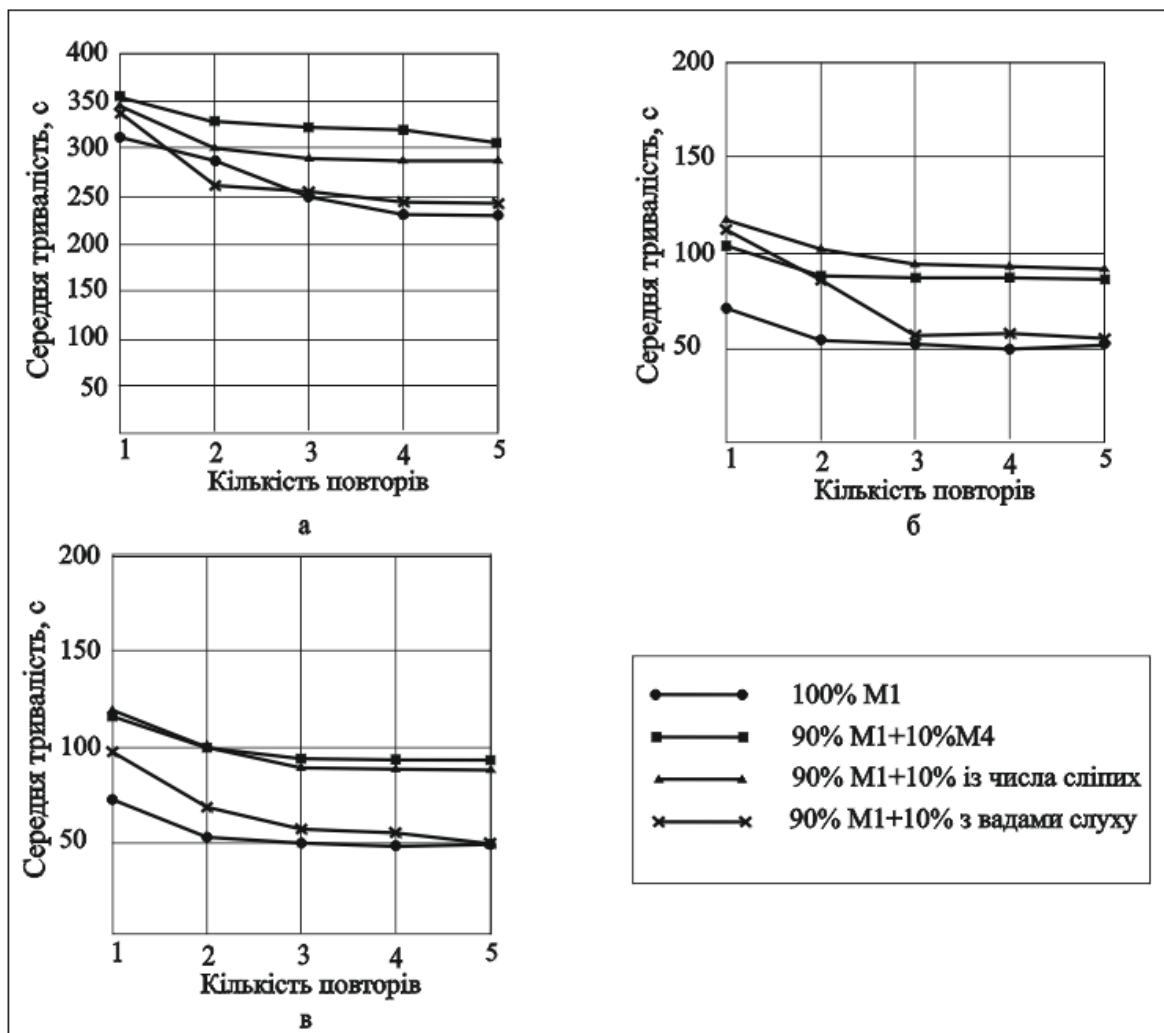


Рисунок 3.4 – Залежність тривалості початкового етапу евакуації від кількості відпрацювань:

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

Аналіз наведених графіків дає підстави стверджувати, що 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 є найвищим, що обумовлено необхідністю залучення сурдопедагога. Поряд з цим, при повторних відпрацюваннях тривалість початкового етапу евакуації у такому класі суттєво зменшується і наближається до значень тривалості, характерних для класу із 100% учнів групи мобільності M1. Причиною, вочевидь, є те, що

після першого відпрацювання діти запам'ятовують порядок дій і в подальшому не потребують тривалого інструктажу.

Найбільша тривалість початкового етапу евакуації характерна для класів, до складу яких входять учні групи мобільності М4 та учні із числа сліпих. Їх наявність збільшує тривалість до 30%. При цьому варто відзначити, що із збільшенням числа тренувальних відпрацювань спостерігається дещо суттєвіше зменшення тривалості початкового етапу евакуації із класу, до складу якого входять учні із числа сліпих. Отримані дані доводять необхідність періодичного відпрацювання початкового етапу евакуації із навчальних приміщень.

3.3. Експериментальне визначення показників *EPI* дітей з особливим освітніми потребами

У розділі 2 зазначено, що індекс мобільності *EPI* дітей з особливими освітніми потребами є зручним параметром, за допомогою якого можна визначити найбільш несприятливий варіант кількісного складу людського потоку при евакуації. Під таким варіантом розуміємо склад учнів інклюзивного класу, при якому загальний час евакуації буде найдовшим.

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:

$$EPI_i = \frac{t}{t_i}, \quad (3.5)$$

де t_i – час, затрачений на проходження певного етапу евакуації змішаною групою, до складу якої входять учні зі зниженою мобільністю;

t – час, затрачений на проходження аналогічного етапу евакуації групою, що складається із учнів групи мобільності М1.

При проходженні через дверний проріз індекс мобільності визначається як співвідношення інтенсивностей руху крізь проріз при вільному русі:

$$EPI_{\text{дв}} = \frac{q_{\text{дв.і}}}{q_{\text{дв.}}}, \quad (3.6)$$

де $q_{\text{дв.і}}$ – інтенсивність руху крізь дверний проріз осіб з особливими потребами;
 $q_{\text{дв.}}$ – інтенсивність руху крізь дверний проріз осіб групи мобільності М1.

Таким чином, показник EPI евакуаційного потоку, що складається із 100% учасників групи мобільності М1 приймається рівним 1.

В процесі досліджень було визначено EPI для таких варіантів:

- для початкового етапу евакуації (від моменту отримання повідомлення про пожежу до виходу з навчального приміщення ($EPI_{\text{поч}}$);
- для руху на лінійних горизонтальних ділянках ($EPI_{\text{г.д.}}$);
- для руху на вертикальних ділянках (сходи) ($EPI_{\text{в.д.}}$);
- для поворотів ($EPI_{\text{пов.}}$);
- для евакуації через дверні прорізи ($EPI_{\text{дв.}}$);
- для всього шляху евакуації в безпечну зону ($EPI_{\text{заг.}}$).

Натурні спостереження відбувалися за аналогічним принципом, як і при визначенні показників швидкості та інтенсивності руху для різних ділянок. Результати спостережень фіксувалися за допомогою екшн-камер учасниками руху.

На рисунку 3.5 представлено схему руху учасників та її поділ для визначення різних видів EPI .

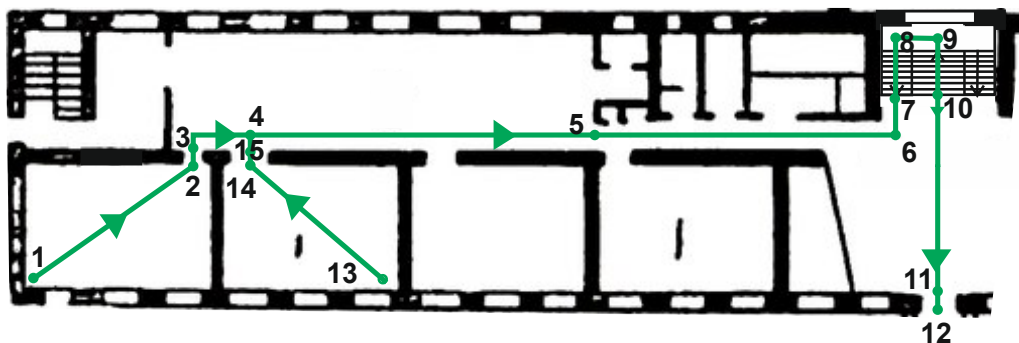


Рисунок 3.5 – Маршрут руху учасників експерименту

Кожна група проходила вказаним маршрутом по 3 рази. За результатами проходження визначалося середнє значення часу.

На підставі аналізу отриманих результатів було визначено значення ЕРІ для різного вікового та кількісного складу евакуаційних потоків на різних ділянках руху (рисунок 3.6).

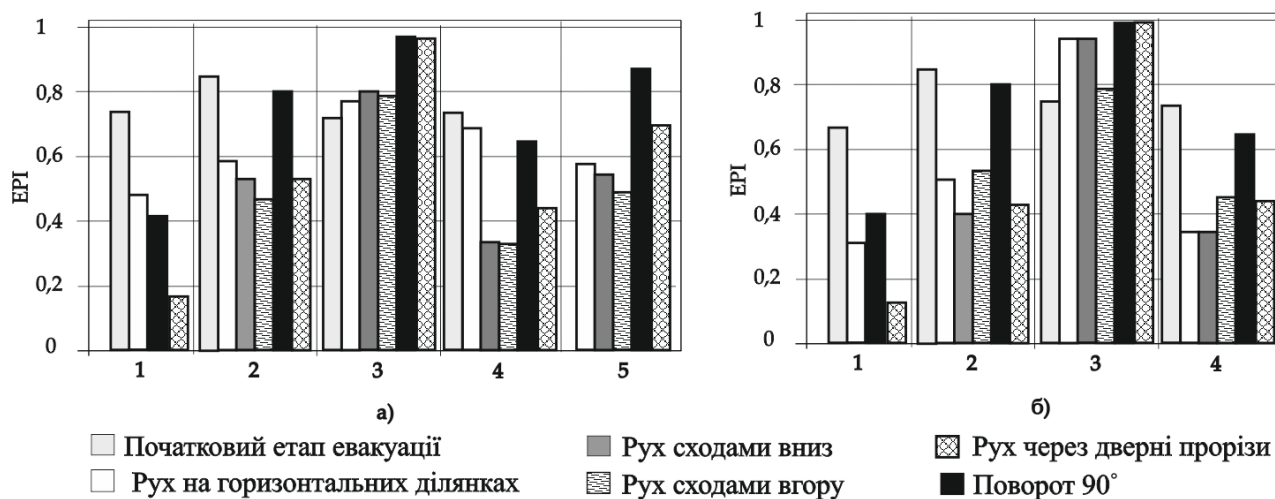


Рисунок 3.6 – Індекс мобільності змішаних потоків при евакуації (ЕРІ) учнів закладів освіти з інклюзивним навчанням:

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

1 – 90% М1+10%М4 (на кріслах колісних); 2 – 90% М1+10% з числа сліпих; 3 – 90% М1+10% з числа глухих; 4 – 90% М1+10% М3 (на 2 опорах); 5 – транспортування дитини на руках дорослого (лише для молодшого шкільного віку)

Як бачимо, найменше значення ЕРІ як для молодшої, так і для старшої вікової групи показали змішані потоки, що складаються із 90% учнів групи мобільності М1 та 10% групи мобільності М4, а також потоки, що складаються із 90% учнів групи мобільності М1 та 10% групи мобільності М3 (на 2 опорах). Очевидно, що при виборі інших схем та маршрутів руху значення $EPI_{заг}$ буде мати інше значення, але на підставі аналізу окремих варіантів 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 $EPI_{заг}$, відтак, подальші дослідження із встановлення залежностей швидкості та інтенсивності руху змішаних потоків від щільності під час евакуації із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням доцільно проводити для змішаних потоків складу M1+M4, M1+M3 (на 2 опорах) та M1+M2 (із числа сліпих).

3.4. Експериментальне визначення залежності швидкості та інтенсивності руху учнів різних вікових груп від щільності потоку

У розділі 2 розкрито методи проведення натурних спостережень та отримання бази емпіричних даних швидкості змішаних потоків та відповідних їм значень щільності.

Отримані за результатами замірів значення швидкості було згруповано за інтервалами щільності у варіаційні ряди.

Перш за все було відкинуто так звані «грубі похибки вимірювань», тобто результати, значення яких суттєво відрізнялося від очікуваних. Наявність таких результатів можна пояснити несподіваними зупинками та затримками під час руху, впливом сторонніх факторів на учасників евакуації, похибки в підрахунках тощо.

Після цього було вжито заходи щодо мінімізації випадкових похибок. Для цього у табличному редакторі Microsoft Excel було виконано статистичну обробку результатів замірів [76]. Оскільки випадкові похибки вимірювань визначаються великою кількістю незалежних випадкових складових, то за центральною граничною теоремою теорії ймовірностей розподіл випадкових похибок вимірювання буде близьким до нормального. Після вилучення з масиву вимірів грубих похибок результат вимірювань визначали, виходячи з математичного сподівання, що для нормального закону розподілу є середнім арифметичним:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i. \quad (3.6)$$

Випадкове відхилення кожного окремого вимірювання становить:

$$g_i = V_i - \bar{V}. \quad (3.7)$$

Випадкову похибку оцінювали за середньоквадратичним відхиленням S результатів вимірювань:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n g_i^2}{n-1}}, \quad \sigma[\bar{V}] = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.8)$$

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 для певного інтервалу щільності; Δ_o – довірчі границі похибки вимірювання).

Довірча ймовірність вимірювання – це ймовірність того, що отримане під час виконання замірів значення швидкості руху потоку потрапить в даний довірчий інтервал. Вона виражається в частках одиниці або в відсотках і визначає достовірність вимірювання.

В нашому випадку довірчі межі було визначено за формулою Стюдента:

$$\Delta_o = \pm k_t \cdot \bar{\sigma}(\bar{V}) = \pm 2 \cdot \bar{\sigma}(\bar{V}), \quad (3.9)$$

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 $P = 0,95$.

Після визначення математичних сподівань швидкості для кожного інтервалу отримані значення дали можливість побудувати графіки залежностей швидкості від щільності потоку.

Отримані залежності можна в загальному вигляді описати співвідношенням виду (2.13). Фізичний зміст цього співвідношення полягає тому, що при перевищенні деякого порогу щільності потоку D_0 швидкість вільного руху V_0 зменшуватиметься до значення V_D . Таким чином, абсолютне зменшення швидкості становитиме $\Delta V = V_0 - V_D$, а відносне – $R = \frac{V_0 - V_D}{V_0}$.

Така регресія будується за емпіричними даними, що апроксимуються теоретичною функцією, яка описує вплив щільності потоку на швидкість руху на основі закону Вебера – Фехнера $R = a \cdot \ln\left(\frac{D}{D_0}\right)$ [91].

Отже, для математичного опису отриманих залежностей необхідно за значеннями щільності потоку та відповідними їм математичними сподіваннями швидкостей руху побудувати графіки, для кожного з яких визначити значення a_j та D_{0j} . 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 .

3.4.1. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входять учасники груп мобільності М1 та М4

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 (пересування на кріслах колісних). Таке співвідношення відповідає максимально допустимому згідно [57].

Отримані результати наведені на рисунку 3.7.

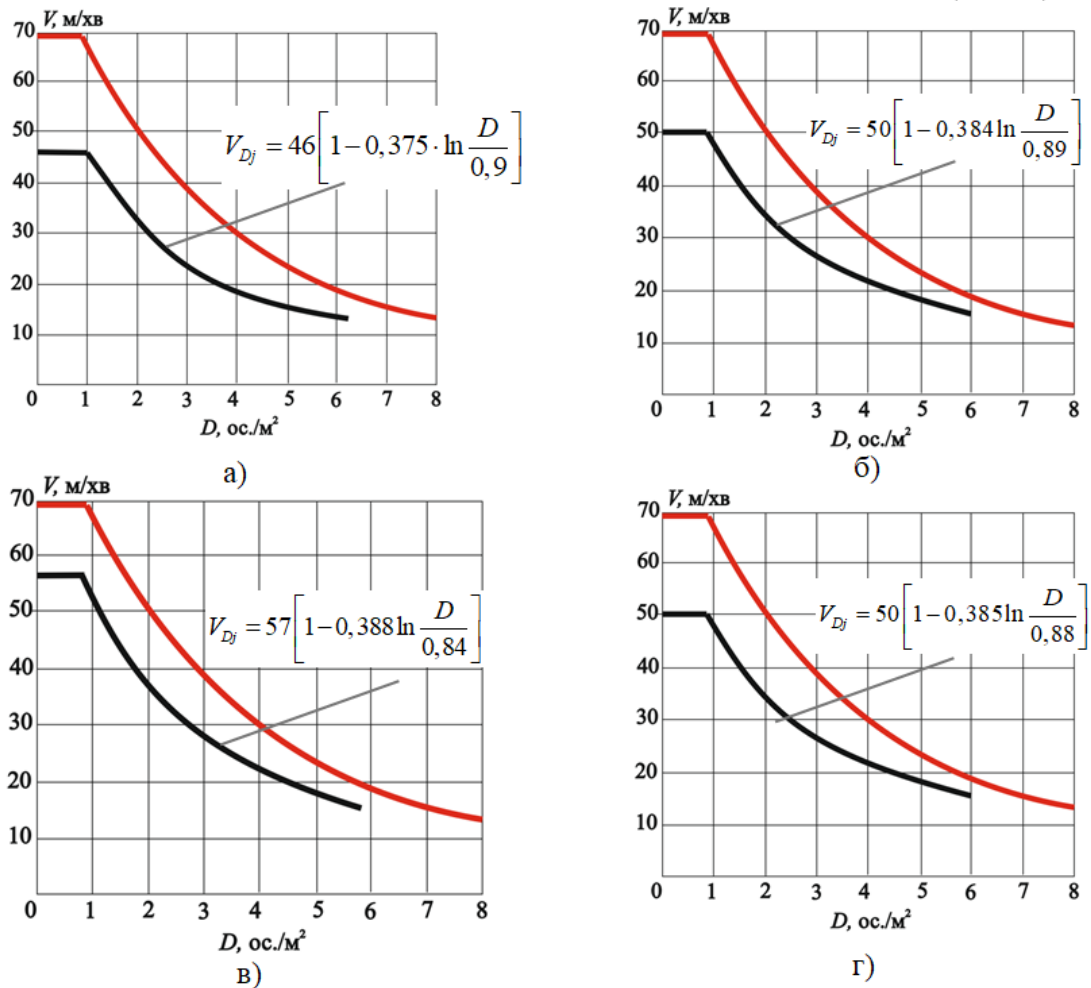


Рисунок 3.7 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М4 (10%)
 а) молодша вікова група; б) середня вікова група; в) старша вікова група;
 г) усереднене значення (червоним кольором позначено параметри руху потоку
 100% учасників групи мобільності М1 [60])

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

Для цього було встановлено параметри руху потоків із наявністю 5% учасників групи М4 (рисунок 3.8).

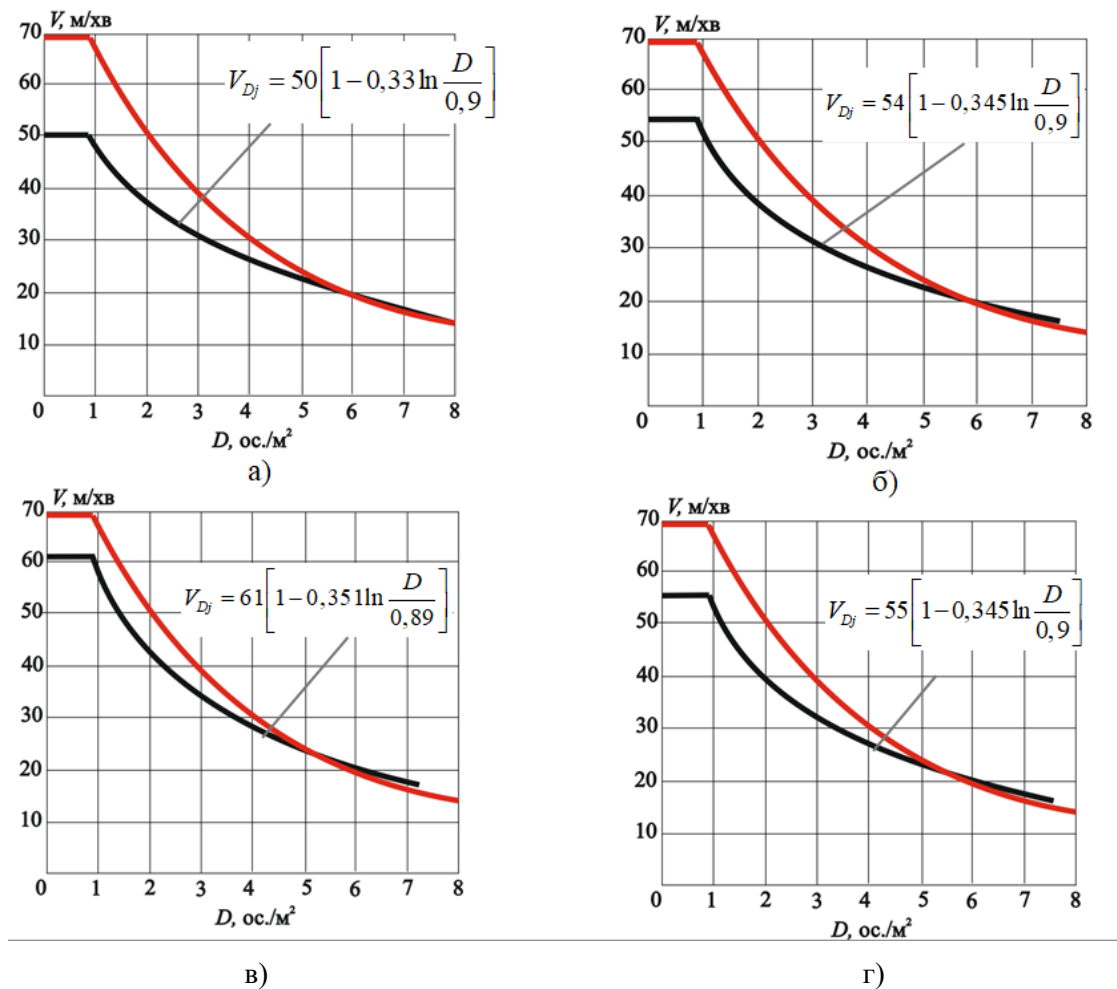


Рисунок 3.8 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М4 (5%)

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

Отримані значення a_j та V_{0j} для змішаних потоків різного кількісного складу учасників груп мобільності М1 та М4 зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Значення a_j та V_{0j} для змішаних потоків різного кількісного складу учасників груп мобільності М1 та М4

Склад потоку	V_{0j}	a_j
Горизонтальні ділянки		
100% М1	70	0,275
95%М1+5%М4	55	0,345
90%М1+10%М4	50	0,385

На основі отриманих даних було встановлено кореляційні залежності значень a_j та V_{0j} від частки ω (%) учасників групи М4 у потоці (рисунок 3.9)

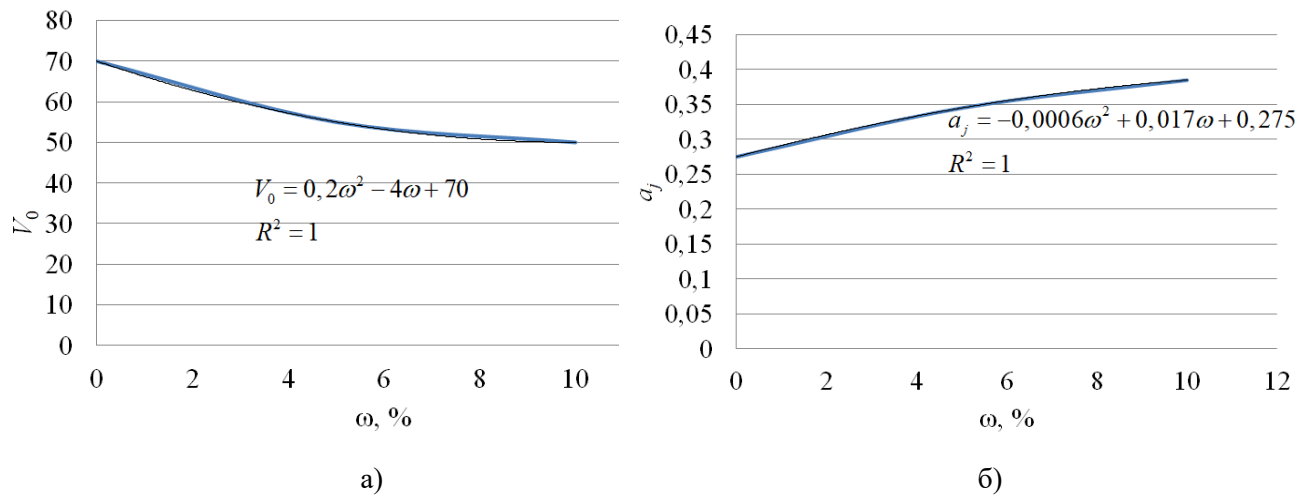


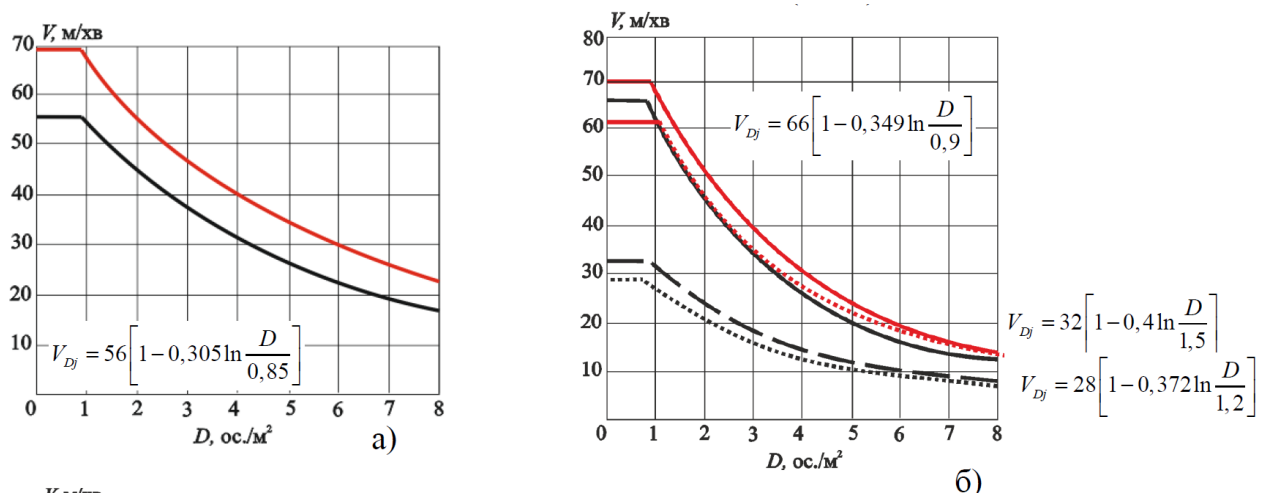
Рисунок 3.9 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи мобільності М4 у потоці

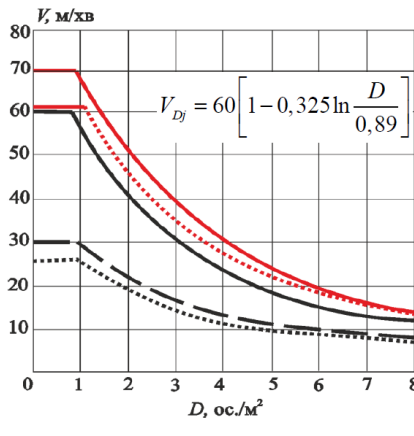
Необхідно звернути увагу, що параметри руху змішаних потоків груп мобільності М1+М4 не досліджувалися для сходів.

3.4.2. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входять учасники груп мобільності М1 та М3

Наступним кроком було встановлення параметрів руху евакуаційних потоків учнів різних вікових груп, до складу яких входило 90% учасників групи мобільності М1 та 10% учасників групи мобільності М3 (пересування на 2 опорах).

Отримані результати наведені на рисунку 3.10.



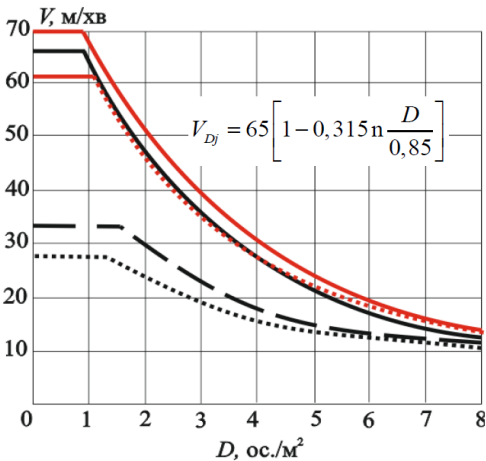
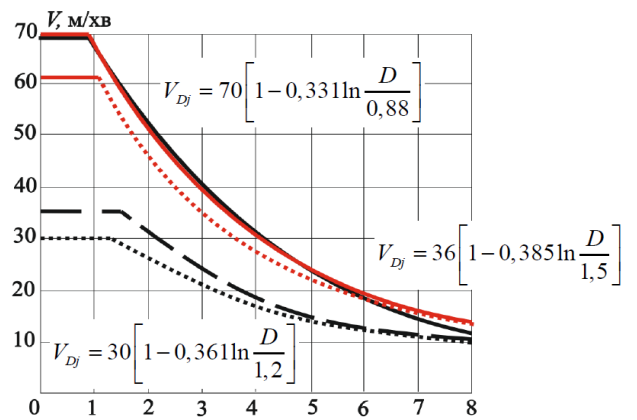
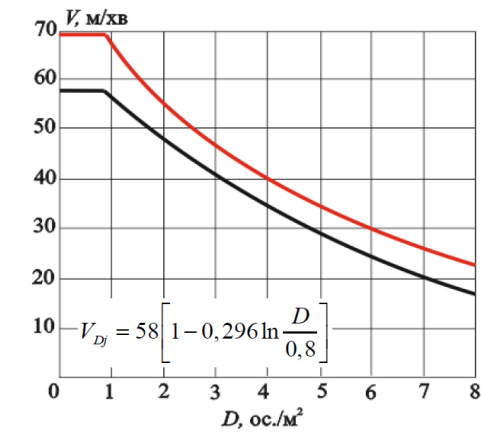


- а) середня вікова група;
- б) старша вікова група;
- в) усереднене значення

в)

Рисунок 3.10 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М3 (10%) (червоним кольором позначено параметри руху потоку 100% учасників групи мобільності М1)

За аналогією до варіанту із змішаним потоком складу М1+М4 встановлено параметри руху потоків із наявністю 5% учасників групи М3 (рисунок 3.11).



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

Рисунок 3.11 – Параметри руху потоків із наявністю учасників групи М3 (5%) (червоним кольором позначено параметри руху потоку 100% учасників групи мобільності М1)

Дослідження змішаних потоків учнів молодшого шкільного віку не проводилося з міркувань безпеки. Доцільно зауважити, що використання учнями молодшого шкільного віку опор під час руху малоімовірне. У якості альтернативи доцільно використовувати крісла колісні.

Отримані значення a_j та V_{0j} для змішаних потоків різного кількісного складу учасників груп мобільності М1 та М3 зведено до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Значення a_j та V_{0j} для змішаних потоків різного кількісного складу учасників груп мобільності М1 та М3

Склад потоку	V_{0j}	a_j
Горизонтальні ділянки		
100% М1	70	0,275
95%М1+5%М3	65	0,315
90%М1+10%М3	56	0,325
Сходи (рух вниз)		
100% М1	70	0,182
95%М1+5%М3	34	0,38
90%М1+10%М3	30	0,4
Сходи (рух вгору)		
100% М1	62	0,275
95%М1+5%М3	27	0,35
90%М1+10%М3	25	0,37

На основі отриманих даних було встановлено кореляційні залежності значень a_j та V_{0j} від частки ω (%) учасників групи М3 у потоці (рисунки 3.12-3.14)

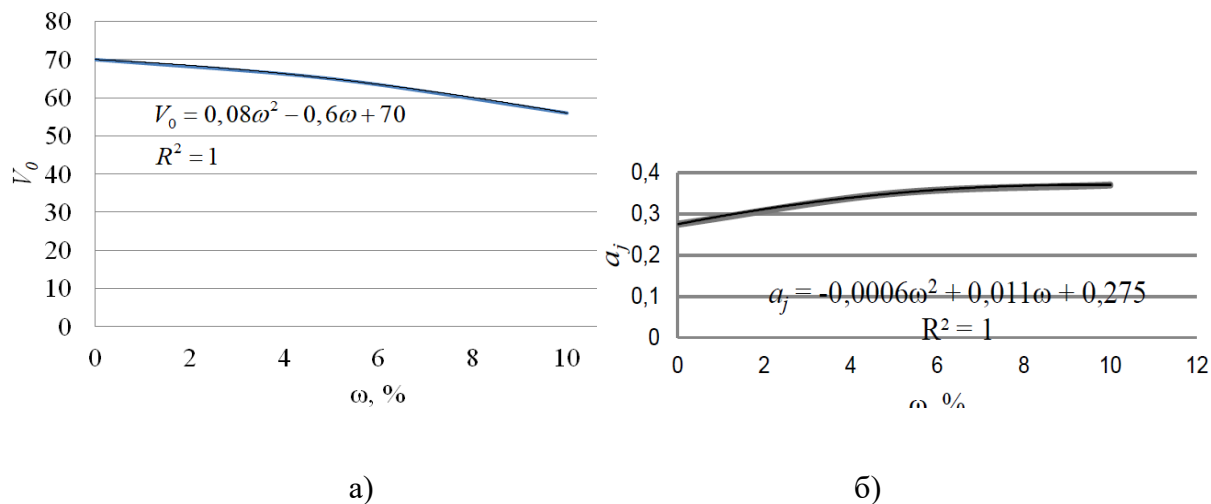


Рисунок 3.12 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи МЗ у потоці під час руху на горизонтальних ділянках

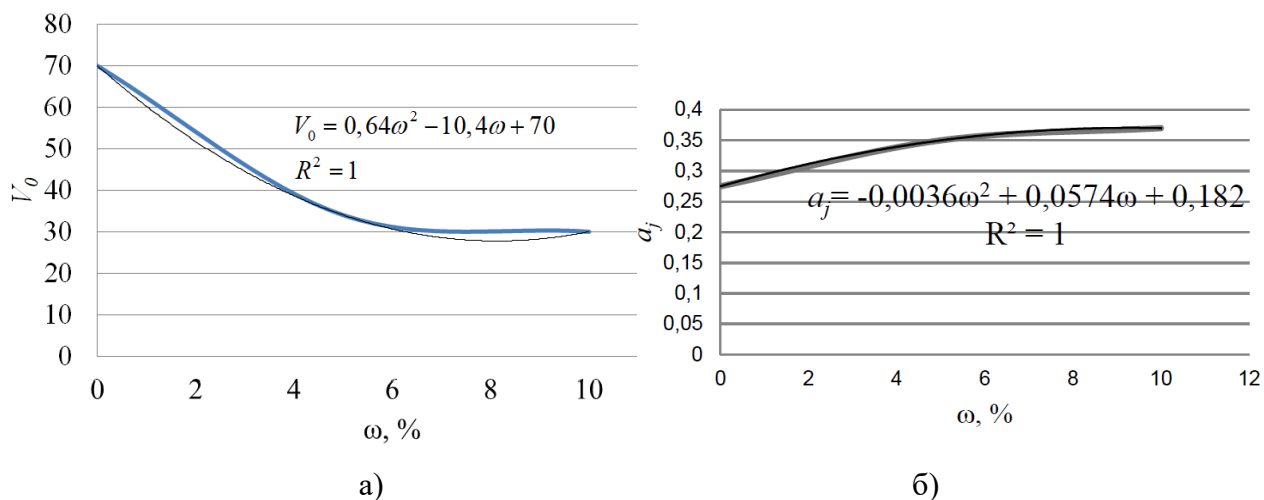


Рисунок 3.13 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи МЗ у потоці під час руху сходами вниз

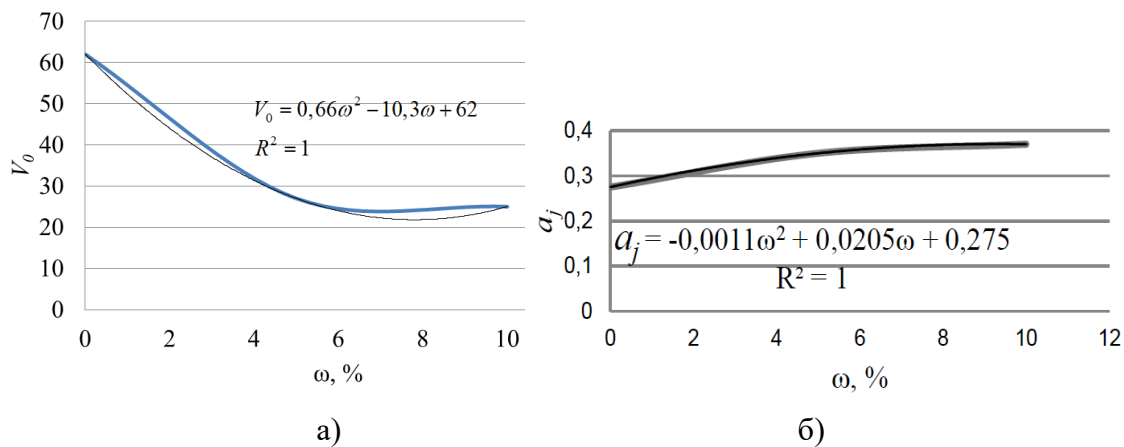


Рисунок 3.14 – Залежності значень V_{0j} (а) та a_j (б) від частки (%) учасників групи МЗ у потоці під час руху сходами вгору

Отримані залежності дають змогу розраховувати значення швидкості руху потоку при різних співвідношеннях учасників груп мобільності М1 та М3.

3.4.3. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків, до складу яких входять учасники груп мобільності М1 та М2 (із числа сліпих)

Параметри руху змішаного потоку, до складу якого входять учасники руху групи мобільності М1 (90%) та учасники групи мобільності М2 (із числа сліпих) (10%) представлені на рисунку 3.15

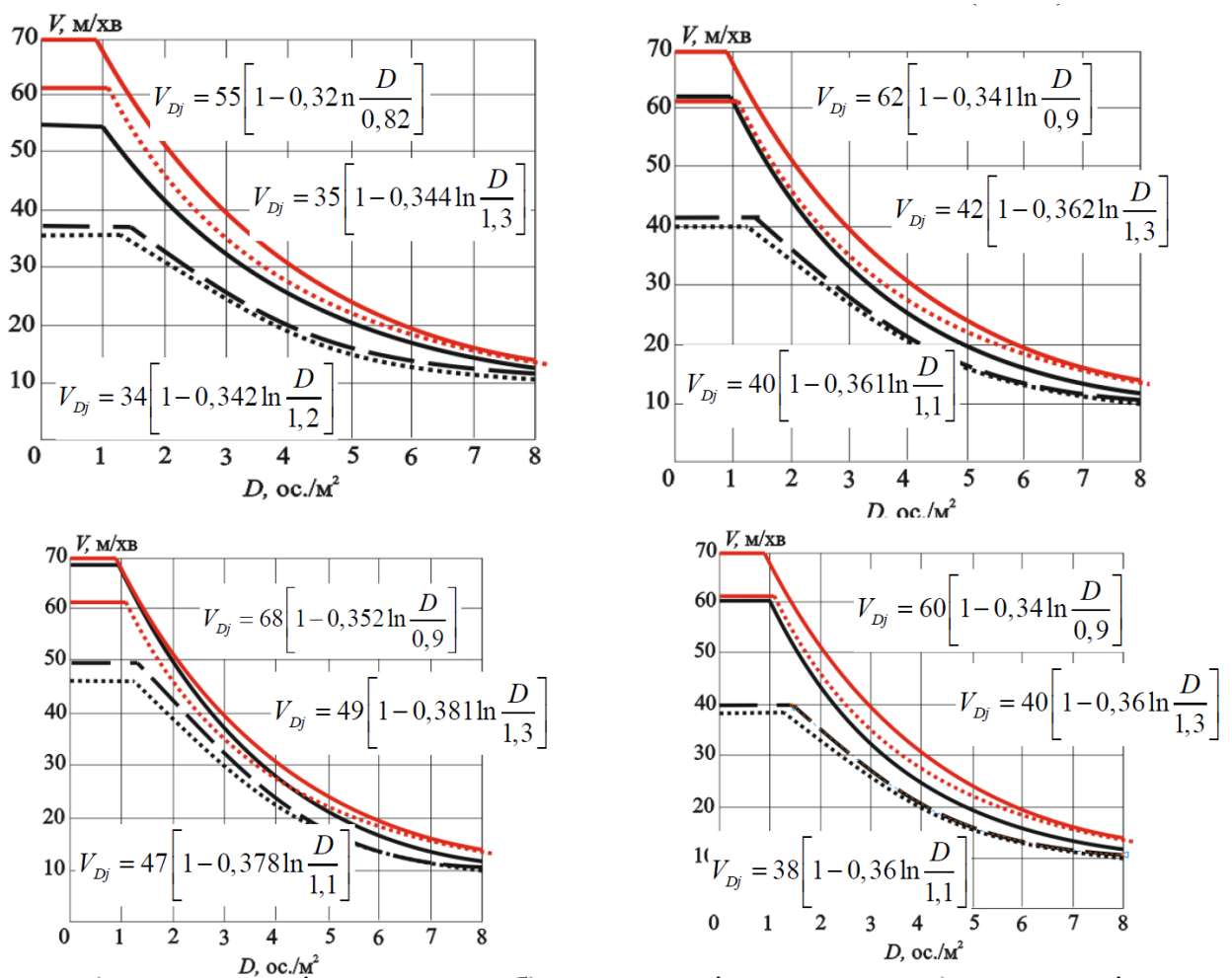


Рисунок 3.15 – Параметри руху потоків із наявністю учасників із числа сліпих (10%)

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

За результатами досліджень можна зробити висновок, що дані, приведені у [95], відрізняються від отриманих. Це пояснюється тим, що рух людей із числа сліпих у потоці в закладах освіти з інклюзивним навчанням здійснюється при підтримці вчителів та асистентів вчителя, що суттєво збільшує швидкість руху.

Окрім цього виявлено, що зі зміною відсоткового складу учасників із числа сліпих у змішаному потоці параметри руху суттєво не відрізняються.

3.4.4. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків через дверні прорізи

Візуальні спостереження за рухом змішаних потоків при евакуації із закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням показали суттєвий вплив на інтенсивність руху учасників групи мобільності М4. Це пояснюється значними габаритами і площею горизонтальної проекції крісла колісного, що становить $0,9 \text{ м}^2$. Цю площу можна прирівняти до сумарної площі горизонтальної проекції одразу 10 учнів середнього шкільного віку. Тому при наближенні кожного учасника на кріслі колісному до дверного прорізу інтенсивність істотно зменшується. Ілюстрацією цього є графік інтенсивності, згенерований за допомогою програмного комплексу Pathfinder (рисунок 3.16), де на графіку зеленого кольору прохід крізь проріз кожного учасника на колісному кріслі можна чітко побачити за стрибкоподібною зміною інтенсивності.

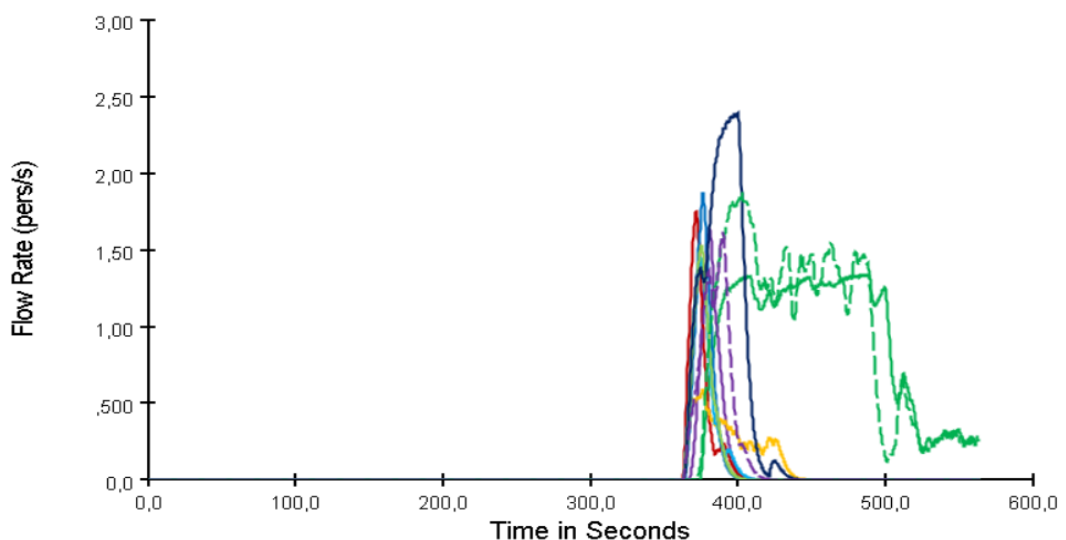


Рисунок 3.16 – Інтенсивність руху учасників евакуації (зелена штрихова лінія) на кріслах колісних крізь дверний проріз.

Залежність інтенсивності руху потоків різного складу крізь дверний проріз від щільності потоку наведена на рисунку 3.17.

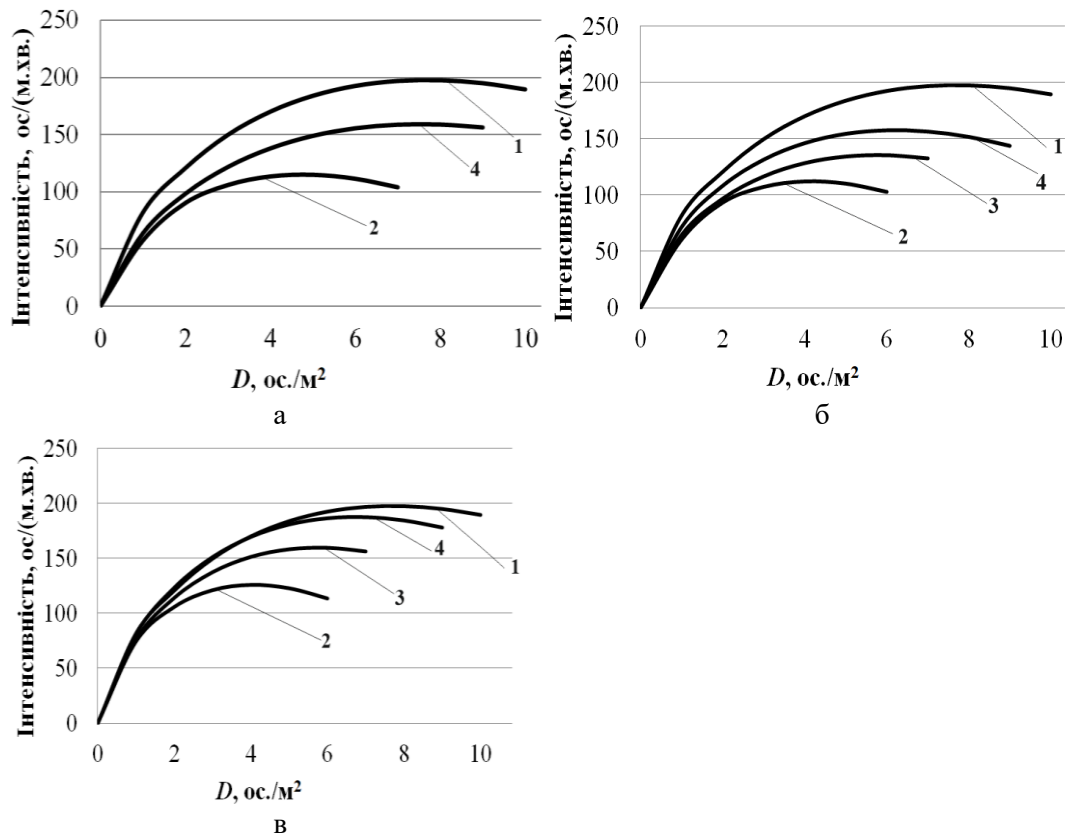


Рисунок 3.17 – Теоретичні залежності інтенсивності руху через дверний проріз від щільності потоку:

- 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.

3.5. Висновки до розділу

1. За результатами проведення натурних спостережень визначено індекси EPI (evacuation performance index) для евакуаційних потоків змішаної мобільності. Встановлено, що найменше значення EPI на горизонтальних ділянках, поворотах та при проходженні через дверні прорізи характерне для потоків, що складаються із 90% учасників групи мобільності M1 та 10% групи мобільності M4 (0,52 на горизонтальних ділянках, 0,4 на поворотах, та 0,17 при проходженні через дверні прорізи), а на сходах – для потоків, що складаються із 90% учасників групи мобільності M1 та 10% групи мобільності M3, 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.

2. За результатами опрацювання даних фотозйомки із використанням 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.

3. За результатами натурних спостережень на початковому етапі евакуації встановлено співвідношення між середніми значеннями тривалості основних дій для різних вікових груп. Підраховано, що присутність у навчальному приміщенні 10% учнів групи мобільності M4 (із загальної кількості 20 учнів) збільшує тривалість початкового етапу евакуації в середньому на 21% для учнів молодшого шкільного віку 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.

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.

Результати досліджень опубліковано в [23], [70], [100], [102].

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЕВАКУАЦІЇ ІЗ БУДІВЕЛЬ ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ З ІНКЛЮЗИВНИМ НАВЧАННЯМ

У цьому розділі на основі залежностей швидкості та інтенсивності руху змішаних евакуаційних потоків від щільності, отриманих у розділі 3, розраховано тривалість евакуації із будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням за двома моделями – спрощеною аналітичною та індивідуально-поточною. Результати розрахунку порівняно із аналогічними результатами, отриманими із використанням даних, наведених у чинних нормативних документах. Також визначено час блокування евакуаційних шляхів і виходів НЧП з метою встановлення значень індивідуального ризику.

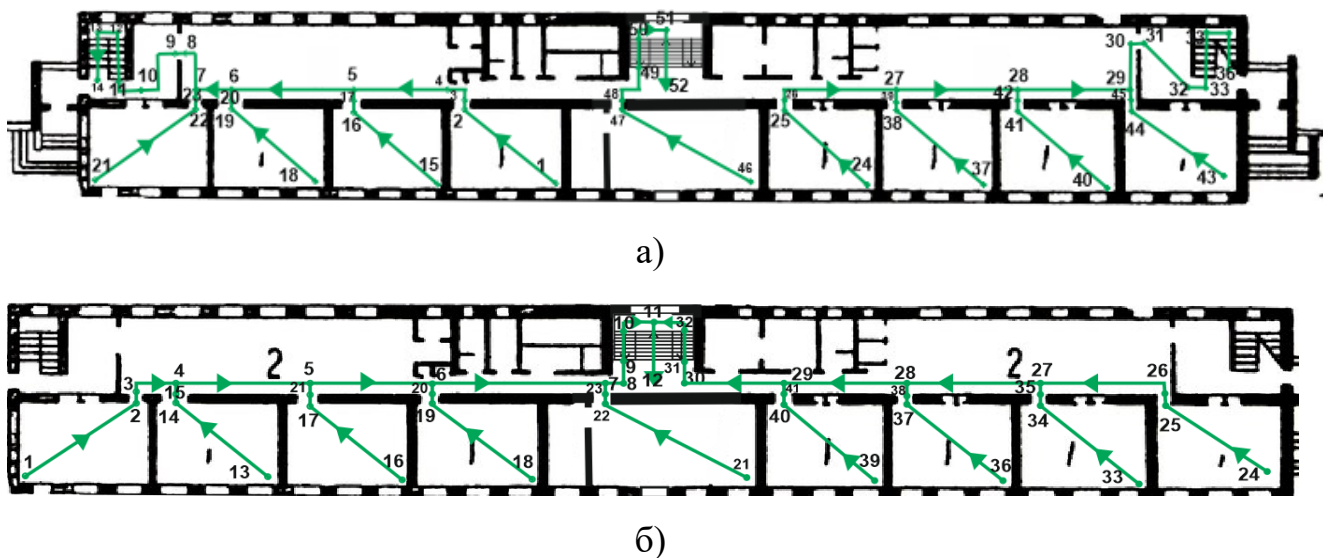
4.1. Розрахунок тривалості евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням за спрощеною аналітичною моделлю

4.1.1 Розрахунок тривалості евакуації за сценарієм 1

Методика розрахунку за спрощеною аналітичною моделлю наведена в розділі 2.

Перш за все необхідно виконати розрахунок тривалості евакуації з будівлі за умови наявності у приміщеннях 100% учасників групи мобільності М1 (сценарій 1).

Розрахункова схема евакуації для виконання розрахунку наведена на рис. 4.1.



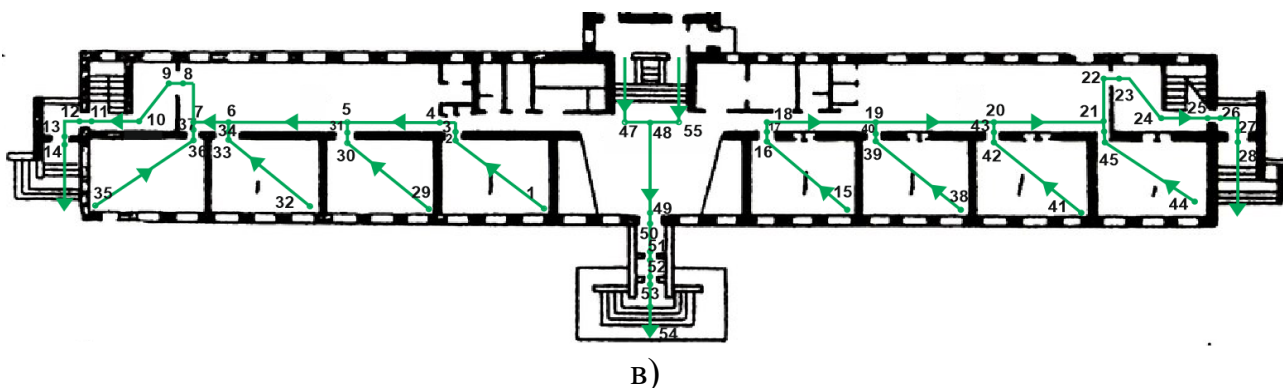


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема евакуації з будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням:

а) з третього поверху; б) з другого поверху; в) з першого поверху.

Результати розрахунків за формулами, наведеними у розділі 2, представлені у таблицях 4.1-4.3.

Таблиця 4.1

Тривалість евакуації з 3-го поверху будівлі (сценарій 1)

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кіль-ть осіб	Площа гориз. проекції людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці, хв	Час затримки, хв	Сумарний час руху ділянки, хв
Потік через бокові сходові клітки М1 (згідно ДСТУ)													
1	2	9	6	1	31	0,09	0,052	99,33	5,10	5,10	0,091		0,091
2	3	0	1	4	31	0,09		93,24	6,25	30,60	0,000	0,24	0,327
3	4	2	1,8	1	31	0,09		100,00	3,47	3,47	0,020		0,347
4	5	6	3	1	31	0,09		100,00	2,08	2,08	0,060		0,407
5	6	8	3	1	62	0,09		100,00	4,17	4,17	0,080		0,487
6	7	3	3	1	93	0,09		100,00	4,17	4,17	0,030		0,517
7	8	4	3	1	124	0,09		91,67	6,25	6,25	0,044		0,561
8	9	0	1,2	4	124	0,09		59,58	13,50	20,83	0,000	0,19	0,755
9	10	6	2	1	124	0,09		96,56	8,100	8,10	0,062		0,817
10	11	1	1,2	1	124	0,09		59,58	13,50	13,50	0,017		0,834
11	12	6	1,5	2	124	0,09		86,44	10,800	10,80	0,069		0,903
12	13	1,5	1,5	1	124	0,09		71,06	10,80	10,80	0,021		0,924
13	14	6	1,5	2	124	0,09		86,44	10,800	10,80	0,069		0,994

Примітка.

Тип ділянки 1 – горизонтальна; тип ділянки 2 – сходи вниз; тип ділянки 3 – сходи вгору; тип ділянки 4 – двері.

Отже, тривалість евакуації усіх учнів за сценарієм 1 з 3-го поверху до відмітки 2-го поверху через бічні сходові клітки становитиме 60 секунд.

Тривалість евакуації з 2-го поверху будівлі (сценарій 1)

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, хв	Час затримки, хв	Сумарний час руху ділянки, хв
Потік М1 (згідно ДСТУ)													
1	2	9	6	1	31	0,09	0,037	100,00	3,67	3,67	0,090		0,090
2	3	0	1	4	31	0,09		93,24	6,25	22,00	0,000	0,21	0,303
3	4	4	3	1	31	0,09		100,00	2,08	2,08	0,040		0,343
4	5	8	3	1	62	0,09		100,00	4,17	4,17	0,080		0,423
5	6	8	3	1	93	0,09		91,67	6,25	6,25	0,087		0,510
6	7	8	1,5	1	124	0,09		56,90	12,50	12,50	0,141		0,651
7	8	4	1,5	1	155	0,09		50,71	13,50	16,67	0,079	0,13	0,861
8	9	3	1,5	1	155	0,09		59,58	13,50	13,50	0,050		0,911
9	10	6	1,5	2	186	0,09		68,66	13,500	13,50	0,087		0,998
10	11	3	1,5	4	186	0,09		59,58	13,50	13,50	0,050		1,049
11	12	6	1,5	2	186	0,09		68,66	13,500	13,50	0,087		1,136

Примітка.

Тип ділянки 1 – горизонтальна; тип ділянки 2 – сходи вниз; тип ділянки 3 – сходи вгору; тип ділянки 4 – двері.

Всі учасники евакуації із другого поверху здійснюють рух через центральну сходову клітку. При цьому на центральній сходовій клітці відбувається злиття потоку, що евакуюється з другого поверху із потоком в кількості 31 особа, що евакуюється з третього поверху (решта учасників евакуації з 3-го поверху рухаються бічними сходовими клітками). Загальна тривалість евакуації з поверху від моменту початку руху до виходу на рівень першого поверху становить 71 с.

Евакуація з першого поверху будівлі відбувається через бокові сходові клітки з метою запобігання утворення скупчень в результаті злиття потоків на виході з центральної сходової клітки у фойє та задля дотримання рекомендації щодо мінімізації ймовірності злиття евакуаційних потоків учнів старших та молодших класів. Розрахунок тривалості евакуації (таблиця 4.3) свідчить про те, що за час, необхідний учням молодших класів, які знаходяться на 1-му поверсі, для виходу із будівлі назовні (53 секунди з моменту початку руху), учасники, що евакууюються бічними сходовими клітками з 3 поверху, ще не

встигають спуститися на рівень першого поверху, тобто злиття потоків на виході із бічних сходових кліток на 1-му поверсі не відбувається.

Таблиця 4.3

Тривалість евакуації з 1-го поверху будівлі (сценарій 1)

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кіл-ть осіб	Площа гориз. проекції людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці, хв	Час затримки, хв	Сумарний час руху ділянки, хв
Потік М1 з 1-го поверху через бокові сходові клітки (згідно ДСТУ)													
1	2	9	6	1	31	0,09	0,052	99,33	5,10	5,10	0,091		0,091
2	3	0	1	4	31	0,09		93,24	6,25	30,60	0,000	0,24	0,327
3	4	2	1,8	1	31	0,09		100,00	3,47	3,47	0,020		0,347
4	5	6	3	1	31	0,09		100,00	2,08	2,08	0,060		0,407
5	6	8	3	1	62	0,09		100,00	4,17	4,17	0,080		0,487
6	7	3	3	1	93	0,09		100,00	4,17	4,17	0,030		0,517
7	8	4	3	1	124	0,09		91,67	6,25	6,25	0,044	0,00	0,561
8	9	0	1,2	4	124	0,09		59,58	13,50	20,83	0,000	0,19	0,755
9	10	6	2	1	124	0,09		96,56	8,100	8,10	0,062		0,817
10	11	1	1,2	1	124	0,09		59,58	13,50	13,50	0,017		0,834
11	12	0	1	4	124	0,09		48,26	16,20	16,20	0,000		0,834
12	13	2	1,2	1	124	0,09		59,58	13,50	13,50	0,034		0,868
13	14	0	1	4	124	0,09		48,26	16,20	16,20	0,000		0,868
Потік М1 з 1-го поверху через центральну сходову клітку та фойє (згідно ДСТУ)													
11	12	6	1,5	2	186	0,09		68,66	13,500	13,50	0,087		1,161
48	49	6	6	1	310	0,09		90,54	6,750	6,75	0,066		1,227
49	50	0	1,8	4	310	0,09		77,66	9,25	22,50	0,000	1,18	2,411
50	51	2	2	1	310	0,09		78,38	8,33	8,33	0,026		2,436
51	52	0	1,8	4	310	0,09		77,66	9,25	9,25	0,000		2,436
52	53	5	2	1	310	0,09		78,38	8,33	8,33	0,064		2,500
53	54	0	1,8	4	310	0,09		77,66	9,25	9,25	0,000		2,436

Примітка.

Тип ділянки 1 – горизонтальна; тип ділянки 2 – сходи вниз; тип ділянки 3 – сходи вгору; тип ділянки 4 – двері.

Під час евакуації через центральну сходову клітку буде виходити назовні 310 осіб. На виході із фойє утвориться скупчення, час існування якого становитиме 71 секунду. Час, що мине від початку руху до виходу назовні останнього учасника евакуації, становитиме 2,43 хв = 146 с.

За умови обладнання будівлі школи СОУЕ 1-3 типу загальний розрахунковий час евакуації становитиме 326 с, а за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу – 236 с.

4.1.2 Розрахунок тривалості евакуації за сценарієм 2

Виконаємо розрахунок часу евакуації з будівлі закладу освіти за сценарієм 2, тобто приймемо умови, згідно яких у кожному класі перебуває 22 особи – 20 учнів та 2 педагоги. При цьому врахуємо наявність у складі учнів 10% учасників евакуації групи мобільності М3 (2-3 поверхи) та 10% групи мобільності М4 (1 поверх).

Порядок руху потоків приймаємо аналогічно сценарію 1. При такій організації евакуації мінімізується можливість злиття потоків різного віку та кількісного складу.

Відповідно до встановлених у розділі 3 залежностей швидкості та інтенсивності руху від щільності потоку визначимо основні розрахункові параметри. Параметри руху змішаних евакуаційних потоків М1+М4 та М1+М3 наведені в таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4

Інтенсивність і швидкість руху змішаного потоку 90% М1+10%М4 на різних ділянках шляхів евакуації в залежності від щільності

Щільність потоку D $\text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальний шлях		Дверний проріз, інтенсивність q , м/хв
	Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв	
0,01	50,0	1,0	1,0
0,05	50,0	2,5	4,0
0,10	50,0	5,0	6,5
0,20	44,7	8,9	9,7
0,30	36,9	11,1	11,8
0,40	31,4	12,6	13,1
0,50	27,1	13,6	13,8
0,60	23,6	14,2	14,0
0,70	20,6	14,4	13,8
0,80	18,1	14,4	13,3
0,90 і більше	15,8	14,2	10

Таблиця 4.5

Інтенсивність і швидкість руху змішаного потоку 90% M1+10%M3 на різних ділянках шляхів евакуації в залежності від щільності

Щільність потоку D $\text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальний шлях		Дверний проріз, інтенсивність q , м/хв	Сходи вниз		Сходи вгору	
	Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв		Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв	Швидкість V , м/хв.	Інтенсивність q , м/хв
0,01	66,0	1,0	1	30,0	0,5	25,0	0,5
0,05	66,0	3,3	5	30,0	1,5	25,0	1,3
0,10	66,0	6,6	7	30,0	3,0	25,0	2,5
0,20	50,0	10,0	11,5	21,7	4,3	18,6	3,7
0,30	40,7	12,2	14,1	16,8	5,0	14,8	4,4
0,40	34,0	13,6	16,3	13,4	5,3	12,2	4,9
0,50	28,9	14,5	16,8	10,7	5,3	10,1	5,1
0,60	24,7	14,8	17,1	8,5	5,1	8,4	5,1
0,70	21,2	14,8	16,6	7,0	4,9	7,0	4,9
0,80	18,1	14,5	16	6,0	4,8	5,8	4,6
0,90 і більше	14,0	12,6	13,5	5,0	4,5	5,0	4,5

Розрахункову схему евакуації наведено на рисунку 4.1. Результати розрахунків зведемо до таблиць 4.6-4.8 аналогічно сценарію 1.

Таблиця 4.6

Тривалість евакуації з 3-го поверху будівлі (сценарій 2)

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кіл-ть осіб	Площа гориз. проекції людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці	Час затримки	Сумарний час руху ділянки
Потік через бокові сходові клітки 90%M1+10%M3													
1	2	9	6	1	22	0,11	0,045	66,0	3,00	3,00	0,136		0,136
2	3	0	1	4	22	0,11		14,00	12,60	18,00	0,000	0,04	0,179
3	4	2	1,8	1	22	0,11		66,00	7,00	7,00	0,030		0,209
4	5	6	3	1	22	0,11		66,00	8,40	8,40	0,091		0,300
5	6	8	3	1	44	0,11		40,00	12,60	12,60	0,200		0,500
6	7	3	3	1	66	0,11		40,00	12,60	12,60	0,075		0,575
7	8	4	3	1	88	0,11		14,00	12,60	16,80	0,286	0,08	0,861
8	9	0	1,2	4	88	0,11		14,00	13,50	31,50	0,000	0,12	0,981
9	10	6	2	1	88	0,11		58,00	8,100	8,10	0,103		1,084
10	11	1	1,2	1	88	0,11		34,00	13,50	13,50	0,029		1,114
11	12	6	1,5	2	88	0,11		5,00	4,500	10,80	1,200	0,19	2,504
12	13	1,5	1,5	1	88	0,11		66,00	4,500	4,50	0,023		2,527
13	14	6	1,5	2	88	0,11		20,00	4,50	4,50	0,300		2,827

Примітка.

Тип ділянки 1 – горизонтальна; тип ділянки 2 – сходи вниз; тип ділянки 3 – сходи вгору; тип ділянки 4 – двері.

Тривалість евакуації усіх учнів за сценарієм 2 з 3-го поверху до відмітки 2-го поверху через бічні сходові клітки становитиме 169 секунд. Порівняння із тривалістю подолання аналогічних ділянок потоком складу 100% М1 показує, що за умови присутності у складі потоку 10% учасників групи мобільності М3 на 2 опорах збільшує тривалість у понад 2,5 рази. Причиною цьому є низька швидкість руху осіб на 2 опорах сходами.

Таблиця 4.7

Тривалість евакуації з 2-го поверху будівлі (сценарій 2)

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кількість осіб	Площа гориз. проєкції людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці	Час затримки	Сумарний час руху ділянки
Потік 90%М1+10%М3													
1	2	9	6	1	22	0,11	0,045	66,00	3,00	3,00	0,136		0,136
2	3	0	1	4	22	0,11		14,00	12,60	18,00	0,000	0,04	0,179
3	4	4	3	1	22	0,11		66,00	4,20	4,20	0,061		0,240
4	5	8	3	1	44	0,11		66,00	8,40	8,40	0,121		0,361
5	6	8	3	1	66	0,11		40,00	12,60	12,60	0,200		0,561
6	7	8	1,5	1	88	0,11		14,00	12,60	25,20	0,571	0,08	1,212
7	8	4	1,5	1	110	0,11		14,00	12,60	21,00	0,286	0,11	1,608
8	9	3	1,5	1	110	0,11		40,00	12,60	12,60	0,075		1,683
9	10	6	1,5	2	132	0,11		5,00	4,500	12,60	1,200	0,11	2,993
10	11	3	1,5	4	132	0,11		66,00	4,50	4,50	0,045		3,038
11	12	6	1,5	2	132	0,11		20,00	4,500	4,50	0,300		3,338

Примітка.

Тип ділянки 1 – горизонтальна; тип ділянки 2 – сходи вниз; тип ділянки 3 – сходи вгору; тип ділянки 4 – двері

Як і за сценарієм 1, усі учасники евакуації із другого поверху здійснюють рух через центральну сходову клітку. При цьому на центральній сходовій клітці відбувається злиття потоків, що евакуюються із другого поверху із потоком в кількості 22 особи, що евакуюються з третього поверху (решта учасників, що евакуюються із 3-го поверху рухаються бічними сходовими клітками). Загальна тривалість евакуації від моменту початку руху до виходу на рівень першого поверху становить 202 с.

Евакуація з першого поверху будівлі за сценарієм 2 відбувається аналогічно сценарію 1. Розрахунок тривалості евакуації свідчить про те, що

злиття потоків на виході із бічних сходових кліток на 1-му поверсі не відбувається.

Таблиця 4.8

Тривалість евакуації з 1-го поверху будівлі (сценарій 2)

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кіл-ть осіб	Площа гориз. проєкції людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці	Час затримки	Сумарний час руху ділянки
Потік 90% M1+10%M4 з 1-го поверху через бокові евакуаційні виходи													
1	2	9	6	1	31	0,16	0,069	50,0	3,00	6,20	0,180		0,180
2	3	0	1	4	31	0,16		15,80	11,50	18,00	0,000	0,09	0,267
3	4	2	1,8	1	31	0,16		50,00	6,39	6,39	0,040		0,307
4	5	6	3	1	31	0,16		50,00	3,83	3,83	0,120		0,427
5	6	8	3	1	62	0,16		46,50	7,67	7,67	0,172		0,599
6	7	3	3	1	93	0,16		35,00	11,50	11,50	0,086		0,685
7	8	4	3	1	124	0,16		13,80	13,80	15,33	0,290	0,08	1,055
8	9	0	1,2	4	124	0,16		13,80	11,50	34,50	0,000	0,28	1,335
9	10	6	2	1	124	0,16		50,00	6,900	6,90	0,120		1,455
10	11	1	1,2	1	124	0,16		35,00	11,50	11,50	0,029		1,483
11	12	0	1	4	124	0,16		27,10	13,800	13,80	0,000		1,483
12	13	2	1,2	1	124	0,16		35,00	11,500	11,50	0,057		1,541
13	14	0	1	4	124	0,16		27,10	13,80	13,80	0,000		1,541
Потік M1+M3 з 1-го поверху через центральний вихід та фойє													
11	12	6	1,5	2	132	0,11		20	4,5	4,5	0,3		3,338
48	49	6	6	1	220	0,11		50,00	4,500	4,50	0,120		3,458
49	50	0	1,8	4	220	0,11		13,80	11,50	15,00	0,000	0,33	3,785
50	51	2	2	1	220	0,11		39,50	10,35	10,35	0,051		3,836
51	52	0	1,8	4	220	0,11		38,00	11,50	11,50	0,000		3,836
52	53	5	2	1	220	0,11		39,50	10,35	10,35	0,127		3,963
53	54	0	1,8	4	220	0,11		38,00	11,50	11,50	0,000		3,836

Примітка.

Тип ділянки 1 – горизонтальна; тип ділянки 2 – сходи вниз; тип ділянки 3 – сходи вгору; тип ділянки 4 – двері

Під час евакуації через центральну сходову клітку буде евакуюватися 220 осіб. Час, що мине від початку руху до виходу назовні останнього учасника евакуації, становитиме 3,836 хв = 230 с.

За умови обладнання будівлі школи СОУЕ 1-3 типу загальний розрахунковий час евакуації становитиме 410 с, а за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу – 320 с.

4.2. Розрахунок часу евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням за індивідуально-поточною моделлю

Використання індивідуально-поточної моделі дозволяє враховувати неодноразовість початку евакуації, порятунком маломобільних учасників руху силами персоналу на ношах, колісних кріслах і інших засобах пересування. У вихідних даних задаються «клієнти» (агенти, яким потрібна допомога для руху) і «помічники» (агенти, які переміщують немобільних агентів).

У роботі для визначення тривалості евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням було використано програмний комплекс Pathfinder [35]. У цьому комплексі взаємозалежності між параметрами руху потоку взяті з [31]. Для потоків, щільність яких перевищує $0,55$ осіб/м² значення швидкості руху кожного учасника визначається за залежністю:

$$V(D) = k \cdot V_{\max} \cdot \frac{1 - 0,266D}{1,19}, \quad (4.1)$$

де D – щільність потоку (ос/м²), k – коефіцієнт швидкості вільного руху (для горизонтальних ділянок $k = 1,4$ м/с); V_{\max} – максимальна швидкість руху учасника евакуації, що задається користувачем.

Для розрахунку інтенсивності руху крізь дверний проріз застосовується залежність:

$$q = (1 - 0,266D) \cdot kD. \quad (4.2)$$

Час t виходу потоку кількістю n осіб крізь дверний проріз визначається із врахуванням ефективної ширини прорізу за залежністю:

$$t = \frac{n - 1}{q} \quad (4.3)$$

Із чисельника очевидно, що перший учасник потоку не враховується, оскільки проходить крізь дверний проріз вільно (за відсутності скупчення).

Швидкість руху на сходах вгору і вниз розраховується за залежністю (4.1). При цьому значення коефіцієнта k змінюються залежно від висоти та ширини сходинки.

Програма дозволяє реалізувати різні варіанти поведінки під час рятування, зокрема призначати з числа учасників вже згаданих асистентів та клієнтів. Перші можуть супроводжувати других впродовж всього шляху, а можуть передавати від однієї команди рятувальників до іншої (наприклад, одна команда перевозить потерпілих або маломобільних учасників евакуації до ліфта, інша – зустрічає внизу біля ліфта), або надавати допомогу тільки на певній ділянці шляху (наприклад, допомогти агенту в колісному кріслі під час спуску сходами).

Формування так званих «команд допомоги» із числа асистентів дозволяє враховувати різноманітні сценарії, характерні для об'єктів різного призначення.

Одним із найважливіших аспектів розрахунку тривалості евакуації із будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням є використання достовірних вихідних даних.

Слід враховувати, що у процесі евакуації інклюзивного класу швидкість усіх учнів групи мобільності M1 залежить від швидкості присутніх у класі учнів груп мобільності M3 або M4, оскільки вчитель та асистент вчителя зобов'язані забезпечувати контроль за евакуацією, а, отже, дозволяти учням групи мобільності M1 рухатися вільно вони не можуть.

Якщо не врахувати цього у налаштуваннях профілів учасників евакуації в Pathfinder, моделювання потоків не буде відповідати реальним умовам.

Програма перегляду 3D-результатів реалістично відображає процес порятунку (рис. 4.2).

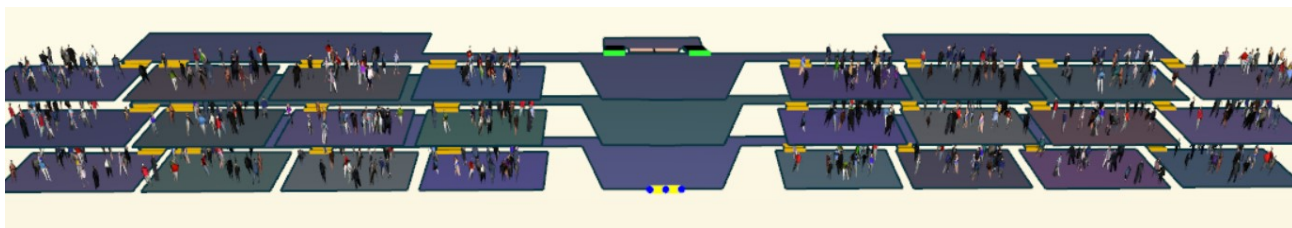
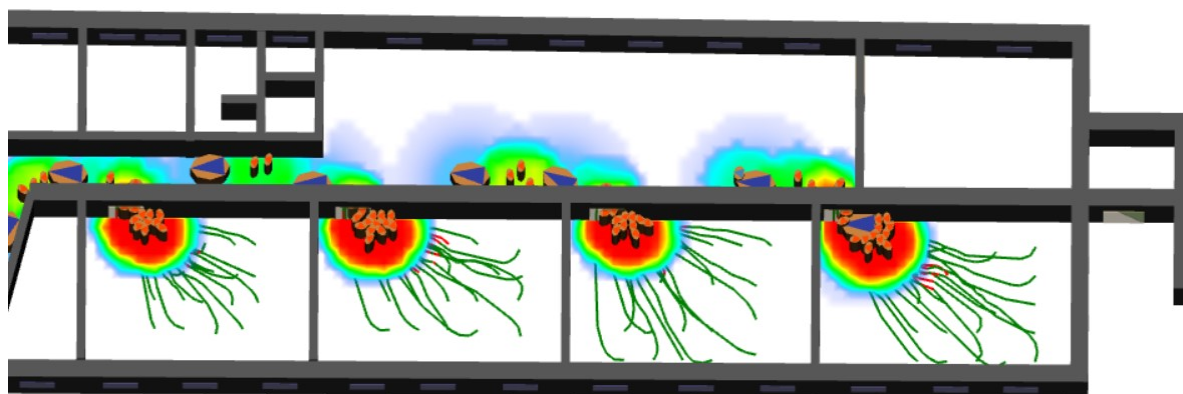


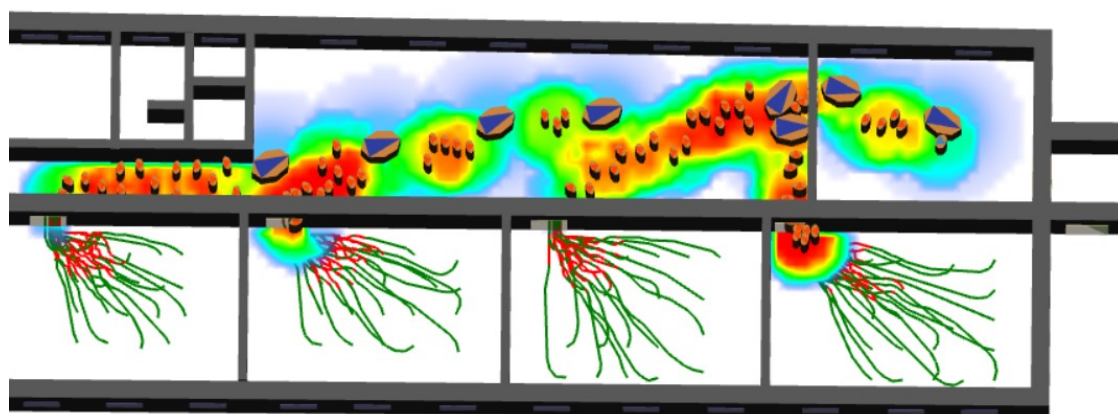
Рисунок 4.2 – Розрахункова схема евакуації за індивідуально-поточною моделлю у програмному комплексі Pathfinder.

За результатами моделювання процесу евакуації з будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням для заданої розрахункової схеми визначено тривалість евакуації за 1 та за 2 сценаріями.

Аналогічне моделювання обох сценаріїв було виконано із використанням програмного комплексу Fenix+, що також працює із використанням індивідуально-потоків моделі [10] (рис. 4.3).



а)



б)

Рисунок 4.3 – Моделювання процесу евакуації змішаного потоку у програмному комплексі Fenix+

а) через центральну сходову клітку; б) через бокові сходові клітки.

Результати евакуації зведено до таблиці 4.9.

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% учнів групи М1)			Сценарій 2 (М1+М3+М4)		
	$t_{руху}$	$t_{n.e.} + t_{руху}$ (СОУЕ 1-3 типу)	$t_{n.e.} + t_{руху}$ (СОУЕ 4-5 типу)	$t_{руху}$	$t_{n.e.} + t_{руху}$ (СОУЕ 1-3 типу)	$t_{n.e.} + t_{руху}$ (СОУЕ 4-5 типу)
Спрощений аналітичний метод	146	326	236	230	410	320
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%М1+10%М3 та 90%М1+10%М4 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 [59, 93].

Як бачимо, при застосуванні індивідуально-поточної моделі різні програмні комплекси показують різні результати. Найменше розрахункове значення тривалості евакуації отримано після використання програмного комплексу Pathfinder.

4.3. Розрахунки часу блокування евакуаційних шляхів та виходів небезпечними чинниками пожежі

Моделювання поширення НЧП в будівлі закладу освіти з інклюзивним навчанням було виконано із використанням польової моделі [69].

Польова модель є найбільш універсальним засобом комп'ютерного моделювання розвитку пожеж. З її допомогою можна розрахувати температури, швидкості, концентрації компонентів суміші, теплові потоки і т.д. в кожній точці розрахункової області на об'єктах будь-якої геометричної форми з урахуванням основних фізико-хімічних процесів, досить точно відтворюючи умови протікання пожежі.

Польова модель побудована на основі системи диференціальних рівнянь у частинних похідних, зокрема: рівняння нерозривності, рівняння збереження кількості руху (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння збереження енергії [46, 81].

Використання польової моделі пожежі дає змогу здійснювати розрахунок параметрів просторових нестационарних турбулентних потоків, дифузійних процесів у неоднорідних газових сумішах, хімічних реакцій в потоці, горіння газоподібних, рідких і твердих речовин, конвективного, радіаційного теплообміну і процесів теплопровідності, руху дисперсної фази (часток диму) в потоці газу [13].

Процес моделювання розвитку пожежі можна розділити на дві складові. Першою є моделювання осередку займання. Другою – поширення НЧП. Основною проблемою моделювання процесів поширення полум'я є величезне розмаїття пожежного навантаження, моделювання горіння якого потребує наявності експериментальних даних. Ще однією причиною виникнення складнощів є нерівномірний просторовий розподіл пожежного навантаження. При цьому найскладніше розв'язувати задачі моделювання процесів горіння твердих горючих матеріалів. Існують два основні підходи до моделювання осередку пожежі. В першому випадку горючий матеріал є частиною розрахункової області і при цьому слід розв'язати рівняння, що описують процеси піролізу (для твердих горючих речовин), випаровування (для ЛЗР та ГР), горіння летких газів, утворення сажі. Подібний підхід дає змогу отримати досить точні дані моделювання, проте є надзвичайно трудомістким і вимагає розробки моделей для кожного матеріалу.

Другий підхід передбачає застосування емпіричних моделей (Подібні емпіричні моделі застосовуються при реалізації зонних методів розрахунку). Ці моделі потребують наявності таких вихідних розрахункових даних, як лінійна швидкість поширення фронту полум'я, швидкість виділення продуктів горіння і потужність джерела тепла. Як правило, під час горіння пожежного навантаження приймається, що виділяється еквівалентний горючий газ, при повному згорянні якого виділяється необхідна кількість тепла і продуктів горіння. Крім газу при вигоранні пожежного навантаження утворюються частинки сажі, кількість яких визначається за емпіричними даними в процесі вимірюванні оптичної щільності диму. При цьому достовірний підрахунок кількості сажі має велике значення, оскільки сажа має суттєвий вплив на радіаційний теплообмін і на видимість. Після визначення кількості сажі поширення диму можна розраховувати, моделюючи поширення поля оптичної щільності диму як пасивної газової компоненти. Перевагами означеного підходу є мінімальні вимоги до обчислювальних ресурсів, наявність великої кількості даних і відносна легкість отримання цих даних під час експериментів. Та при цьому маса частинок приймається рівною нулю, що може призвести до неточностей під час розрахунків.

Однією з програм, що дозволяють реалізувати польову модель, є програма Національного інституту стандартів і технології Міністерства торгівлі США «Fire Dynamics Simulator» (FDS). Програма розроблена Національним інститутом стандартів і технології США в міжнародній кооперації з науково-дослідними організаціями США, Канади і Фінляндії. Процес розробки FDS тривав майже 25 років. Офіційний реліз відбувся у 2000 році. З першого її випуску виконувалися постійні оновлення, що базувались на врахуванні зауважень і пропозицій користувачів. FDS і Smokeview – безкоштовне програмне забезпечення: авторські права розробників не захищені. Однак необхідно зауважити, що FDS – досить складна у використанні програма, яку необхідно запускати з командного рядка, а вхідні параметри мають бути записані в текстовий файл.

Для спрощення роботи з FDS ряд компаній у світі в рамках комерційних проектів розробили власне програмне забезпечення, яке спрощує роботу користувача та забезпечує візуалізацію результатів розрахунку [38].

В даному випадку для моделювання за допомогою FDS оберемо вихідні дані пожежного навантаження та будівельних матеріалів із довідкових джерел (таблиці 4.9 і 4.10).

Таблиця 4.9

Параметри пожежного навантаження приміщення школи [73]

Характеристика приміщення	Навчальний клас (меблі+папір)
Нижча теплота згорання Q , кДж·кг ⁻¹	13800
Лінійна швидкість розповсюдження полум'я по поверхні горючого матеріалу \mathcal{Q} , м·с ⁻¹	0,0108
Питома масова швидкість вигорання горючого матеріалу Ψ_F , кг·м ⁻² ·с ⁻¹	0,0145
Виділення CO ₂ L_{CO_2} , кг·кг ⁻¹	0,203
Виділення CO L_{CO} , кг·кг ⁻¹	0,0021
Виділення HCl L_{HCl} , кг·кг ⁻¹	0,014
Димоутворювальна здатність D_m , Нп·м ⁻² ·кг ⁻¹	270
Споживання кисню L_{O_2} , кг·кг ⁻¹	1,03

Таблиця 4.10

Теплофізичні параметри матеріалів стін та стелі [73]

Цегляні стіни	
Коефіцієнт теплопровідності, кВ/(м·°С)	0,0015
Питома теплоємність, кДж/(кг·°С)	0,96
Густина, кг/м ³	2645
Ступінь чорноти	0,9
Залізобетонне перекриття	
Коефіцієнт теплопровідності, кВ/(м·°С)	0,00175
Питома теплоємність, кДж/(кг·°С)	1
Густина, кг/м ³	2200
Ступінь чорноти	0,94

За результатами розрахунку різних варіантів виникнення пожежі з подальшим моделюванням поширення НЧП було встановлено найбільш несприятливий сценарій – пожежа в навчальному класі першого поверху. У випадку такої пожежі час блокування евакуаційних шляхів та виходів НЧП (зокрема фойє та бокові виходи) буде найменшим та становитиме 347 с для фойє та 243 с для бокового виходу. Результати моделювання полів поширення небезпечних чинників пожежі за найбільш несприятливим сценарієм наведені на рисунках 4.4 – 4.9.

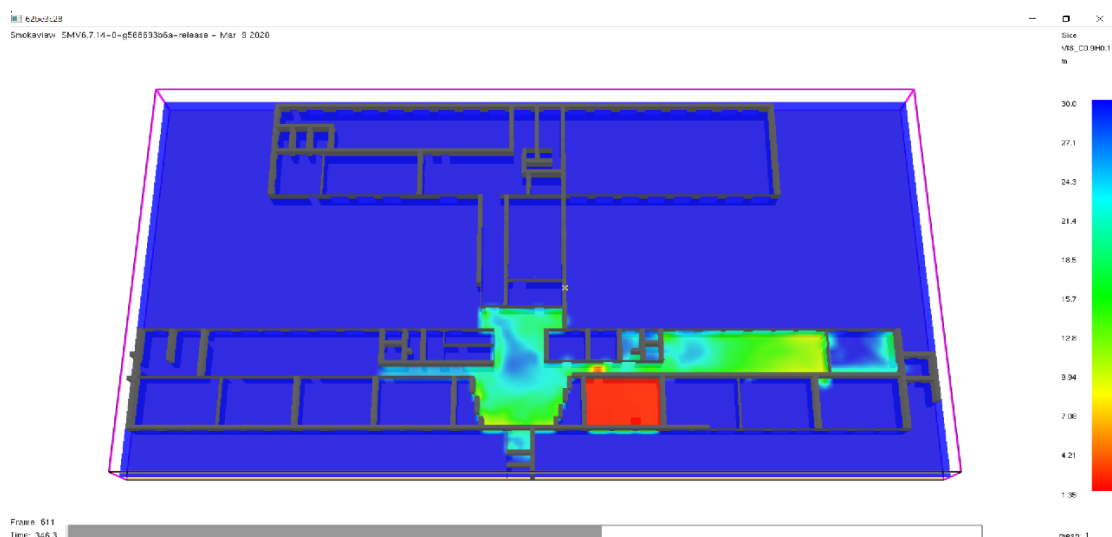


Рисунок 4.4 – Видимість у приміщеннях закладу середньої освіти станом на 347 с (настає блокування центрального виходу з будівлі)

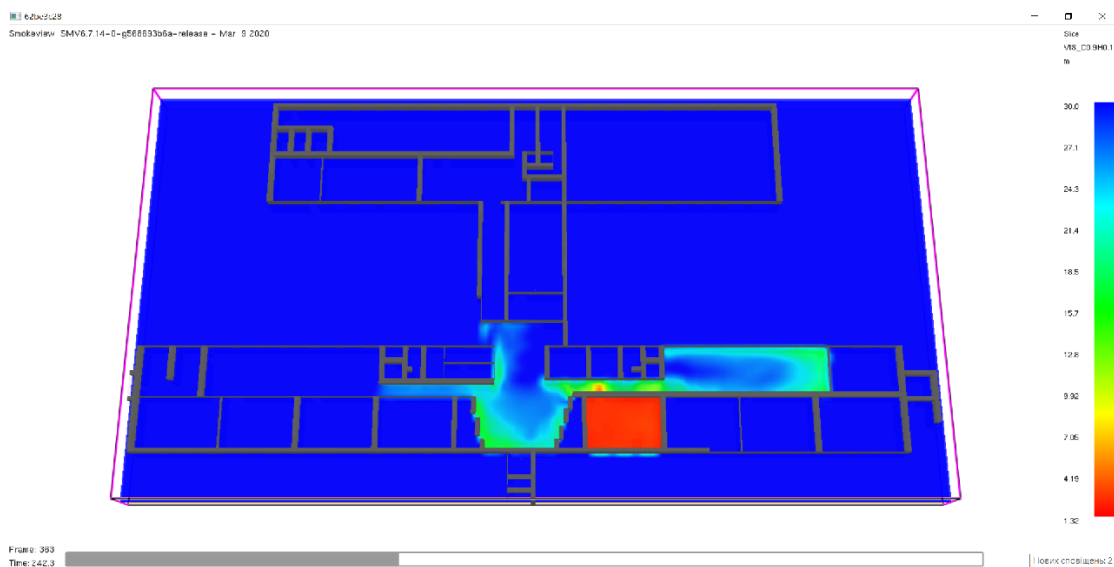


Рисунок 4.5 – Видимість у приміщеннях закладу середньої освіти станом на 243 с (настає блокування бокового виходу з будівлі)

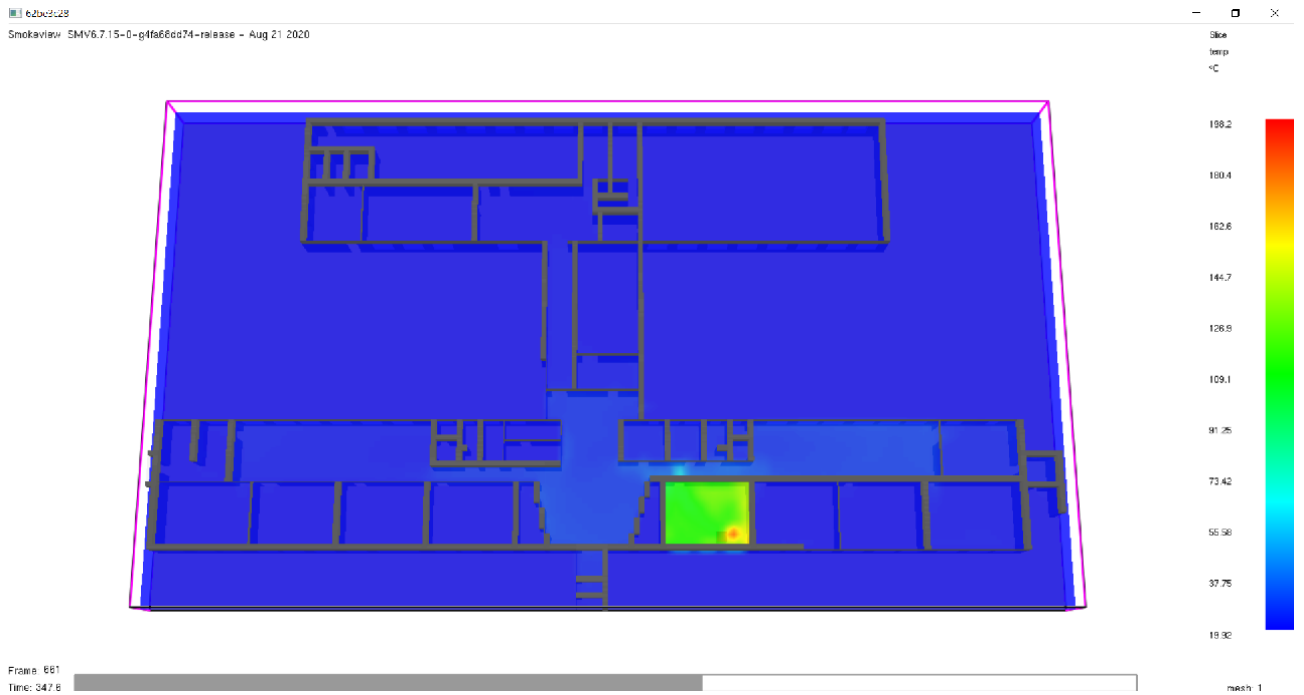


Рисунок 4.6 – Температурне поле у приміщеннях закладу середньої освіти станом на 347 с (блокування виходів з будівлі не відбувається)

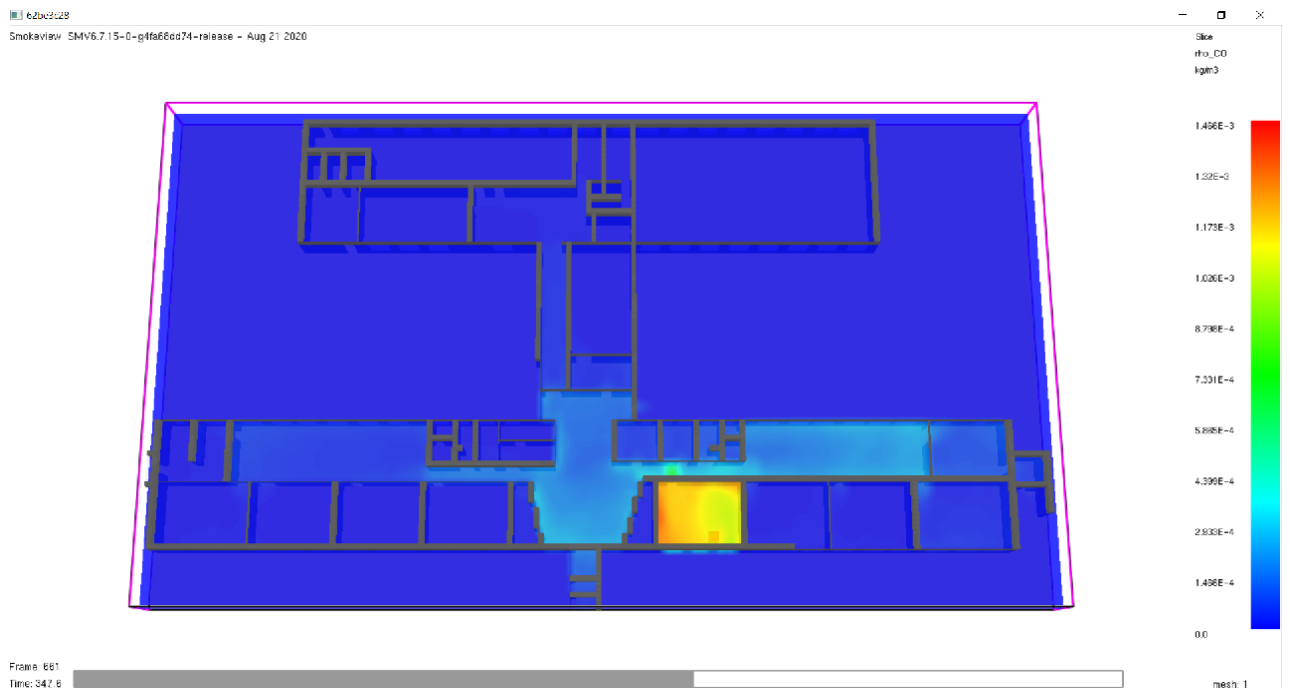


Рисунок 4.7 – Концентрація СО у приміщеннях закладу середньої освіти станом на 347 с (блокування виходів з будівлі не відбувається)

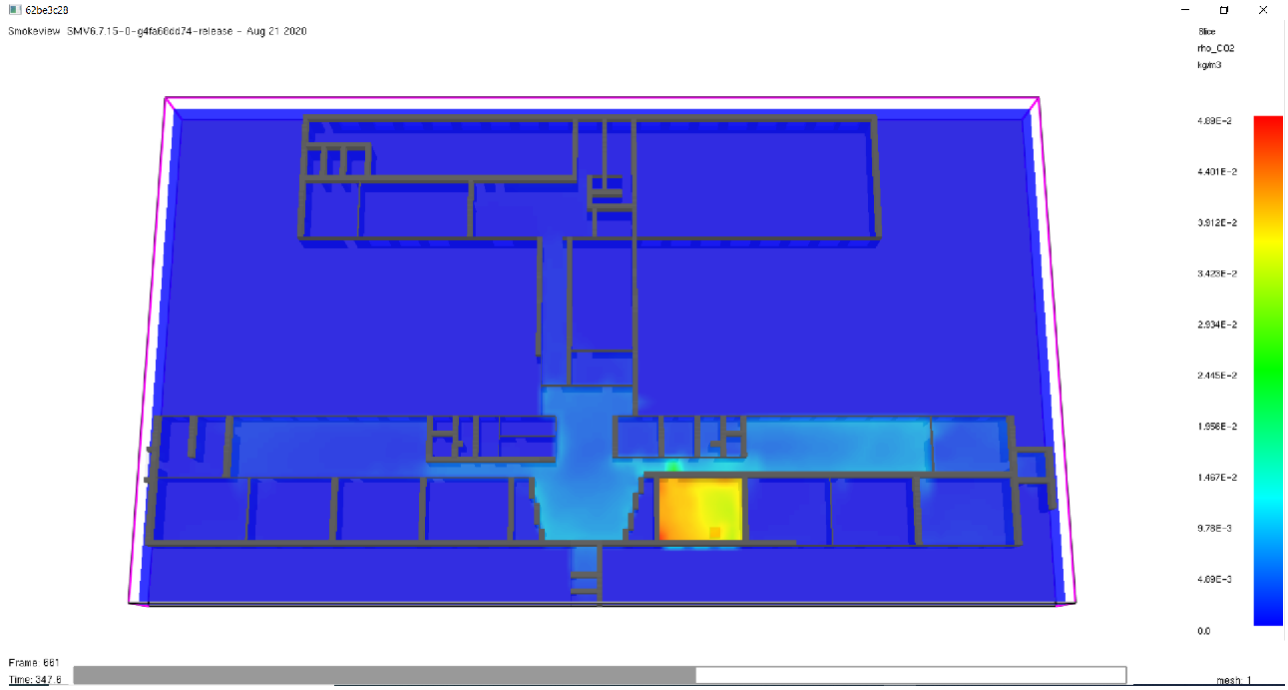


Рисунок 4.8 – Концентрація CO₂ у приміщеннях закладу середньої освіти станом на 347 с (блокування виходів з будівлі не відбувається)



Рисунок 4.9 – Концентрація кисню у приміщеннях закладу середньої освіти станом на 347 с (блокування виходів з будівлі не відбувається).

Отже, у випадку виникнення пожежі на першому поверсі найшвидше буде відбуватися блокування евакуаційних виходів за втратою видимості.

Порівняння результатів розрахунку тривалості евакуації з будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням із часом блокування евакуаційних шляхів та виходів будівлі НЧП дає змогу зробити висновок, що 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 М1.

У разі присутності у складі потоків учнів груп мобільності М3 та М4 розрахункова тривалість евакуації зростає і наявність СОУЕ 1-3 типу не дає змоги здійснити своєчасну евакуацію усіх учасників навчального процесу навіть попри зменшення загальної кількості учасників евакуації на 30%.

Результати розрахунків свідчать, що забезпечення своєчасної евакуації змішаних потоків груп мобільності М1, М3 та М4 можливе лише за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу.

Аналіз використання описаних у розділі моделей евакуації допоміг виявити низку завдань, які вимагають подальшого розгляду і вирішення.

Перш за все, суттєвою проблемою є відсутність у нормативних документах єдиного підходу до організації гардеробів. Це створює суттєві проблеми при розрахунку тривалості евакуації в холодну пору року. Очевидно, у чинних державних будівельних нормах слід встановити чіткіші вимоги до розміщення та об'ємно-планувальних рішень гардеробів у закладах освіти з інклюзивним навчанням.

Аналогічно з гардеробами необхідно конкретизувати вимоги до розміщення та облаштування ліфтів, які, як показує практика, вже активно впроваджуються в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням [74]. Влаштування таких ліфтів без попереднього розрахунку тривалості евакуації є неприпустимим. В той же час чинні моделі не дають змоги забезпечувати такі розрахунки належним чином.

4.4. Висновки до розділу

На основі отриманих у розділі 3 результатів визначено вихідні дані для розрахунку тривалості евакуації з будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням.

Для розробленої розрахункової схеми евакуації виконано розрахунок тривалості евакуації із застосуванням спрощеної аналітичної та індивідуально-поточної моделей. Моделювання процесу евакуації із закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням виконано із застосуванням програмних комплексів Pathfinder та Fenix+.

За результатами розрахунків встановлено, що, попри зменшення загальної кількості учасників евакуації на 33%, час, необхідний для руху від початкових позицій до виходу в безпечну зону, для змішаного потоку, що складається із 10% учасників групи мобільності М3 та М4 і 90% учасників групи мобільності М1, зростає на 57,53% у порівнянні з потоком, що на 100% складається із учасників групи мобільності М1.

При цьому розрахункова тривалість евакуації із будівлі закладу освіти з інклюзивним навчанням зростає на 29,76% за умови обладнання будівлі СОУЕ 1-3 типу і на 31,6% за умови обладнання СОУЕ 4-5 типу.

Із використанням програмного продукту FDS, реалізованого на основі польової моделі, виконано моделювання поширення НЧП в будівлі закладу середньої освіти з інклюзивним навчанням та встановлено мінімальні значення часу, необхідні для блокування НЧП евакуаційних шляхів і виходів. Встановлено, що найбільш несприятливий сценарій розвитку матиме пожежа на першому поверсі у навчальному приміщенні, розташованому поблизу фойє. За таких умов час блокування головного виходу назовні за ознакою втрати видимості становитиме 347 с.

За результатами порівняння розрахункової тривалості евакуації із часом блокування евакуаційних шляхів і виходів небезпечними чинниками пожежі встановлено, що забезпечення своєчасної евакуації змішаних потоків груп мобільності М1, М3 та М4 можливе лише за умови обладнання будівлі СОУЕ 4-5 типу.

Результати досліджень опубліковано в [48], [100], [102].

РОЗДІЛ 5. АПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Рішення з мінімізації затрат часу на початковому етапі евакуації із навчальних приміщень закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням

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 інколи 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.

Одним із способів зменшення тривалості початкового етапу евакуації в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням є проведення навчально-виховної роботи як з учнями, так і вчителями та їх асистентами. При цьому слід пам'ятати, що знання правил пожежної безпеки не є запорукою їх чіткого дотримання в екстремальних умовах, особливо, якщо йдеться про дітей.

Необхідно відзначити, що сучасна індустрія розваг в Україні не пасе задніх і йде практично в ногу із більшістю країн Європи. Станом на початок 2020 року середньостатистична українська дитина віком 4-10 років відвідує ігрові розважальні центри близько 1,8 раза на рік. Ця інформація нашою думкою, що намагання підготувати дітей до дій в умовах пожежі не слід зводити до банального щорічного повторення одних і тих же правил. Доцільно спробувати перетворити цей процес у цікаву та пізнавальну гру. Однією із оптимальних ігрових форм навчання в цьому випадку є квести.

Втілення цієї ідеї у життя можлива у двох форматах. Перший – проведення квестів безпосередньо в навчальних класах. Другий – розробка та використання спеціальної квест-кімнати [3].

Перший варіант не потребує суттєвих фінансових затрат і може використовуватися у кожному закладі освіти.

Розробка концепції тематичної квест-кімнати є фінансово затратним засобом, який унеможлиблює її створення в кожному закладі освіти. Проте використання квест-кімнати дало б змогу з одного боку підвищувати готовність гравців до дій в умовах пожежі, роблячи її дешевою альтернативою тренувального полігону, а з іншого – накопичувати експериментальні дані для подальшого дослідження поведінки дітей різного віку в умовах пожежі. Своєю багатофункціональністю, інформативністю, здатністю до мотивації та соціалізації учасників квест-кімнати можуть посприяти одночасному формуванню знань вмінь та навиків безпечної поведінки.

5.2. Обґрунтування ефективності застосування ігрових форм навчання для мінімізації тривалості початкового етапу евакуації

Очевидно, що на початковому етапі евакуації 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 загальної тривалості евакуації. При цьому, як вже було сказано раніше, 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 молодшого шкільного віку закладів загальної середньої освіти готовності до дій на початковому етапі евакуації 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.

Перед виконанням вправ діти для здобуття первинних навик відпрацьовували початковий етап евакуації у складі класу.

Виходячи із результатів спостережень за початковим етапом евакуації, отриманих у розділі 3, а також результатів розрахунку тривалості евакуації та часу блокування евакуаційних шляхів і виходів НЧП, було встановлено критерії оцінювання результатів виконання вищезначеного завдання за 12-бальною шкалою (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1

Критерії оцінювання одягання зимового одягу та взуття учнями молодших класів на швидкість

Оцінка	Час, с	Оцінка	Час, с	Оцінка	Час, с
12	Менше 30	8	45-50	4	65-70
11	30-35	7	50-55	3	70-75
10	35-40	6	55-60	2	75-80
9	40-45	5	60-65	1	Понад 80 с

Розподіл результатів оцінювання обох груп учасників наведено у таблицях 5.2 та 5.3.

Таблиця 5.2

Розподіл результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі

h	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12
n_i	4	18	28	21	7	1	1
W_i	0,0500	0,2250	0,3500	0,2625	0,0875	0,0125	0,0125

Таблиця 5.3

Розподіл результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із застосуванням ігрових форм навчання

h	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12
n_i	2	12	23	22	17	4	2
W_i	0,0244	0,1463	0,2805	0,2683	0,2073	0,0488	0,0244

Отримані за підсумками виконання завдань оцінки зведено у вигляді гістограм (рисунки 5.1-5.2).

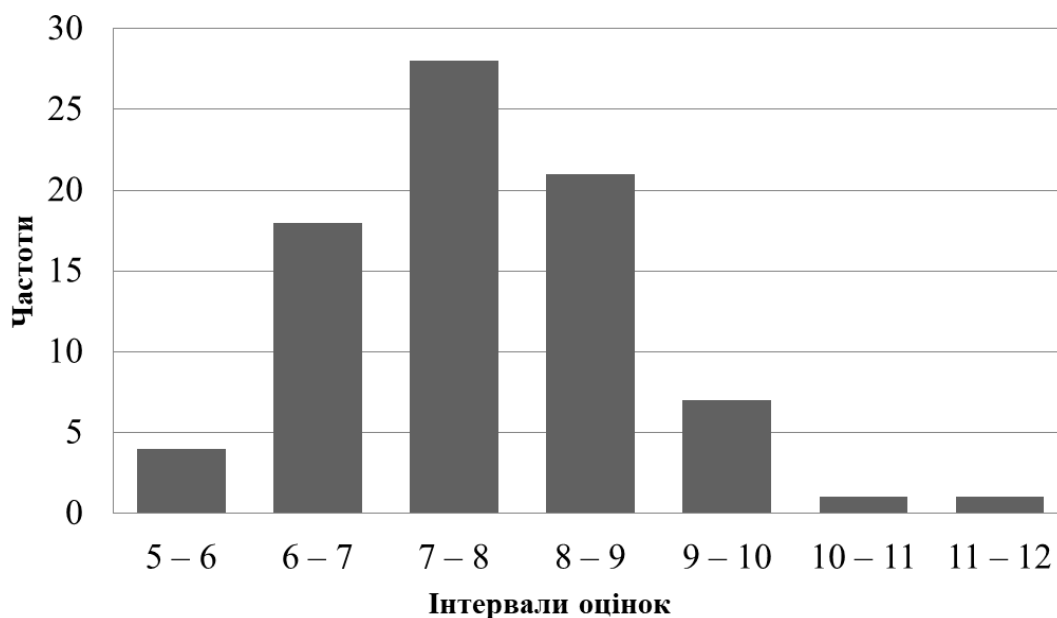


Рисунок 5.1 – Гістограма частот результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із застосуванням ігрових форм навчання

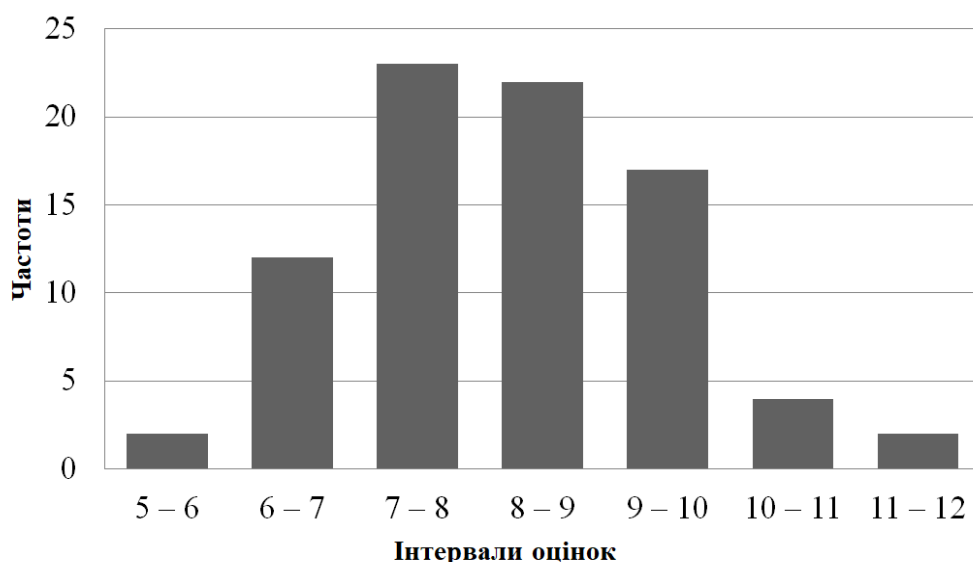


Рисунок 5.2 – Гістограма частот результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із застосуванням ігрових форм навчання

Зовнішній вигляд отриманих гістограм частот дає підстави припустити, що ми спостерігаємо нормальний закон розподілу ймовірностей. Оскільки це лише гіпотеза, то її правильність потрібно перевірити. Інструментом математичної статистики, який дає змогу виконати таку перевірку є критерій узгодженості Пірсона [50, 64]. Для обчислення цього критерію було пораховано числові характеристики отриманого інтервального статистичного розподілу: кількість елементів вибірки n , математичне сподівання \bar{x}_B , дисперсію D_B , та середньоквадратичне відхилення σ_B (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4

Числові характеристики інтервальних статистичних розподілів

№ з.п.	Досліджувані групи	$n = \sum_{i=1}^k n_i$	$\bar{x}_B = \frac{\sum x_i^* n_i}{n}$	$D_B = \frac{\sum (x_i^*)^2 n_i}{n} - (\bar{x}_B)^2$	$\sigma_B = \sqrt{D_B}$
1.	Підготовка до початкового етапу евакуації при пожежі	80	7,7000	1,3100	1,1446
2.	Підготовка до початкового етапу евакуації при пожежі із використанням ігрових форм навчання	82	8,2317	1,6353	1,2788

Критерій узгодженості Пірсона характеризується розподілом χ^2 із числом ступенів свободи $k = q - m - 1$ та визначається за залежністю [64]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (5.1)$$

де q – число інтервалів статистичного розподілу вибірки; $m = 2$ – число параметрів, що визначають закон розподілу ймовірностей генеральної сукупності; n_i та np_i – емпіричні і теоретичні частоти вибірки відповідно.

Щоб перевірити достовірність гіпотези про нормальність закону розподілу, необхідно розразувати теоретичні частоти статистичного розподілу (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5

Теоретичні частоти статистичного розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі

x_i	x_{i+1}	n_i	$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_B}{\sigma_B}$	$z_{i+1} = \frac{x_{i+1} - \bar{x}_B}{\sigma_B}$	$\Phi(z_i)$	$\Phi(z_{i+1})$	$np_i = n(\Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i))$	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
5	6	4	-2,36	-1,49	-0,4909	-0,4319	4,72	0,10983
6	7	18	-1,49	-0,61	-0,4319	-0,2291	16,224	0,19441
7	8	28	-0,61	0,26	-0,2291	0,1026	26,536	0,08077
8	9	21	0,26	1,14	0,1026	0,3729	21,624	0,018
9	10	7	1,14	2,01	0,3729	0,478	8,408	0,23578
10	11	1	2,01	2,88	0,478	0,498	1,6	0,225
11	12	1	2,88	3,76	0,498	0,4996	0,128	5,9405

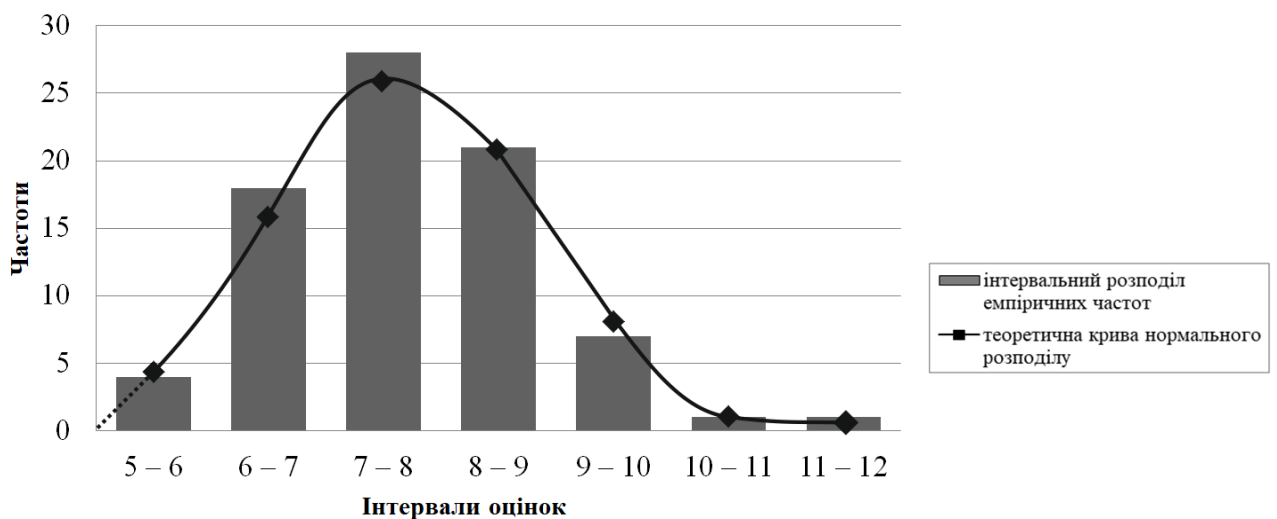


Рисунок 5.3 – Інтервальний розподіл і теоретична крива нормального розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі

Так як відхилення емпіричних та теоретичних частот є незначним, припускаємо, що ознака генеральної сукупності узгоджується з нормальним законом розподілу. Це припущення перевіримо, використавши критерій χ_1^2 :

$$\chi_1^2 = \sum_{i=1}^7 \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 6,8.$$

Підставивши рівень значущості $\alpha = 0,05$ і число ступенів свободи $k = 4$, визначимо критичну точку $\chi_{кр}^2$:

$$\chi_{кр}^2(\alpha = 0,05; k = 7 - 2 - 1) = 9,5.$$

Оскільки $\chi_{сп}^2 \in [0; 9,5]$, гіпотеза про нормальний закон розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі підтверджується.

Аналогічним чином визначено теоретичні частоти статистичного розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із використанням ігрових методів навчання (таблиця 5.6, рисунок 5.4).

Таблиця 5.6

Теоретичні частоти статистичного розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із використанням ігрових методів навчання

x_i	x_{i+1}	n_i	$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_B}{\sigma_B}$	$z_{i+1} = \frac{x_{i+1} - \bar{x}_B}{\sigma_B}$	$\Phi(z_i)$	$\Phi(z_{i+1})$	$np_i = n(\Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i))$	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
5	6	2	-2,53	-1,75	-0,4947	-0,4599	2,8536	0,35043
6	7	12	-1,75	-0,96	-0,4599	-0,3315	10,5288	0,20557
7	8	23	-0,96	-0,18	-0,3315	-0,0714	21,3282	0,13104
8	9	22	-0,18	0,60	-0,0714	0,2257	24,3622	0,2290
9	10	17	0,60	1,38	0,2257	0,4162	15,621	0,1217
10	11	4	1,38	2,16	0,4162	0,4846	5,6088	0,4615
11	12	2	2,16	2,95	0,4846	0,4985	1,1398	0,6492

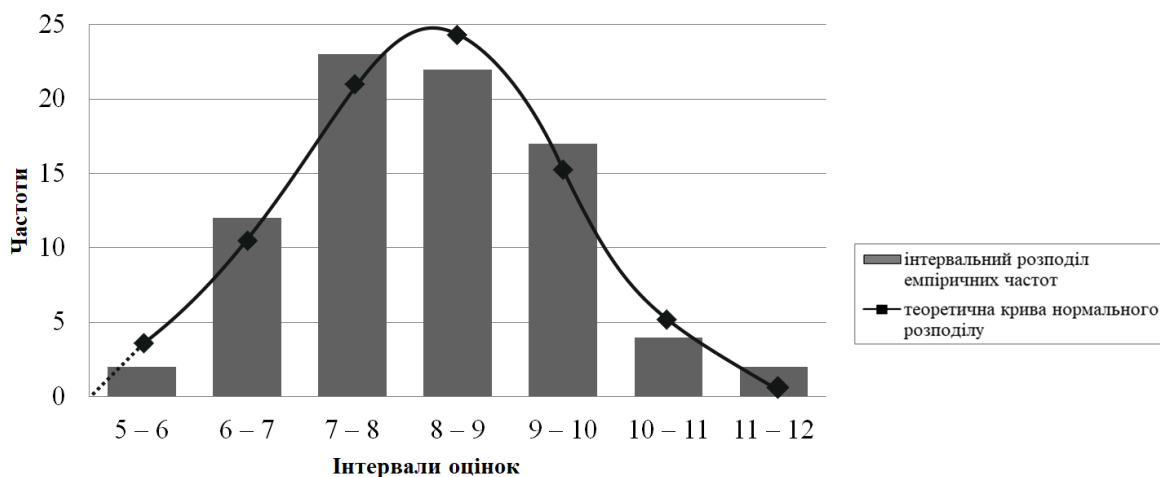


Рисунок 5.4 – Інтервальний розподіл і теоретична крива нормального розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із використанням ігрових методів навчання

Значення критерію Пірсона:

$$\chi_2^2 = \sum_{i=1}^7 \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 2,15.$$

Оскільки $\chi_{\text{сн}}^2 \in [0; 9,5]$, гіпотеза про нормальний закон розподілу результатів оцінювання відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі із застосуванням ігрових форм навчання підтверджується.

Після підтвердження гіпотез про нормальність розподілу результатів оцінювання вправ необхідно спрогнозувати ймовірність забезпечення відповідної якості формування готовності до початкового етапу евакуації з будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням. В цьому випадку своєрідною кількісною оцінкою ймовірності отримання відповідної якості буде густина розподілу відносних частот випадкової величини, яку визначимо за формулою:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.2)$$

де x – очікуваний показник якості; μ – математичне сподівання; σ – середньоквадратичне відхилення.

Густина розподілу відносних частот представлена на рисунку 5.5.

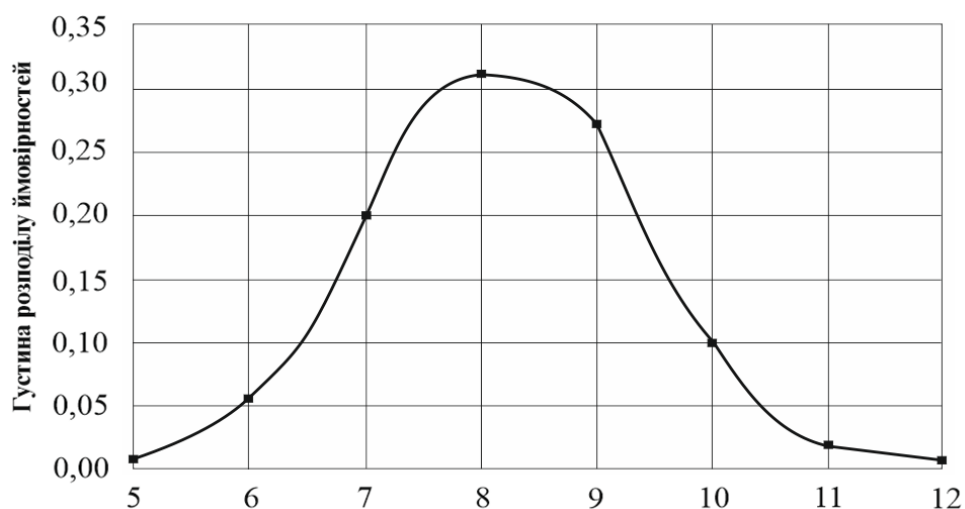


Рисунок 5.5 – Густина розподілу показника якості підготовки до початкового етапу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням із застосуванням класичних методів навчання

Густину відносних частот, що відображає ймовірність отримання відповідної якості підготовки до початкового етапу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням із застосуванням ігрових методів навчання представлено графіку (рис 5.6).

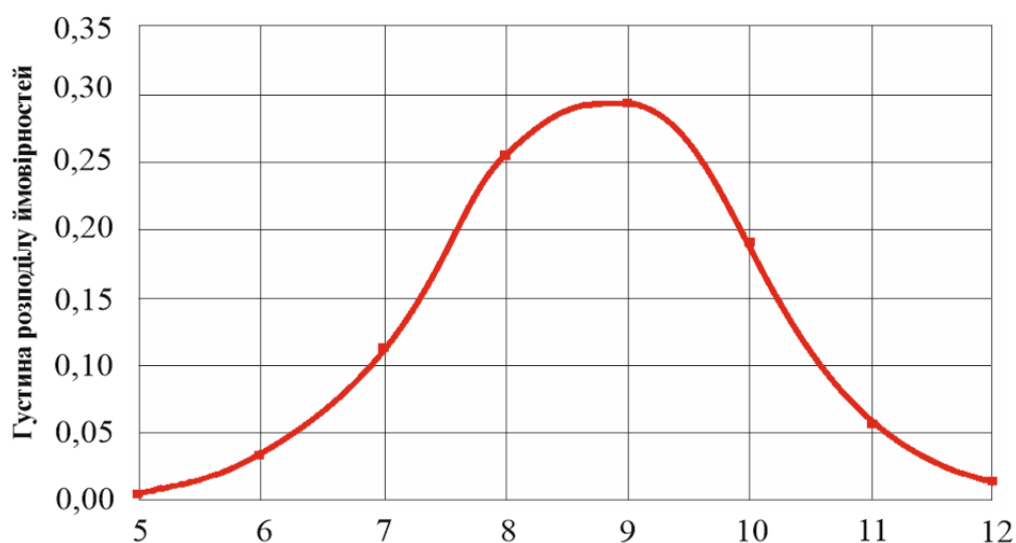


Рисунок 5.6 – Густина розподілу відповідної якості підготовки до початкового етапу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням із застосуванням ігрових методів навчання

Задля кращої начності густини відносних частот доцільно нанести на спільний графік (рис. 5.7).

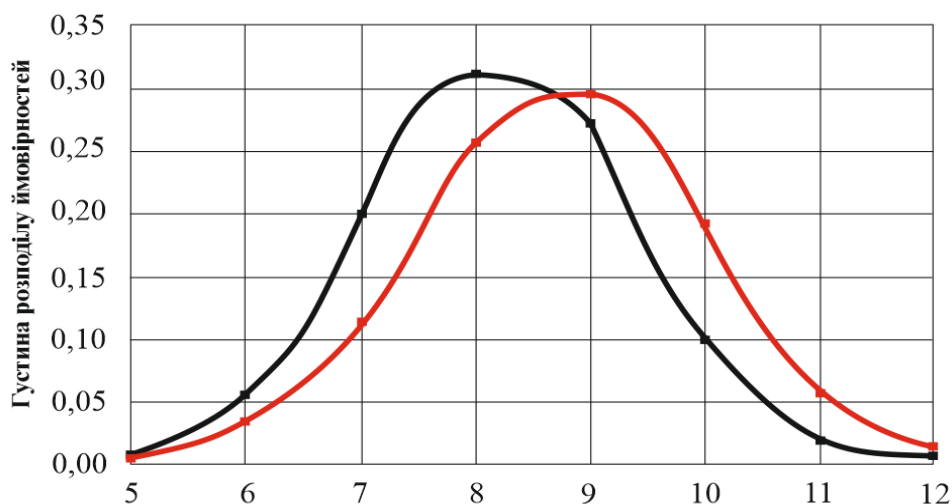


Рисунок 5.7 – Порівняння густин розподілу відповідної якості підготовки до початкового етапу евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням із застосуванням класичних та ігрових методів навчання

Отримані графіки слугують підтвердженням, що застосування ігрових форм навчання під час занять із учнями молодших класів закладів освіти (в тому числі і з інклюзивним навчанням) дає можливість забезпечити кращу готовність до евакуації з будівлі під час пожежі, зокрема, мінімізувати тривалість початкового етапу евакуації.

Також необхідно перевірити гіпотезу про рівність дисперсій розподілів, а, відтак, і підтвердити ефективність застосування ігрових форм навчання при визначеному рівні значущості.

Оскільки якість підготовки до евакуації залежить від дисперсій досліджуваних результатів, необхідно здійснити порівняння двох дисперсій результатів класичного відпрацювання підготовки до початкового етапу евакуації при пожежі та аналогічної підготовки із застосуванням ігрових форм навчання.

Результати зведено до таблиці 5.7.

Результати оцінювання та їх числові характеристики

Класичний метод підготовки							Застосування ігрових форм навчання						
5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
4	18	28	21	7	1	1	2	12	23	22	17	4	2
$\bar{x}_B = 7,7, D_x = 1,31, n' = 7$							$\bar{y}_B = 8,23, D_y = 1,63, n'' = 7$						

Порівняємо дисперсії D_x та D_y , зіставивши виправлені дисперсії S_x^2, S_y^2 , які мають закон розподілу χ^2 із $k_1 = n' - 1$, $k_2 = n'' - 1$ ступенями вільності та визначаються за залежністю:

$$S_x^2 = \frac{n'}{n' - 1} D_x = 1,53, \quad (5.3)$$

$$S_y^2 = \frac{n''}{n'' - 1} D_y = 2,2.$$

Визначимо значення критерію Фішера-Снедекора із ступенями вільності k_1 та k_2 :

$$F^* = \frac{S_\delta^2}{S_m^2} = 1,44, \quad (5.4)$$

де S_δ^2 – виправлена дисперсія із більшим значенням; S_m^2 – виправлена дисперсія із меншим значенням.

Число ступенів вільності виправленої дисперсії з більшим значенням $S_\delta^2 = S_y^2$, $k_1 = n'' - 1 = 6$, виправленої дисперсії з меншим значенням – $S_m^2 = S_x^2$, $k_2 = n' - 1 = 6$.

Знайдемо критичну точку розподілу Фішера-Снедекора із заданим рівнем значущості та числом ступенів свободи $k_1 = 6$ та $k_2 = 6$ [50]:

$$F_{кр}(\alpha = 0,05; k_1 = 6; k_2 = 6) = 4,3.$$

Отримуємо, що $F^* = 1,44 \in [0; 4,3]$, а отже, нульову гіпотезу підтверджено, а ефективність використання ігрових форм навчання – доведено.

5.3. Концепція тематичної квест-кімнати для формування готовності дітей до дій під час пожежі

Квест-кімната – спеціальне приміщення (або система приміщень), обладнане декораціями та електронними пристроями для повного занурення в атмосферу гри (квесту). Сьогодні подібний тип інтелектуальних ігор перебуває на етапі стрімкого розвитку. В Україні перший заклад такого типу було відкрито у травні 2014 року, а станом на 2020 рік на території нашої держави налічується понад 600 квест-кімнат.

Основними характеристиками квест-кімнати є сеттінг та механіка, які узагальнено відображають жанр гри та її правила відповідно. Сеттінг є умовним місцем, де за сюжетом відбуваються ігрові події, та визначає декорації і технічне обладнання квест-кімнати на стадії розробки. Механіка, в свою чергу, включає такі показники, як кількість учасників, час, відведений на проходження, умови пересування гравців приміщенням (у більшості випадків пересування вільне, хоча, залежно від сюжету, може бути частково або повністю обмежене для декого, або для всіх учасників), обстановка у приміщенні (освітлення, температурний та звуковий фон), кількість та співвідношення завдань (в традиційних квестах передбачено 2 ключових види завдань: фізичні (пошук підказок, виконання різноманітних дій) та інтелектуальні (розв'язування різноманітних задач).

Квест, ігровим завданням якого є порятунок з будівлі, в якій виникла пожежа, дає змогу створити умови, наближені до реальних. Для науковців це може стати чудовим джерелом експериментальних даних, які досить важко отримати за результатами традиційних експериментів.

При проектуванні тематичної навчальної квест-кімнати ключовими завданнями є забезпечення варіативності ігрових сценаріїв і компактності.

Особливо важливим є перше завдання, оскільки суттєвим недоліком більшості розважальних квест-кімнат є неможливість зміни ігрових цілей та умов, що робить повторне проходження однієї гри нецікавим і, відтак, недоцільним. При цьому ефективність навчання передбачає необхідність неодноразового відпрацювання тих чи інших вправ. Тому при розробці квест-кімнати важливо передбачити можливість повторного виконання ігрових завдань учасниками із збереженням інтересу до гри. Компактність передбачає максимально ефективне використання передбаченої площі. Це полегшує пошук потрібного приміщення та зменшує вартість будівельних та інженерних робіт.

Забезпечити варіативність маршрутів можливо, побудувавши квест-кімнату за принципом лабіринту, тобто розділивши її на певну кількість «комірок» – приміщень, сполучених між собою. Це дозволить передбачити різні маршрути просування учасників та дозволить урізноманітнити ігрові завдання. Дуже важливо визначити мінімально допустимі розміри «комірки», які б давали змогу її ефективнішого використання.

Для обґрунтування об'ємно планувальних рішень було виконано низку спроб відтворити в межах шкільних класів аналоги первинних комірок квест-кімнати з метою перевірки можливості виконання завдань квестів в залежності від геометричних розмірів комірки. В якості огорожуючої конструкції було використано меблі.

За результатами спостережень, описаних вище, можна зробити висновок, що допустимі розміри приміщення за умови участі у квесті команди з 3 учасників – 2,5х2,5 м, команди з 4 учасників – 3х3м. Менша площа приміщень ускладнює взаємодію між гравцями та не дає можливості ефективно розподілити ігрові завдання (рисунок 5.8).

Для відтворення обстановки навчального класу необхідно використати спарену комірку. Також слід відзначити, що для забезпечення дослідження процесів евакуації із будівель закладів середньої освіти з інклюзивним навчанням розмір одиничної комірки повинен становити не менше 3х3 м, а ширина дверей – не менше 1 м.

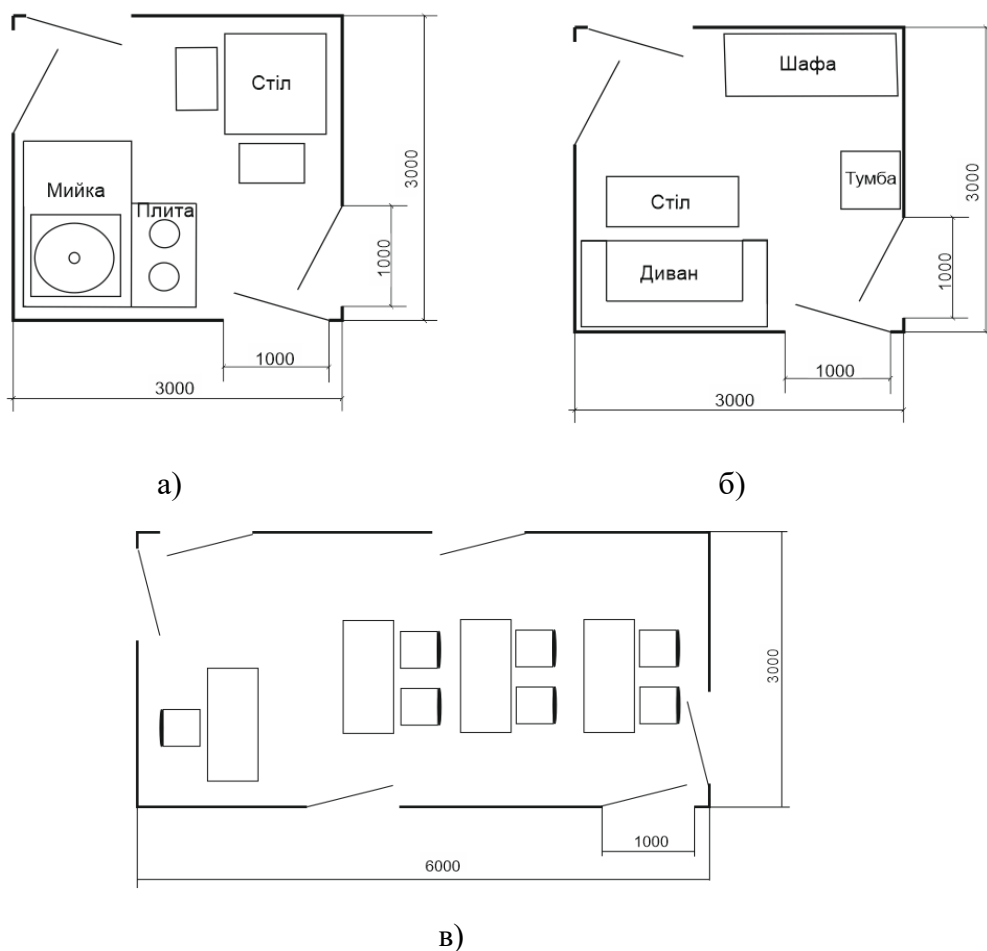


Рисунок 5.8 – Зразки типових фрагментів тематичної квест-кімнати:
 а) квест-комірка «Кухня», б) квест-комірка «Житлова кімната»,
 в) квест-комірка «Навчальний клас»

Усі учні, що брали участь у відтворенні умов квест-кімнати, пройшли анкетування, в результаті чого було встановлено [71]:

– зменшення кількості учасників гри сприяє кращому засвоєнню матеріалу, проте зменшує зацікавленість учасників у процесі (найбільший відсоток правильних відповідей на запитання давали учні після проходження фрагменту квесту у складі групи із 2 учасників, найменший – після проходження у складі команди з 4 осіб, однак більшість дітей, що проходили квест-фрагмент кілька разів у складі команд із різною чисельністю зазначили, що вчотирьох виконувати завдання цікавіше, ніж удвох чи втрьох);

– за результатами анонімного опитування 100% відсотків учасників після першого виконання завдань висловили бажання зробити це ще раз;

– присутність змагальної складової (на кращий час виконання завдань) значно підвищує зацікавленість учасників, проте знижує ефективність засвоєння правил пожежної безпеки і призводить до зайвої метушні. Загалом ефективність такого методу гейміфікація обґрунтована у цьому розділі вище.

За результатами досліджень було проаналізовано такі варіанти об'ємно-планувальних рішень тематичної квест-кімнати (рис. 5.9): 2x2; 3x2; 3x3.

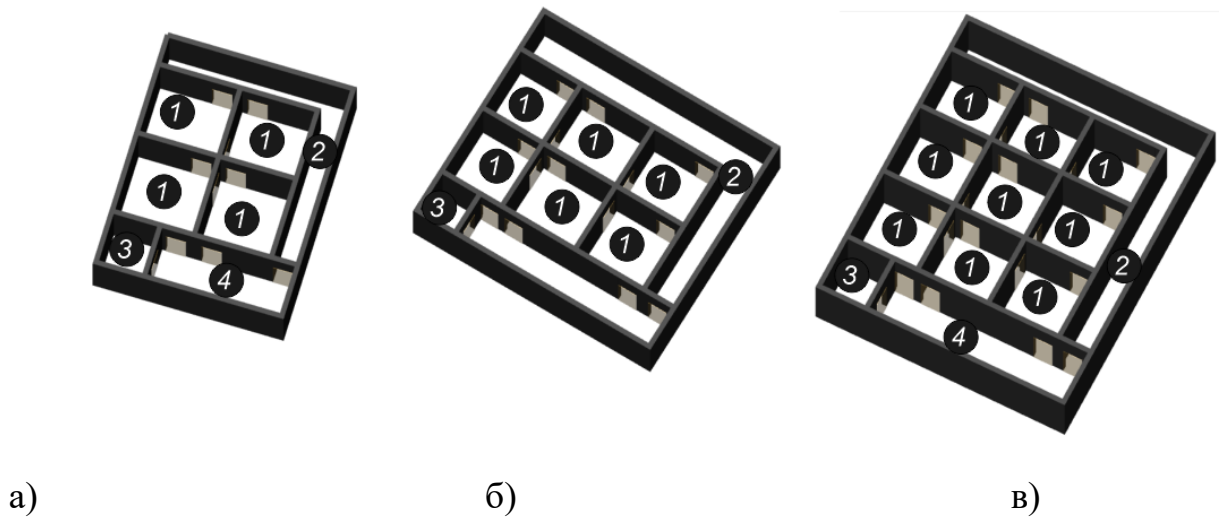


Рисунок 5.9 – Варіанти об'ємно-планувальних рішень

а) 2x2; б) 3x2; в) 3x3:

1 – ігрові комірки, 2 – коридор (смуга перешкод), 3 – пункт управління;

4 – підготовча зона

Ігрові сценарії в кожній комірці полягають у пошуку різноманітних завдань, правильне і своєчасне вирішення яких дасть змогу отримати код до кодового замка, який відкриває лише одні з дверей і дозволяє потрапити в наступне приміщення. Кількість, послідовність та характер завдань у кожній комірці можуть змінюватися організаторами залежно від цільового призначення гри, віку учасників та інших факторів. Таким чином, маршрути проходження гри, за бажанням організаторів, можуть мати різну довжину, а відтак, і складність. Результати розрахунку маршрутів ігрових квест-кімнат наведені у таблиці 5.8.

Характеристики квест-кімнат

Вид квест-кімнати	Кількість можливих унікальних маршрутів та їх довжина (к-сть комірок, яку необхідно подолати до завершення)									Оптимальні розміри, м
	2	3	4	5	6	7	8	9	Всього	
2x2	2	4	2	-	-	-	-	-	8	9,2x7,2
3x2	3	8	8	4	4	-	-	-	27	10,2x9,2
3x3	-	3	12	24	18	18	8	6	89	10,2x12,2

Як бачимо, найкращу варіативність маршрутів та максимальну складність ігрових завдань можна забезпечити у навчальній квест-кімнаті виду 3x3. Для такої комірки можна розробити 89 можливих комбінацій маршрутів довжиною від 3 (найменша складність і тривалість гри) до 9 (найбільша складність і тривалість) комірок. Довжина смуги перешкод у такому приміщенні становитиме 18 м. Для цього необхідно використати приміщення площею 124 м². З економічних міркувань для занять з учнями шкіл доцільно облаштовувати менші кімнати, зокрема, виду 3x2, для яких достатньо площі 90 м². Таке планування дає змогу забезпечити 27 можливих маршрутів з довжиною від 2 до 6 комірок у маршруті. Довжина смуги перешкод (її можна використовувати як коридор для дослідження параметрів евакуаційних потоків) – 15 м.

Технічне забезпечення та централізована система управління. Для глибшого занурення гравців в умови пожежі квест-кімнати доцільно обладнати генератором театрального диму (такий дим є повністю безпечним), світлодіодним освітленням (із можливістю регулювання яскравості) та передбачити смугу перешкод. Мінімальна ширина смуги повинна становити не менше 1,2 м, що відповідає вимогам нормативних документів до шляхів евакуації [56]. Для подолання смуги учасників необхідно забезпечити засобами захисту від механічних та інших пошкоджень (саморятівники, шоломи тощо).

При цьому пошук необхідних засобів має бути одним із ігрових завдань під час проходження «квест-комірок».

Проходження ігрових завдань необхідно здійснювати під належним контролем. Основними завданнями організаторів є: проведення інструктажів, профілактичних та навчальних бесід перед грою; контроль за проходженням ігрових завдань учасниками: надання підказок; супровід учасників молодшого шкільного віку; зупинка гри в разі потреби. З міркувань безпеки двері доцільно обладнати електромагнітними кодовими замками. Це дасть можливість у разі потреби миттєво відкрити усі двері із пункту управління. Для забезпечення якісного спостереження у комірках необхідно встановити відеокамери, підключити аудіосистему для забезпечення звукового супроводу та голосового керування через мікрофон.

Для якісного керування ігровим процесом необхідно створити пункт управління, із якого можна забезпечити керування усіма ігровими процесами, відкриванням дверей та технічними пристроями (генератор диму, аудіосистема, система відеоспостереження, освітлення, та ін.) від центрального комп'ютера (рис. 5.10) [62].

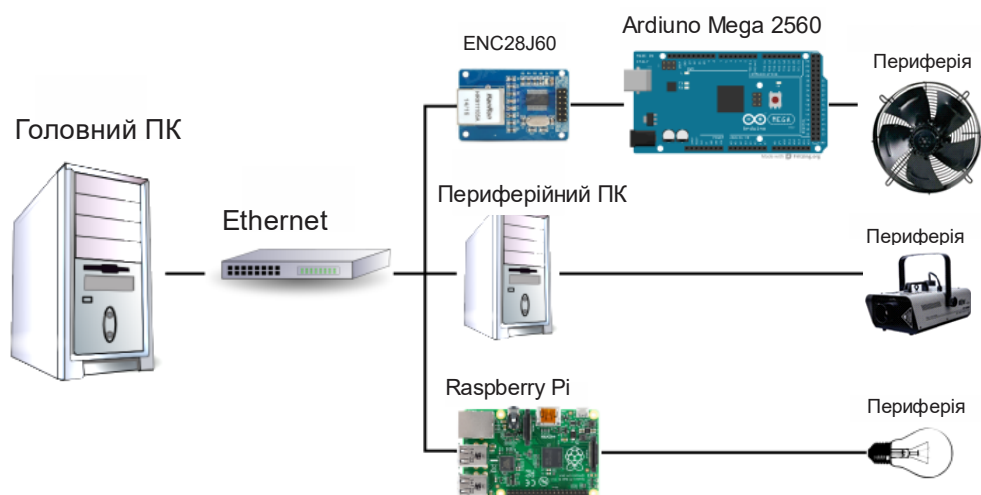


Рисунок 5.10 – Принципова схема системи керування квест-кімнатою

Приклад завдання для навчальної квест-кімнати. Команда перебуває у одній із «квест-комірок». Щоб перейти до наступного етапу гри, тобто потрапити у наступне приміщення, необхідно підібрати код до кодового замка.

Для визначення елементів коду у кімнаті необхідно розшукати: потерпілого (ляльку, заховану у шафі, під ліжком або в іншому місці, залежно від обстановки в кімнаті), важливі документи або матеріальні цінності (паспорти, гроші, тощо), правильно відповісти на запропоноване тестове завдання тощо. Успішно впоравшись, гравці знайдуть фрагменти коду і відкриють одні з дверей. В наступному приміщенні необхідно шукати аналогічний код, вирішуючи вже інші завдання.

При цьому можна забезпечити наступні види сценаріїв:

1. Аркадний квест – послідовне проходження приміщень, характерне для класичних квест-кімнат.

2. Квест-змагання – дві команди паралельно проходять комірки із однотипними завданнями. Перемагає команда, яка впорається першою.

3. Рольовий квест – частина команди виконує роль рятувальників, частина – роль потерпілих. Кожен з учасників виконує персональні завдання, без яких неможливий підсумковий успішний результат команди. Цей сценарій може становити особливу практичну цінність для дослідження процесів евакуації дітей із особливими потребами, оскільки це питання є надзвичайно актуальним і потребує великої кількості досліджень.

5.4. Висновки до розділу

Шляхом використання статистичних методів прогнозування, доведено ефективність використання ігрових методів підготовки до евакуації із будівель закладів середньої освіти.

Обґрунтовано концепцію тематичної квест-кімнати, яка дає широкий діапазон можливостей для учнів закладів освіти (в тому числі з інклюзивним навчанням) та науковців.

Виконання ігрових завдань сприяє формуванню психологічної готовності учасників до дій в умовах пожежі, а також дає змогу закріпити теоретичні знання правил пожежної безпеки та відпрацювати такі практичні навички:

- 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 ігрового або навчального процесу відкриває перспективи отримання експериментальних даних для широкого спектра наукових досліджень (особливо стосовно поведінки дітей різного віку та груп мобільності):

- вплив освітлення на швидкість евакуації при пожежі;

- вплив зміни видимості на швидкість евакуації при пожежі;

- вплив температури на швидкість руху евакуаційних потоків;

- вплив шумових ефектів на швидкість евакуації при пожежі та багато інших.

Окрім того, залежно від можливих сценаріїв, використання подібної квест-кімнати дає змогу досліджувати таке актуальне питання як параметри евакуації із закладів освіти з інклюзивним навчанням.

Результати досліджень опубліковано в [51], [53], [62], [71], [99].

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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 4 роки впровадження інклюзії: понад 12 тис школярів та майже 2,2 тис. дошкільнят з особливими освітніми потребами навчаються разом з однолітками. *Міністерство освіти і науки України*: Веб-сайт. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news> (дата звернення 18.11.2020).
2. Bouwbesluit (Draft Building Decree). *Staatsblad*. Kopenhagen, 2002. 518 p.
3. Breakout Edu: Escape From the Traditional Classroom. *Education Week*: Веб-сайт. URL: http://blogs.edweek.org/teachers/teaching_toward_tomorrow/2015/07/breakoutedu_escape.html (дата звернення 18.07.2015).
4. British Standards Institution, BS 7974- 6:2004, The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition. *BSI*. London, 2004. 132 p.
5. Bruno L, Tosin A., Tricerri P., Venuti F. Non-local first-order modelling of crowd dynamics: A multidimensional framework with applications. *Applied Mathematical Modelling*. 2011. Vol. 35, №1. P. 426-445.
6. Campanella M.C., Larusdottir A.R., Daamen W., Dederichs A.S. Empirical data analysis and modelling of the evacuation of children from three multi-storey day-care centres. *Proceedings of Evacuation and Human Behavior in Emergency Situations*. Santander, 2011. P. 223-226.
7. Campbell R. Structure Fires in Schools. *National Fire Protection Association*: Веб-сайт. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/osSchools.pdf> (дата звернення 14.12.2020).
8. Colombo, R.M., Goatin P., Rosini M.D. A macroscopic model for pedestrian flows in panic situations. *International Series Mathematical Sciences and Applications*. 2010. Vol. 32. P. 255-272.

9. Daamen W., Hoogendoorn S.P., Bovy P.H. First-order pedestrian traffic flow theory. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2005. Vol. 1934, №1. P. 43-52.
10. Fenix+. *MST*: Веб-сайт. URL: <https://mst.su/fenix/> (дата звернення 12.03.2020).
11. Fruin J. J. Pedestrian planning and design. *Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental planners*. New York, 1971. 206 p.
12. Gamache D., Porth S. The development of an education program effective in reducing the fire deaths of preschool children. *Proceedings of Human Behaviour in Fire Symposium*. London, 2001. P. 309–320.
13. Grandison A.J., Galea E.R., Patel K. Fire modelling standards/benchmark Report on Phase 1 Simulations. *Fire Safety Engineering Group. University of Greenwich London SE10 9LS*. London, 2001. 28 p.
14. Gwynne S., Galea R., Owen M., Lawrence P. J., Filippidis L. A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and Environment*. 1999. Vol. 34. P. 741-749.
15. Hassanain M.A.. Towards the design and operation of fire safe school facilities. *Disaster and prevention management*. 2006. Vol. 15(5). P. 838–846.
16. Helbing D. Johansson A., Al-Abideen H. Z. Dynamics of crowd disasters: An empirical study. *Physical Review E*. 2007. Vol. 75. P. 46-109.
17. Horasan M., Bruck D. Investigation of a behavioural response model for fire emergency situations in secondary schools. *Fire Safety Science*. 1994. Vol. 4. P. 715–726.
18. International Fire Code 2015. Chapter 4. Emergency planning and preparedness. *ICC Safety Code*. URL: <https://codes.iccsafe.org/content/IFC2015/chapter-4-emergency-planning-and-preparedness>.
19. ISO/TR 25743:2010 Lifts (elevators). Study of the use of lifts for evacuation during an emergency. Geneva, Switzerland: ISO, 2010. 30 p.
20. Johnson B. Evacuation Techniques for Disabled Persons. *National Research Council of Canada*. Ottawa, 1983. 35 p.

21. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of Children Evacuation from Pre-school Education Institutions. *Fire and Materials*. 2012. Vol. 36. P. 349–366.
22. Klüpfel H., Meyer-König T., Schrecjensberg M. Comparison of an evacuation exercise in a primary school to simulation results. *Traffic and Granular Flow*. 2003. Vol. 1. P. 549–554.
23. 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.
24. Kravontka S. J. A fire signal system for deaf school children. *Fire Technology*. 1975. Vol. 11(1). P. 23–28.
25. Kuligowsky E. D., Peacock R. D. A review of building evacuation models. *National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Technical note 1471*. 2005. 156 p.
26. Larusdottir A. R., Dederichs A.S. Evacuation dynamics of children – walking speeds, flow through doors in daycare centers. *Proceedings of Pedestrian and Evacuation Dynamics Symposium*. 2010. P. 139–147.
27. Larusdottir A. R., Dederichs A., Nilsson D. Evacuation of Children: Focusing on daycare centers and elementary schools. *Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering*. 2014. 158 p.
28. Lu C. The evacuate training problems of earthquake in China. *Proceedings of Pedestrian and Evacuation Dynamics Symposium*. 2010. P. 121–127.
29. Miyazaka K., Matsukura H., Katuhara M. Behaviour of pedestrian group overtaking wheelchair user. *Pedestrian and evacuation dynamics: Proceedings of the 2nd International conference*. Greenwich, UK, 20–22 August 2003. P. 267–278.
30. Murozaki Y., Ohnishi K. A study of fire safety and evacuation planning for preschools and daycare centers. *Memoirs of the Faculty of Engineering Kobe University*. 1985. Vol. 32. P. 99–109.
31. Nelson N. E., McLennan H. A. Emergency Movement. The SFPE: Handbook of Fire Protection Engineering. *Quincy, MA, NFPA* . 2nd ed. P. 286–295.

32. Ono R. and Tatebe K. A study on school children's attitude towards firesafety and evacuation behaviour in Brazil and the comparison with data from Japanese children. *Human Behaviour in Fire: Proceedings of the 3rd International Symposium*. 1-3 September 2004, Belfast, UK. 2004. P. 327-338.
33. Ono R., Valentin M. V. A study on evacuation of school buildings for elementary education. *Human Behaviour in Fire: Proceedings of the 8th International Symposium*. 2009. P. 231–242.
34. Ono R., Valentin M.V., Vittorino F. Walking speed data of fire drills at an elementary school. *Human Behaviour in Fire: Proceedings of the 11th International Symposium*. 2012. P. 98-108.
35. Pathfinder: Technical reference. *Thunderhead engineering*. 2009. 57 p.
36. Prolux G. Evacuation by elevators – who goes first? *Use for Elevators in Fires and Other Emergencies: Proceedings of the workshop*. 2004. P. 1–13.
37. Prolux G., Heyes E., Hedman G., J. Averill, J. Paules, D. MCColl, and P. Johnson. The use of elevators for egress. *Human Behaviour in Fire: Proceedings of the 8th International Symposium*. 2009. P. 97–110
38. PYROSIM. *FireCat*: Веб-сайт. URL: <https://pyrosim.ru/raschet-vremeni-ehvakuacii-lyudej>
39. Rubadiri L. Evacuation Modeling of Mixed-Ability Populations in Fire Emergencies: Doctoral Thesis, *University of Central Lancashire*, Preston, 1994. 205 p.
40. School Building Fires (2009-2011). TFRS Volume 14, Issue 14/2014, 16 p.
41. Shields T. J. Fire and Disabled People in Building. *Journal of the Royal Society of Health*. 1994. Vol. 114. P.304-308.
42. Shimada T., Naoi H. An experimental study on the evacuation flow of crowd including wheelchair users. *Fire Science and Technology*. 2006. Vol. 25, no. 1. P. 1–14.
43. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*. 2015. P. 251-261.
44. Van Bogaert A.F. Evacuating schools on fire. *Fire Safety Science*. 1986. Vol. 1. P. 551–560.

45. Van Bogaert A.F. Fire safety research and measures in schools in Belgium. *Fire Safety Science*. 1986. Vol. 1. P. 819–828.

46. Андерсон Д., Таннехилл Дж. Вычислительная гидромеханика и теплообмін: учеб. пособ. М.: Мир, 1990. 726 с.

47. Бюджетний кодекс України: Закон України від 08.07.2010 р. №2456-VI. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2010. №50-51. Веб-сайт. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-17> (дата звернення 8.02.2020).

48. Вовк С.Я., Хлевной О.В. Порівняння спрощеної аналітичної та індивідуально-поточної моделей руху людських потоків при розрахунку евакуації із висотних будівель. *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. 38-41.*

49. Гевко І. В. Значення інноваційних технологій при здійсненні інклюзивної освіти. *Педагогічний альманах: збірник Комунального вищого навчального закладу Херсонська академія неперервної освіти Херсонської обласної ради*. 2018. Вип. 37. С. 236–240.

50. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособ. Изд. 9-е. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.

51. 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.

52. 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.*

53. 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.

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

55. 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.

56. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 47 с.

57. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. [Чинний від 2018-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 68 с.

58. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. [Чинний від 2019-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 70 с.

59. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с.

60. Еремченко М. А. Движение людских потоков в школьных зданиях: дис. . канд.техн. наук. М.: МИСИ, 1979. 188 с.

61. 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.

62. Жезло Н. В., Хлевной О.В. Централізований підхід до розробки системи управління тематичною навчальною квест-кімнатою The Hot Test Room. *Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах*: Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції, Львів, 28 лист. 2019 р, Львів, ЛДУ БЖД, 2019. С. 179 – 181.

63. Жінок в Україні на 2,7 млн більше, ніж чоловіків — результати електронного перепису. *Громадське*: Веб-сайт. URL: <https://hromadske.ua/posts/zhinok-v-ukrayini-na-27-mln-bilshe-nizh-cholovikiv-rezultati-elektronnogo-perepisu> (дата звернення 11.12.2019).

64. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І., Савін С. С. Теорія ймовірностей і математична статистика: навч.-мет. пос. Част. II. К.: КНЕУ, 2001. 336 с.

65. Заклади загальної середньої освіти *Міністерство освіти і науки України*: Веб-сайт. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/osv_rik/osv_u/znz_u.html (дата звернення 18.11.2020).

66. Исследование и расчет закономерностей движения потоков школьников. МИСИ им. В.В. Куйбышева, М., 1975.

67. Інвалідність. *Вікіпедія: Вільна Енциклопедія*: Веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Інвалідність>. (дата звернення 12.03.2020).

68. Процес становлення інклюзії та інклюзивного навчання. *Інклюзивне навчання в Україні*: Веб-сайт. URL: <https://sites.google.com/site/inkluzivnenavcannavukraieni/home/1-1-proces-stanovlenna-inkluziie-ta-inkluzivnogo-navcanna> (дата звернення 10.10.2020).

69. Кирик Е. С., Дектерев А. А., Литвинцев К. Ю., Харламов Е. Б., Мальшев А. В., Математическое моделирование эвакуации при пожаре. *Математическое моделирование*. 2014. Том 26, №1. С. 3–16.

70. 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.

71. 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.

72. Колупаєва А.А., Таранченко О.М. Інклюзивна освіта: від основ до практики: монографія. К. : ТОВ «АТОПОЛ», 2016. 152 с.

73. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

74. Ліфт для дітей з інвалідністю в школу. *Форстор*: Веб-сайт. URL: <https://forstor.ua/ua/our-projects/podjomniki-dlya-invalidov/lift-dlya-detej-s-invalidnostyu-v-shkolu-138/> (дата звернення 11.12.2019).

75. 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.

76. Методика та організація наукових досліджень : навч. посіб. Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. 260 с.

77. Милинский А.И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1951. 178 с.

78. 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.

79. Офіційний сайт Міністерства фінансів України. URL: https://www.mof.gov.ua/uk/the-reform-of-education?fbclid=IwAR1GIhjCzybeRJLyO3E_UxrG_1eXbvFuB62BD1FRJuGAoh7AvpfzG7KBgck

80. Парфененко, А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / М., 2012. 153 с.

81. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоиздат, 1984. 154 с.

82. Піроманія. *Вікіпедія: Вільна Енциклопедія*: Веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Піроманія> (дата звернення: 05.12.2016).

83. Показники здоров'я населення та використання ресурсів охорони здоров'я в Україні за 2019 рік. *Центр медичної статистики* : Веб-сайт. URL: <http://medstat.gov.ua/ukr/statdov.html> (Дата звернення: 29.10.2020)

84. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: учебное пособие. М.: Стройиздат, 1979.

85. Про затвердження Порядку організації діяльності інклюзивних груп у закладах дошкільної освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 10 квіт. 2019 року № 530. *Урядовий кур'єр*. 2019. С. 12–15.

86. Про затвердження Порядку організації інклюзивного навчання у загальноосвітніх навчальних закладах : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 серп. 2011 року № 872. *Урядовий кур'єр*. 2011. С. 8–11.

87. Про освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. Веб-сайт. URL:<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>. (Дата звернення: 20.09.2018)

88. Самошин Д. А., Слюсарев С. В. Особенности индивидуального движения людей различной мобильности в общем потоке эвакуируемых из здания при пожаре. *Технологии техносферной безопасности*. 2015. №3(61). С. 121-131.

89. Самошин Д. А., Слюсарев С. В. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием. *Пожаровзрывоопасность*. 2016. Т.25, №4. С. 43-51.

90. Самошин Д.А., Слюсарев С.В. Исследования процесса эвакуации детей с ограниченными возможностями в зданиях стационарных учреждений социального обслуживания. *Проблемы техносферной безопасности*: Матер. 4-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 50-53.

91. Самошин, Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации: монографія. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 210 с.

92. Самошин, Д.А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре : дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / М., 2017. – 357 с.

93. Системи оповіщення та управління евакуацією. *Веллез*: Веб-сайт. URL: <https://www.vellez.ua/uk/souerus.html>

94. Скільки пожеж в Україні сталося на соціально значущих об'єктах за останні 5 років. *Слово і діло*: Веб-сайт. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2020/01/22/infografika/suspilstvo/skilki-pozhezh-ukrayini-stalosya-soczialno-znachushhyx-obyektax-ostanni-5-rokiv> (дата звернення 25.01.2020).

95. Слюсарев С. В. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам для детей с ограниченными возможностями здоровья в зданиях с их массовым пребыванием: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. М., 2017. 189 с.

96. Статистичні дані МОН. *Міністерство освіти і науки України*: Веб-сайт. URL: <https://mon.gov.ua/ua/statistichni-dani> (дата звернення: 10.12.2020).

97. Теорія і практика інклюзивної освіти [навчально-методичний посібник] / Упорядник Бондар К. М. – [2-ге вид., доп.]. – Проект «Підтримка інклюзивної освіти у м. Кривий Ріг», 2019. – 170 с.

98. 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 (7). С. 33-39.

99. Хлевной О. В. Квести в реальності як засіб підготовки майбутніх рятувальників до дій в умовах пожежі / О.В. Хлевной, Н.Є. Бурак // *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах*: Матеріали 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (з міжнародною участю). – Електронне видання комбінованого використання. – Київ: ІДУЦЗ, 2019. – С 286-289.

100. 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.

101. 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.*

102. 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 Регіональної науково-практичної конференції*. Львів, ЛДУ БЖД, 2020. С. 107-111.

103. Холщевников В. В., Парфененко А. П. Эвакуация детей в зданиях учебно-воспитательных учреждений. *Пожарная безопасность в строительстве*. 2011. №4. С. 48–61.

104. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 212 с.

105. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 191 с.

106. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. № 3. С. 48–56

107. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Эвакуация людей с физическими ограничениями. *Технологии техносферной безопасности*. 2012. – № 3 (43). 9 с.

108. Холщевников, В. В., Парфёненко А. П. Об определении времени начала эвакуации детей при пожарах в зданиях дошкольных образовательных учреждений. *Технологии техносферной безопасности*. 2014. Вып. 5. 9 с.

109. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учебное пособие / Холщевников В. В. и др. М.: Академия ГПС МЧС России. 2015. 262 с.

ДОДАТОК А.
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ
ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наукові статті у 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.

Наукові статті в іноземних 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.

Матеріали та тези 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.*

ДОДАТОК Б.

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з навчальної
та методичної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності
полковник служби цивільного захисту

Дмитро ЧАЛИЙ

« 24 » вересня 2020 року

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук зі спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека
Хлевно Олександра Вікторовича

Комісія у складі заступника начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності підполковника служби цивільного захисту Паснака І. В., начальника кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики полковника служби цивільного захисту Башинського О. І. та доцента кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики полковника служби цивільного захисту Вовка С. Я. склала цей акт, яким засвідчує, що результати дисертаційного дослідження Хлевно О. В. «Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням» впроваджено в навчальний процес кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики при викладанні дисципліни «Пожежна профілактика в населених пунктах». В матеріалах лекцій використано теоретичні положення та методичні підходи дисертаційної роботи щодо вимог до влаштування евакуаційних шляхів і виходів в закладах освіти з інклюзивним навчанням та розрахунку тривалості евакуації з будівель закладів освіти з інклюзивним навчанням.

Акт складений для подання до спеціалізованої вченої ради у зв'язку із захистом дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Заступник начальника навчально-наукового інституту
з навчально-наукової роботи
підполковник служби цивільного захисту

Іван ПАСНАК

Начальник кафедри наглядово-профілактичної
діяльності та пожежної автоматики
полковник служби цивільного захисту


Олег БАШИНСЬКИЙ

Доцент кафедри наглядово-профілактичної
діяльності та пожежної автоматики
полковник служби цивільного захисту

Сергій ВОВК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор СЗШ №30 м. Львова



Світлана МИХАЛИНА

« 28 » серпня 2020 року**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека

Хлевного Олександра Вікторовича

Комісія у складі заступника директора з навчально-виховної роботи СЗШ №30 Кічало О. М., заступника директора з виховної роботи СЗШ №30 Струк Р. В., соціального педагога Бартіш Г. Б. цим актом підтверджують, що результати дисертаційного дослідження Хлевного О. В. «Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням» впроваджено при викладанні предмету «Основи здоров'я».

Заступник директора
з навчально-виховної роботи СЗШ №30



Оксана КІЧАЛО

Заступник директора
з виховної роботи СЗШ №30



Руслана СТРУК

Соціальний педагог СЗШ №30



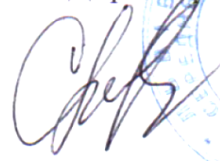
Галина БАРТИШ

ДОДАТОК В.

ПРОТОКОЛИ ВІДЕОРЕЄСТРАЦІЇ РУХУ ЗМІШАНИХ ПОТОКІВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор СЗШ №30 м. Львова



Світлана МИХАЛИНА

« 19 » ЖОВТНЯ 2020 року

ПРОТОКОЛ №1

динамічної відеореєстрації руху людських потоків

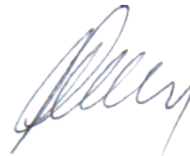
1.	Дата проведення спостережень	Вересень - жовтень 2020 р
2.	Місце проведення спостережень	СЗШ №30 м. Львова
3.	Апаратура	Відеореєстратори Visiocam Z1 FullHD 1080p
4.	Характеристика процесу	Рух змішаного потоку учнів груп мобільності М1+М4
5.	Відповідальний за відеозапис	м-р сл. ц.з. Олександр Хлевной
6.	Відповідальний за обробку відеозапису	м-р сл. ц.з. Олександр Хлевной
7.	Додатки до протоколу	Таблиці – 9; графіки – 9.

Майор служби цивільного захисту



Олександр ХЛЕВНОЙ

Заступник директора СЗШ №30



Руслана СТРУК

Таблиця В.1.1

Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М4 (крісла колісні) під час руху на горизонтальних ділянках (90%М1+10%М4 (6-9 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	42,6	25	3,1	26,2	48	4,4	19,5
2	0,6	45,0	26	3,2	26,8	49	4,4	19,2
3	0,6	49,5	27	3,3	20,0	50	4,5	17,4
4	0,6	58,9	28	3,3	19,2	51	4,5	17,0
5	0,9	48,7	29	3,4	27,6	52	4,6	20,9
6	1,0	42,0	30	3,4	22,2	53	4,6	20,9
7	1,6	34,1	31	3,5	20,2	54	4,7	20,0
8	1,1	38,7	32	3,5	18,2	55	4,8	13,9
9	1,5	37,7	33	3,6	22,0	56	4,8	17,3
10	1,8	35,0	34	3,6	24,9	57	4,9	19,7
11	1,2	44,6	35	3,6	17,8	58	5	15,9
12	2,1	37,0	36	3,7	23,3	59	5	14,2
13	2,2	27,0	37	3,7	25,6	60	5,1	14,3
14	2,2	29,4	38	3,8	22,5	61	5,2	14,2
15	2,3	27,9	39	3,9	16,9	62	5,2	13,9
16	2,3	31,8	40	3,9	19,0	63	5,4	15,6
17	2,4	25,8	41	4	20,9	64	5,5	14,0
18	2,5	30,2	42	4	19,5	65	5,6	15,2
19	2,7	24,7	43	4,1	22,7	66	5,6	12,7
20	2,8	30,0	44	4,1	23,6	67	5,8	11,3
21	2,9	24,9	45	4,2	19,5	68	5,9	15,6
22	3	30,1	46	4,3	18,3	69	6	15,6
23	3	26,1	47	4,3	15,6	70	6,1	13,0
24	3,1	28,3						



Рисунок В.1.1 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М4 (6-9 років)

Таблиця В.1.2.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М4 (крісла колісні) під час руху на горизонтальних ділянках (95%М1+5%М4 (6-9 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	45,0	16	3,7	25,9	31	4,9	21,0
2	0,7	47,3	17	3,6	27,8	32	4,5	24,2
3	0,9	60,1	18	3,2	33,9	33	4,3	22,9
4	1,1	36,2	19	3,9	28,7	34	4,6	21,1
5	1,7	45,6	20	3,3	31,3	35	5,6	16,6
6	1,8	44,1	21	3,7	25,4	36	5,9	17,3
7	1,7	45,6	22	4,0	24,4	37	5,3	17,0
8	2,2	28,8	23	3,8	21,2	38	5,4	20,5
9	2,2	42,4	24	3,4	24,4	39	5,8	19,3
10	2,4	38,3	25	3,3	28,2	40	5,1	20,7
11	2,3	36,4	26	4,7	26,4	41	6,7	18,6
12	2,3	33,0	27	4,8	21,8	42	6,3	21,0
13	2,1	42,1	28	4,4	27,8	43	6,8	18,8
14	2,8	29,6	29	4,2	27,6	44	6,6	20,0
15	2,3	30,0	30	4,4	25,9	45	6,5	14,7

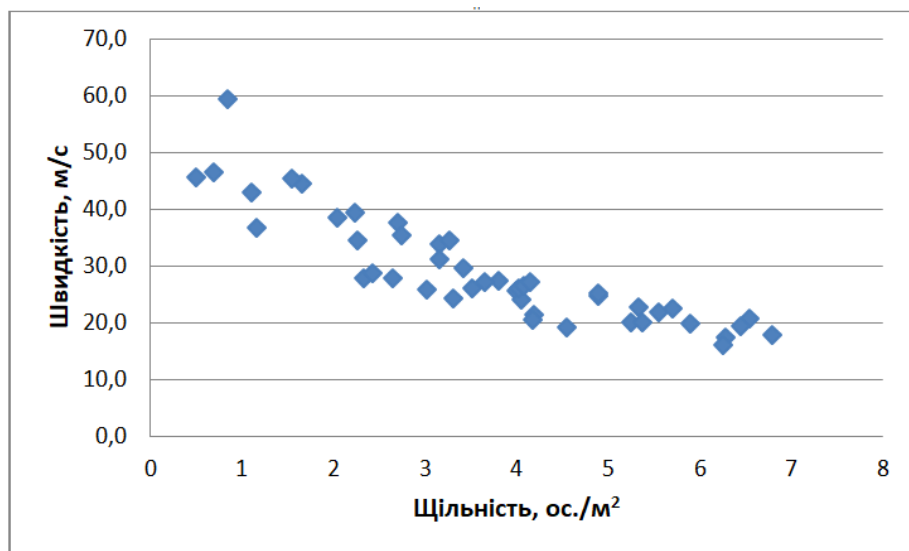


Рисунок В.1.2 – Параметри змішаного потоку 90%М1+5%М4 (6-9 років)

Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М4 (крісла колісні) під час руху на горизонтальних ділянках (90%М1+10%М4 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	47,1	16	2,6	34,0	31	4,7	21,3
2	0,6	46,7	17	2,6	23,7	32	4,1	18,0
3	0,6	49,0	18	3,7	19,2	33	4,1	20,2
4	0,6	55,2	19	3,7	20,9	34	4,4	23,2
5	0,9	49,7	20	3,0	29,2	35	4,0	25,3
6	1,0	40,4	21	3,9	17,8	36	4,1	22,2
7	1,9	41,6	22	3,1	24,4	37	5,5	13,6
8	1,2	44,4	23	4,0	18,1	38	5,6	16,6
9	1,4	49,8	24	3,3	24,2	39	5,2	13,1
10	1,5	36,0	25	3,5	28,6	40	5,5	12,4
11	2,2	37,2	26	3,7	20,5	41	5,9	14,0
12	2,5	30,1	27	3,5	25,1	42	5,8	16,2
13	2,3	35,8	28	3,1	28,2	43	5,4	13,5
14	2,7	28,0	29	3,1	26,8	44	6,1	15,2
15	2,4	28,3	30	4,8	20,0	45	6,0	11,0

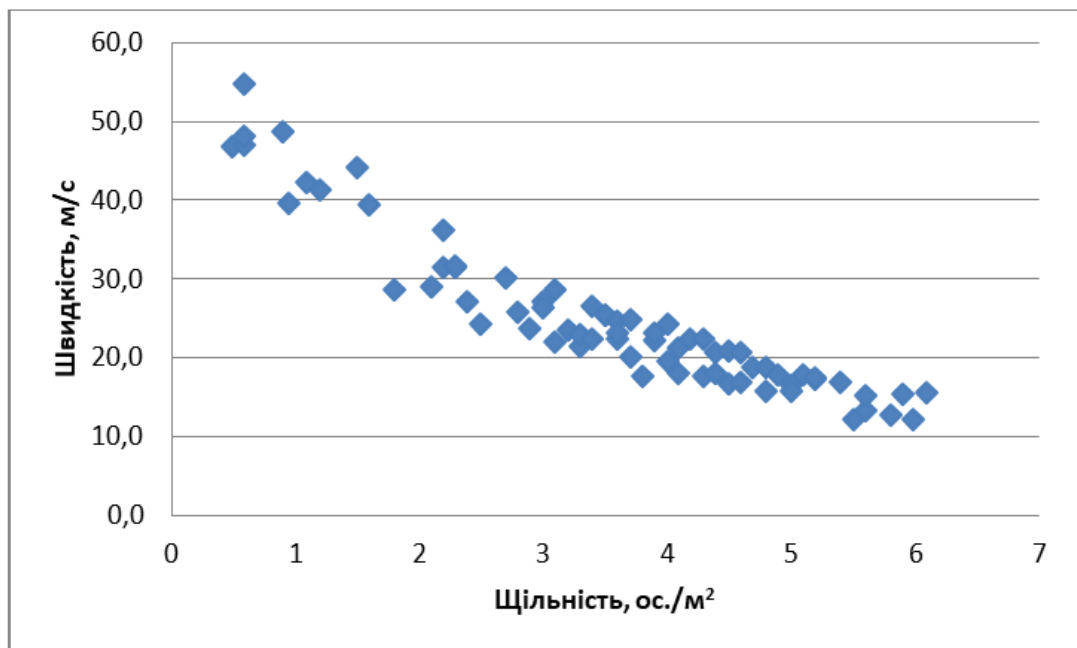


Рисунок В.1.3 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М4 (10-13 років)

Таблиця В.1.4.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М4 (крісла колісні) під час руху на горизонтальних ділянках (95%М1+5%М4 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6	56,2	17	2,9	30,5	33	4,7	26,6
2	0,7	57,7	18	2,2	34,0	34	4,7	26,9
3	0,8	55,0	19	2,5	30,0	35	4,7	21,6
4	0,9	53,7	20	3,9	28,4	36	4,6	22,3
5	1,0	57,2	21	3,6	32,4	37	4,9	26,7
6	1,8	42,9	22	3,5	28,3	38	4,1	21,7
7	1,2	56,1	23	3,6	26,1	39	5,3	23,4
8	1,7	43,9	24	3,4	31,8	40	6,0	15,9
9	1,5	43,4	25	3,8	25,6	41	5,8	19,2
10	2,0	32,5	26	3,7	30,6	42	5,5	20,2
11	1,8	45,3	27	3,4	32,6	43	5,6	19,1
12	2,5	41,0	28	3,8	22,5	44	5,5	19,9
13	2,0	38,8	29	3,6	32,1	45	5,9	19,1
14	2,4	39,9	30	3,2	29,9	46	5,2	22,8
15	2,6	30,0	31	4,0	24,5	47	6,5	15,8
16	2,4	35,9	32	4,2	26,8	48	6,1	17,0

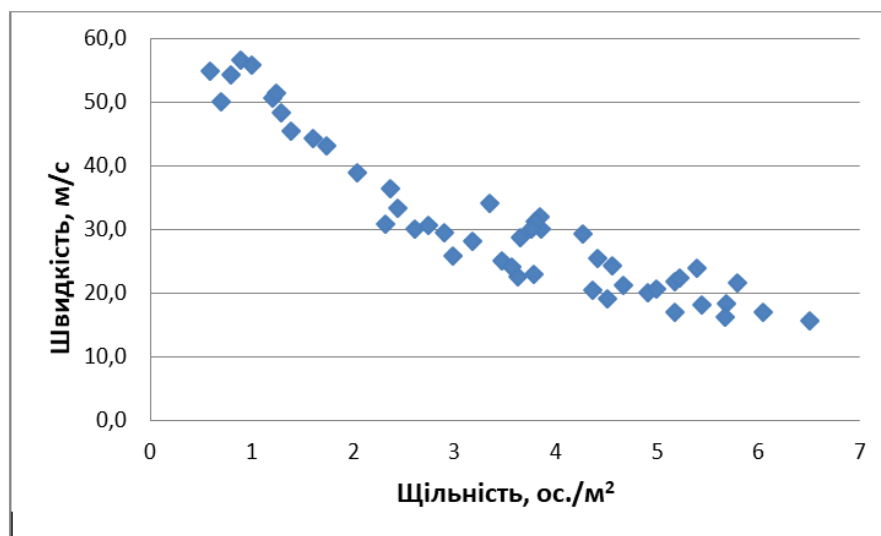


Рисунок В.1.4 – Параметри змішаного потоку 95%М1+5%М4 (10-13 років)

Таблиця В.1.5.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М4 (крісла колісні) під час руху на горизонтальних ділянках (90%М1+10%М4 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6	61,6	17	2,8	37,0	33	3,1	32,2
2	0,7	53,8	18	2,6	31,8	34	4,6	21,5
3	0,8	59,4	19	2,2	35,6	35	5,0	19,2
4	1,0	53,3	20	2,8	32,8	36	4,2	19,8
5	1,8	43,6	21	2,5	31,8	37	4,4	20,5
6	1,1	56,7	22	3,4	23,4	38	4,1	25,8
7	1,6	45,5	23	3,8	28,4	39	4,3	25,6
8	2,0	41,1	24	3,1	34,0	40	4,8	20,6
9	1,5	43,7	25	3,3	30,4	41	5,5	16,9
10	1,4	51,1	26	3,4	28,8	42	5,6	19,2
11	1,1	60,5	27	3,6	28,1	43	5,2	14,9
12	2,2	35,3	28	3,7	27,9	44	5,7	16,8
13	2,5	28,5	29	4,0	19,1	45	5,2	20,6
14	2,7	37,0	30	3,0	28,1	46	5,6	15,8
15	2,4	38,8	31	3,2	32,3	47	5,9	13,0
16	2,8	35,6	32	4,0	19,9			

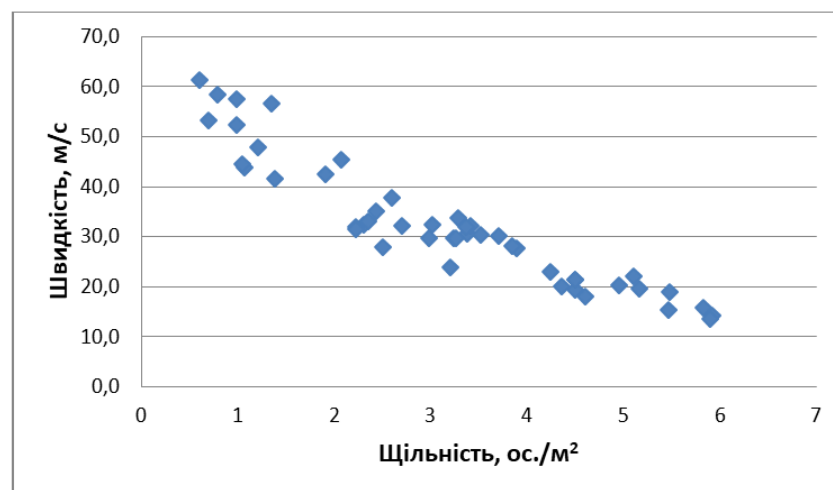


Рисунок В.1.5 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М4 (14-16 років)

Таблиця В.1.6.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М4 (крісла колісні) під час руху на горизонтальних ділянках (95%М1+5%М4 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7	60,0	16	3,2	31,7	31	4,0	29,1
2	0,8	56,7	17	4,0	31,2	32	4,5	29,0
3	0,9	59,0	18	3,1	33,8	33	4,9	22,4
4	1,5	45,7	19	3,3	32,4	34	4,2	25,0
5	1,5	45,2	20	3,8	27,3	35	5,8	20,2
6	1,9	53,0	21	3,4	34,5	36	5,0	23,6
7	1,9	50,1	22	3,6	31,1	37	5,8	23,2
8	2,1	38,9	23	3,2	36,6	38	5,4	18,3
9	2,6	43,4	24	3,0	35,2	39	5,4	22,6
10	2,8	32,5	25	3,9	33,1	40	5,6	25,7
11	2,4	45,3	26	4,7	29,6	41	6,6	19,5
12	2,6	41,0	27	4,4	31,5	42	6,4	22,7
13	2,9	38,8	28	4,7	26,7	43	6,9	18,9
14	2,7	39,9	29	4,5	24,3	44	6,5	19,5
15	3,0	30,0	30	4,2	23,9	45	6,8	19,8

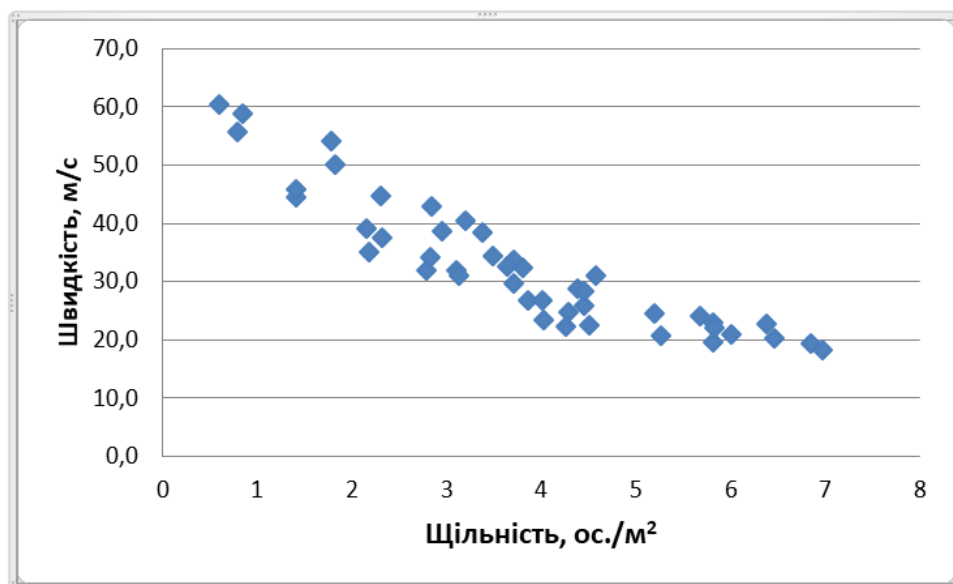


Рисунок В.1.6 – Параметри змішаного потоку 95%М1+5%М4 (14-16 років)

Таблиця В.1.7.

Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М4
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М4 (6-9 років))

№	D	q_D	№	D	q_D	№	D	q_D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	47,2	13	2,0	70,4	25	4,2	84,3
2	0,9	38,4	14	2,1	60,9	26	4,3	86,5
3	1,0	37,9	15	2,9	70,9	27	4,8	99,1
4	1,6	54,6	16	3,6	75,5	28	4,9	88,9
5	1,6	57,3	17	3,8	96,3	29	4,8	86,7
6	1,6	68,8	18	3,6	94,8	30	4,4	96,3
7	1,6	64,1	19	3,5	91,1	31	5,8	73,4
8	1,6	56,1	20	3,3	86,7	32	5,3	75,9
9	2,7	68,1	21	3,9	76,0	33	5,8	84,3
10	2,3	75,9	22	3,9	96,6	34	5,9	72,2
11	2,7	74,2	23	3,2	84,0	35	5,7	86,3
12	2,0	68,7	24	3,8	91,9	36	5,5	74,8

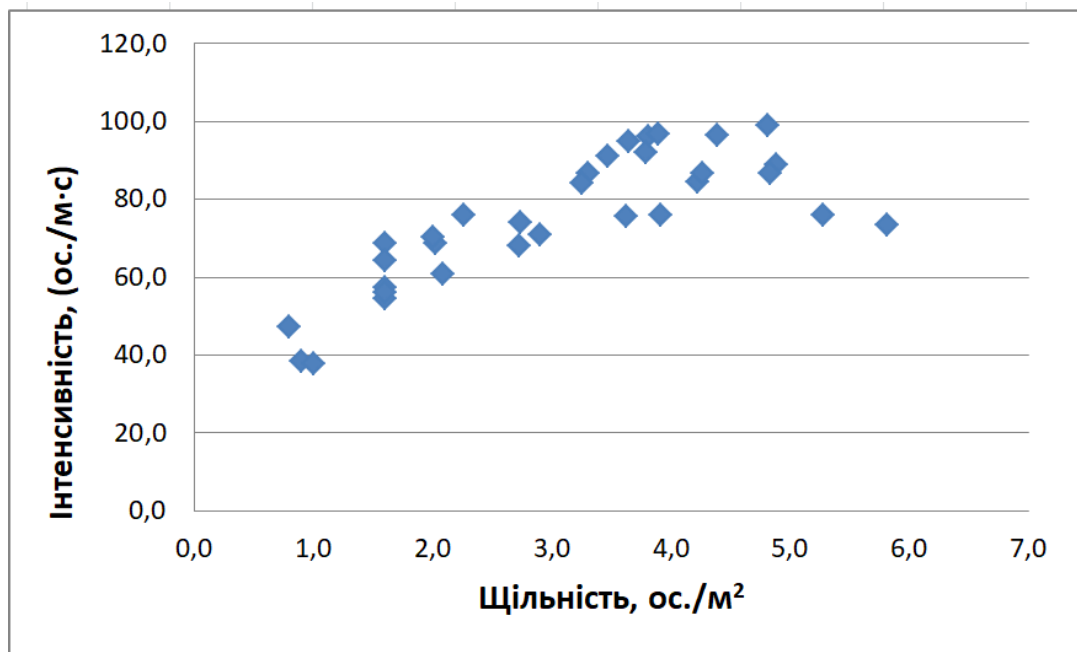


Рисунок В.1.7 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М4 (6-9 років)
під час руху крізь дверний проріз

Таблиця В.1.8.

Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М4
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М4 (10-13 років))

№	D	q_D	№	D	q_D	№	D	q_D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	40,0	12	2,5	72,9	23	3,1	74,8
2	0,9	46,6	13	2,1	73,7	24	3,5	96,2
3	1,0	57,6	14	2,7	77,6	25	4,9	85,5
4	1,6	70,8	15	2,7	82,3	26	4,5	77,9
5	1,6	59,3	16	3,9	87,1	27	5,0	77,7
6	1,6	60,1	17	3,3	86,6	28	4,6	100,3
7	1,6	72,2	18	3,7	99,1	29	4,4	85,9
8	1,6	61,2	19	3,1	80,5	30	5,1	87,4
9	2,8	71,8	20	3,6	82,6	31	5,8	77,0
10	2,1	78,0	21	3,5	97,4	32	5,2	92,2
11	2,8	90,2	22	3,9	89,3	33	5,1	77,8

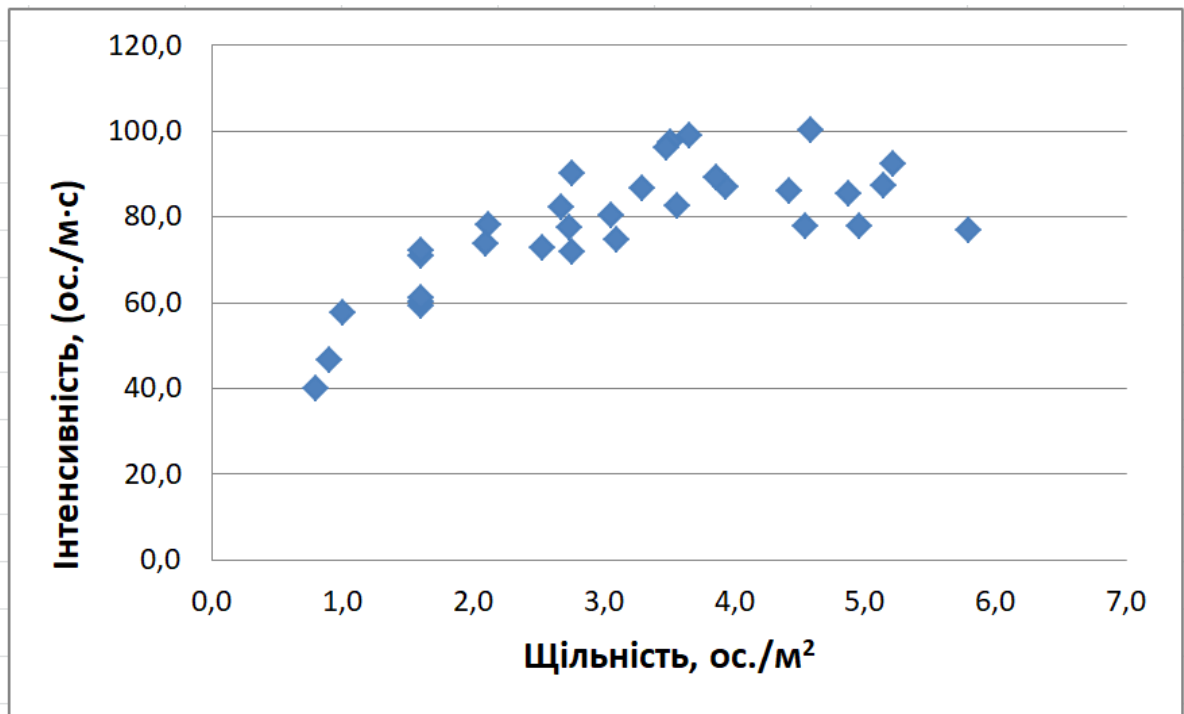


Рисунок В.1.8 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М4 (10-13 років)
під час руху крізь дверний проріз

Таблиця В.1.9.

Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М4
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М4 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	45,5	12	2,5	88,7	23	3,5	101,3
2	0,9	54,5	13	2,4	93,5	24	3,3	90,4
3	1,0	56,0	14	2,2	89,5	25	4,5	93,0
4	1,6	72,4	15	2,2	79,0	26	4,2	91,8
5	1,6	66,1	16	3,5	99,6	27	4,2	103,0
6	1,6	79,8	17	3,8	105,9	28	4,3	82,1
7	1,6	70,0	18	3,6	97,0	29	4,7	99,9
8	1,6	77,1	19	3,6	89,3	30	5,6	99,0
9	2,4	98,1	20	3,4	107,2	31	5,0	86,4
10	2,8	100,7	21	3,7	87,1	32	5,8	89,1
11	2,2	94,8	22	3,8	100,0			

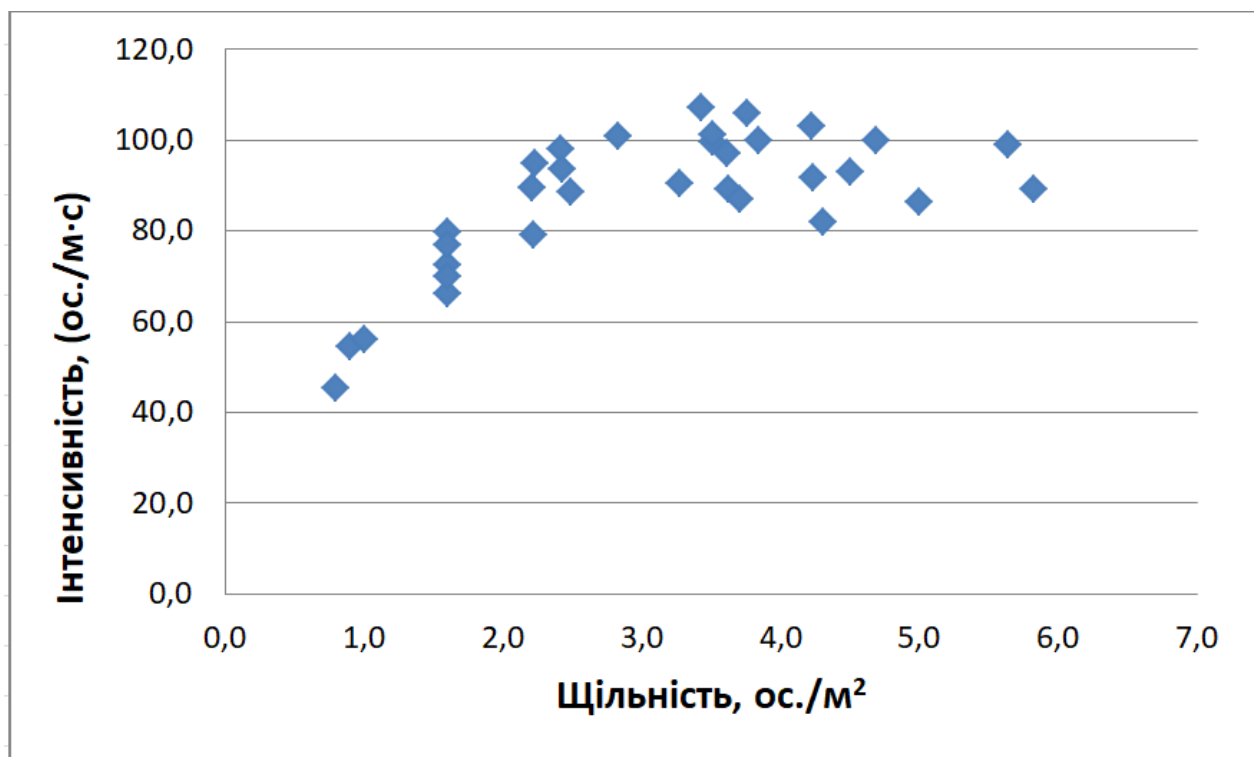


Рисунок В.1.9 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М4 (14-16 років)
під час руху крізь дверний проріз

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор СЗШ №30 м. Львова

Світлана МИХАЛИНА



«28» _ жовтня _ 2020 року

ПРОТОКОЛ №2

динамічної відеореєстрації руху людських потоків

1.	Дата проведення спостережень	Вересень - жовтень 2020 р
2.	Місце проведення спостережень	СЗШ №30 м. Львова
3.	Апаратура	Відеореєстратори Visiocam Z1 FullHD 1080p
4.	Характеристика процесу	Рух змішаного потоку учнів груп мобільності М1+М3
5.	Відповідальний за відеозапис	м-р сл. ц.з. Олександр Хлевной
6.	Відповідальний за обробку відеозапису	м-р сл. ц.з. Олександр Хлевной
7.	Додатки до протоколу	Таблиці – 10; графіки – 10.

Майор служби цивільного захисту

Олександр ХЛЕВНОЙ

Заступник директора СЗШ №30

Руслана СТРУК

Таблиця В.2.1

Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах) під час руху на горизонтальних ділянках (90%М1+10%М3 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,4	60,0	21	3,7	25,2	40	4,6	23,4
2	0,5	56,0	22	3,6	26,1	41	4,7	30,7
3	0,7	51,1	23	4,0	26,3	42	4,7	25,4
4	0,9	58,0	24	3,7	37,6	43	4,8	31,9
5	1,0	53,2	25	3,3	39,0	44	4,6	25,0
6	1,5	43,9	26	3,4	32,1	45	4,6	32,5
7	1,5	40,3	27	4,0	27,6	46	4,1	32,9
8	1,8	49,6	28	3,1	30,1	47	4,0	30,2
9	1,2	48,0	29	3,9	30,6	48	4,2	30,2
10	2,0	48,3	30	3,0	36,2	49	5,8	28,2
11	1,7	52,3	31	3,8	33,2	50	5,4	29,1
12	2,7	32,0	32	3,7	35,4	51	5,5	22,2
13	2,8	33,4	33	3,2	37,3	52	5,5	28,1
14	2,1	41,8	34	3,9	31,7	53	5,7	26,7
15	2,3	36,8	35	3,5	29,3	54	6,2	20,9
16	2,4	35,3	36	3,8	28,2	55	6,5	21,1
17	2,8	40,7	37	4,8	28,8	56	6,8	18,6
18	2,0	42,4	38	4,9	30,7	57	7,0	18,7
19	2,9	36,3	39	4,8	22,2	58	7,4	16,8
20	3,0	31,1						

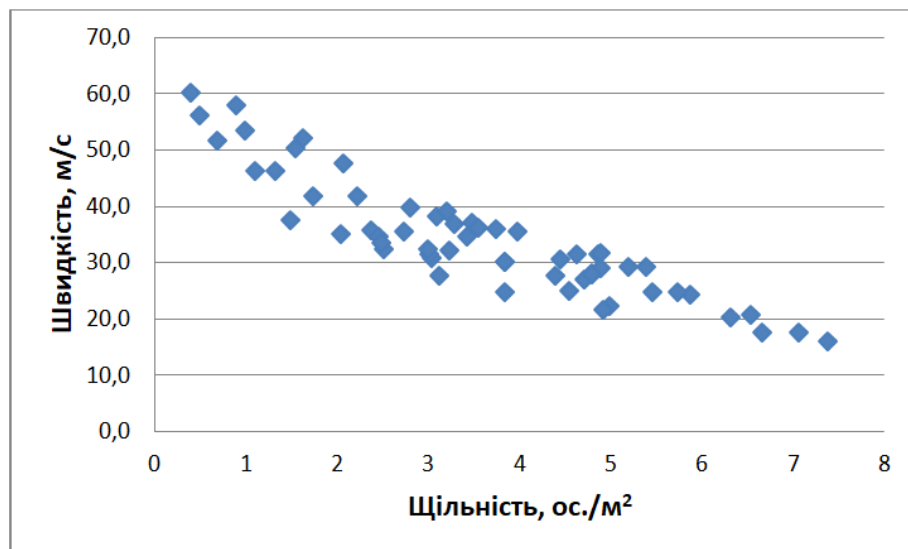


Рисунок В.2.1 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М3 (10-13 років)

Таблиця В.2.2.

Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху на горизонтальних ділянках
(95%М1+5%М3 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,4	54,4	21	3,7	25,6	40	4,6	27,8
2	0,5	57,7	22	3,8	35,2	41	4,9	31,6
3	0,7	63,0	23	3,6	29,4	42	4,1	31,2
4	0,9	58,3	24	3,6	27,4	43	4,9	23,9
5	1,0	52,7	25	3,8	36,7	44	4,3	30,8
6	1,6	53,9	26	3,3	29,5	45	4,7	31,7
7	1,3	51,0	27	3,9	28,4	46	4,9	27,8
8	1,3	40,1	28	3,9	26,5	47	4,6	22,9
9	1,4	44,0	29	4,0	31,6	48	4,4	24,7
10	2,0	48,9	30	3,5	29,2	49	5,1	23,0
11	2,0	42,6	31	3,1	38,7	50	5,8	25,9
12	2,2	45,9	32	3,7	37,4	51	5,2	27,6
13	2,7	32,5	33	3,5	33,6	52	5,9	20,0
14	2,6	34,3	34	3,8	29,1	53	5,5	24,0
15	2,2	41,6	35	3,9	28,1	54	6,0	25,2
16	2,2	38,1	36	3,3	38,8	55	6,9	19,5
17	2,3	36,6	37	4,2	29,2	56	6,9	22,3
18	2,3	41,2	38	4,1	34,7	57	7,9	18,8
19	2,4	40,5	39	4,6	30,5			
20	2,3	42,5						

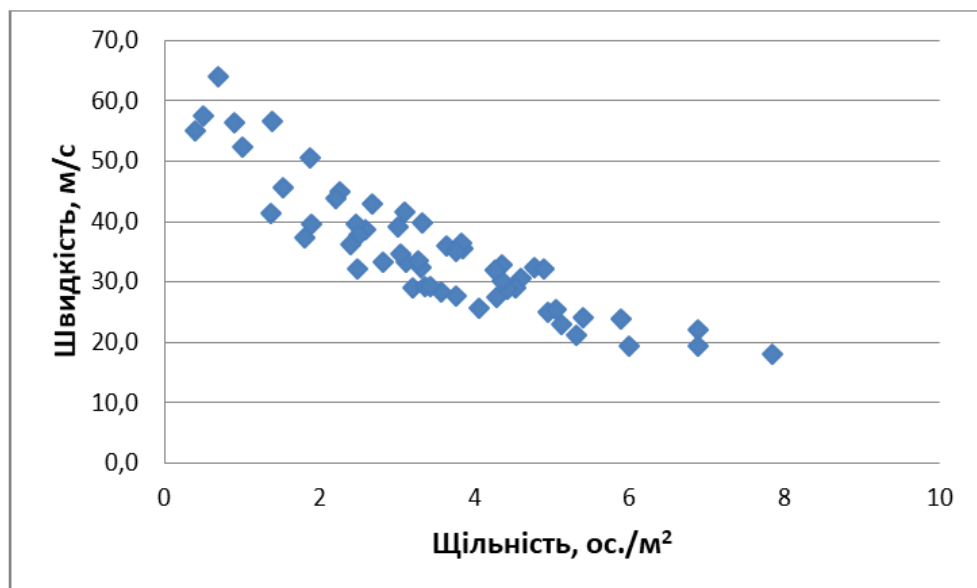


Рисунок В.2.2 – Параметри змішаного потоку 95%М1+5%М3 (10-13 років)

Таблиця В.2.3.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху на горизонтальних ділянках
(90%М1+10%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	71,9	20	2,4	46,5	39	4,9	27,7
2	0,5	62,6	21	3,2	35,4	40	4,5	23,9
3	0,8	68,8	22	3,5	33,2	41	4,8	32,0
4	0,9	71,9	23	3,5	39,8	42	4,4	32,5
5	1,0	68,7	24	3,7	38,1	43	4,5	34,3
6	1,0	61,9	25	3,5	39,3	44	4,1	26,2
7	1,1	44,7	26	3,5	35,0	45	4,6	33,4
8	1,7	50,5	27	3,3	35,8	46	4,1	33,4
9	1,6	48,9	28	3,6	33,7	47	5,0	24,6
10	1,5	61,4	29	3,1	33,4	48	4,4	28,2
11	1,3	49,6	30	3,8	34,6	49	5,2	28,3
12	2,1	42,2	31	3,4	32,1	50	5,3	21,7
13	2,4	47,1	32	3,2	37,1	51	5,3	27,7
14	2,9	46,7	33	3,9	26,9	52	5,7	22,6
15	2,2	37,1	34	3,1	40,8	53	5,6	20,3
16	2,5	42,5	35	3,4	36,0	54	6,4	23,0
17	2,2	37,1	36	3,8	30,4	55	6,5	22,6
18	2,7	41,3	37	4,7	24,4	56	6,8	18,9
19	2,5	35,3	38	4,3	26,1	57	7,4	16,9

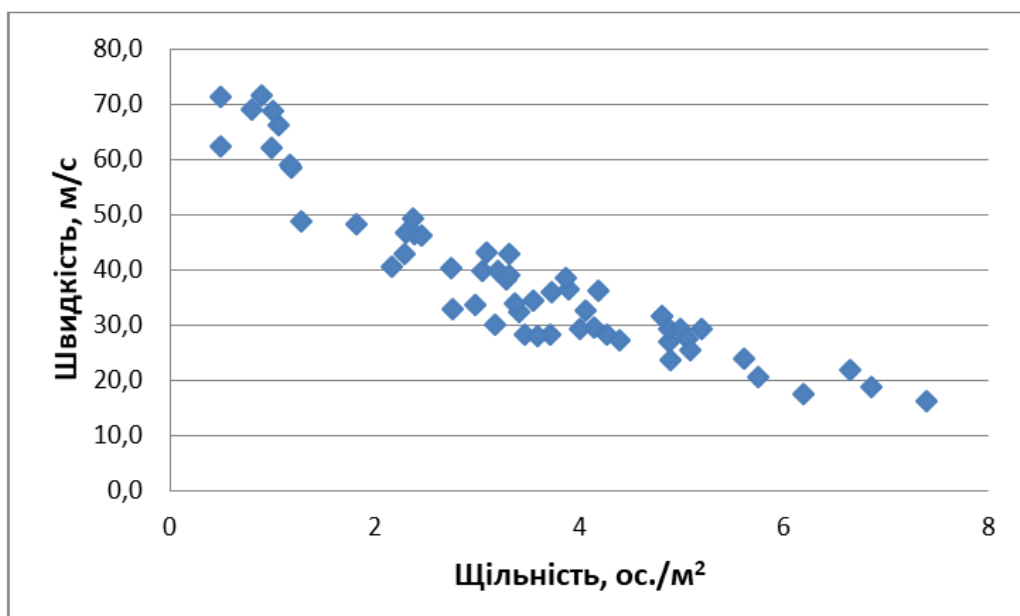


Рисунок В.2.3 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М3 (14-16 років)

Таблиця В.2.4.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху на горизонтальних ділянках
(95%М1+5%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6	58,9	17	2,1	40,7	33	4,5	28,8
2	0,7	60,5	18	2,0	44,7	34	4,9	22,6
3	0,8	64,8	19	2,7	31,6	35	4,2	25,0
4	0,9	51,5	20	3,5	26,0	36	4,9	24,5
5	1,0	52,1	21	3,9	30,0	37	4,5	30,8
6	2,0	36,9	22	3,9	23,0	38	4,1	25,4
7	1,4	38,5	23	3,0	38,2	39	5,8	22,4
8	1,5	52,8	24	3,4	29,2	40	5,3	20,0
9	1,3	51,3	25	3,6	28,3	41	5,5	23,0
10	1,5	53,1	26	3,5	33,4	42	6,0	22,4
11	1,4	51,5	27	3,5	29,4	43	5,0	26,3
12	2,9	27,3	28	4,0	26,3	44	5,7	24,5
13	2,9	29,5	29	3,3	28,8	45	6,0	17,7
14	2,3	35,7	30	3,0	29,0	46	5,3	25,1
15	3,0	35,9	31	4,1	22,2	47	6,4	22,9
16	2,9	30,9	32	4,2	32,1	48	6,6	22,4

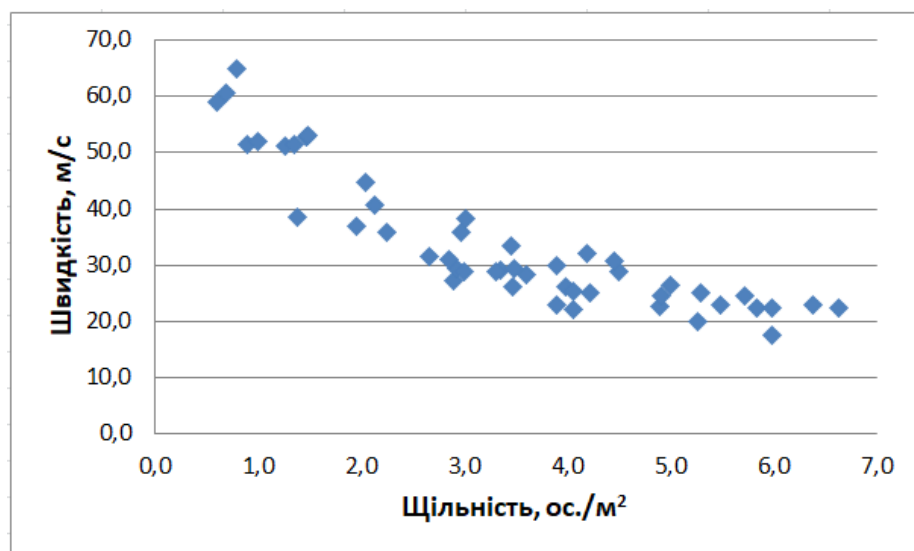


Рисунок В.2.4 – Параметри змішаного потоку 95%М1+5%М3 (14-16 років)

Таблиця В.2.5.

Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху сходами вниз
(90%М1+10%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,9	34,0	12	3,8	17,3	23	5,5	13,9
2	1,2	26,0	13	3,8	20,8	24	5,7	14,2
3	1,5	31,8	14	4,2	20,8	25	5,7	13,4
4	2,1	24,0	15	4,6	16,7	26	5,9	14,7
5	2,3	24,8	16	4,7	17,5	27	6,2	12,0
6	2,5	25,1	17	4,7	17,7	28	6,3	13,4
7	2,9	20,8	18	4,8	17,0	29	6,5	14,6
8	3,1	24,7	19	4,9	17,2	30	6,5	14,4
9	3,3	21,2	20	5,0	18,5	31	7,0	11,5
10	3,7	21,8	21	5,0	18,4	32	7,1	12,7
11	3,7	21,5	22	5,1	13,9	33	7,6	10,4

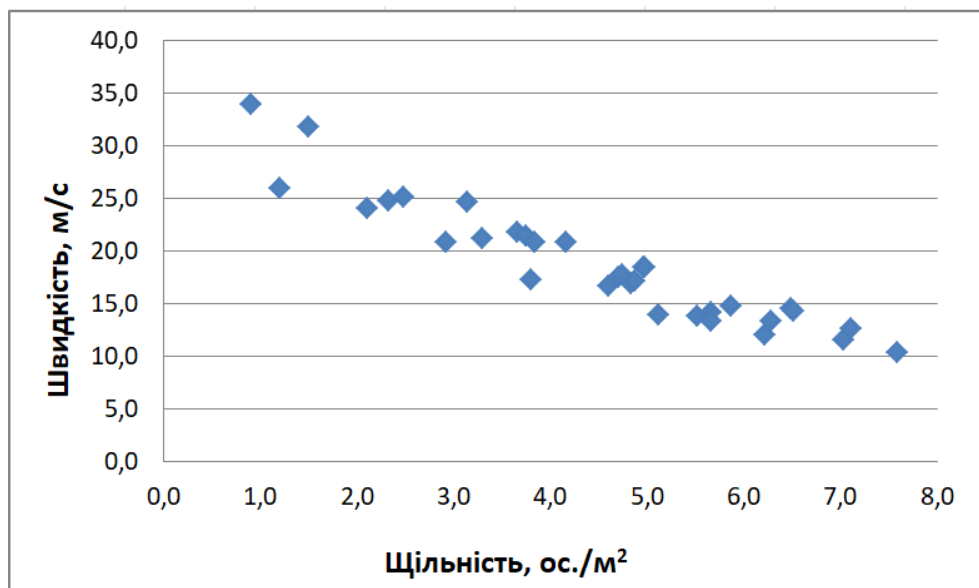


Рисунок В.2.5 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М3 (14-16 років)
під час руху сходами вниз

Таблиця В.2.6.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху сходами вниз
(95%М1+5%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	33,0	13	3,8	26,1	25	5,1	21,1
2	0,9	35,6	14	4,0	19,4	26	5,7	17,2
3	1,0	37,7	15	4,0	19,4	27	5,7	18,1
4	1,6	35,9	16	4,4	24,1	28	6,0	16,1
5	2,1	32,0	17	4,4	20,6	29	6,0	14,3
6	2,3	29,1	18	4,4	21,4	30	6,7	13,4
7	2,8	28,4	19	4,5	23,8	31	6,9	15,7
8	2,8	30,7	20	4,9	21,4	32	7,1	14,4
9	3,3	23,4	21	5,0	21,7	33	7,1	13,0
10	3,4	22,7	22	5,0	18,0	34	7,2	13,9
11	3,6	20,9	23	5,1	18,0	35	7,6	13,2
12	3,7	20,8	24	5,1	17,4			

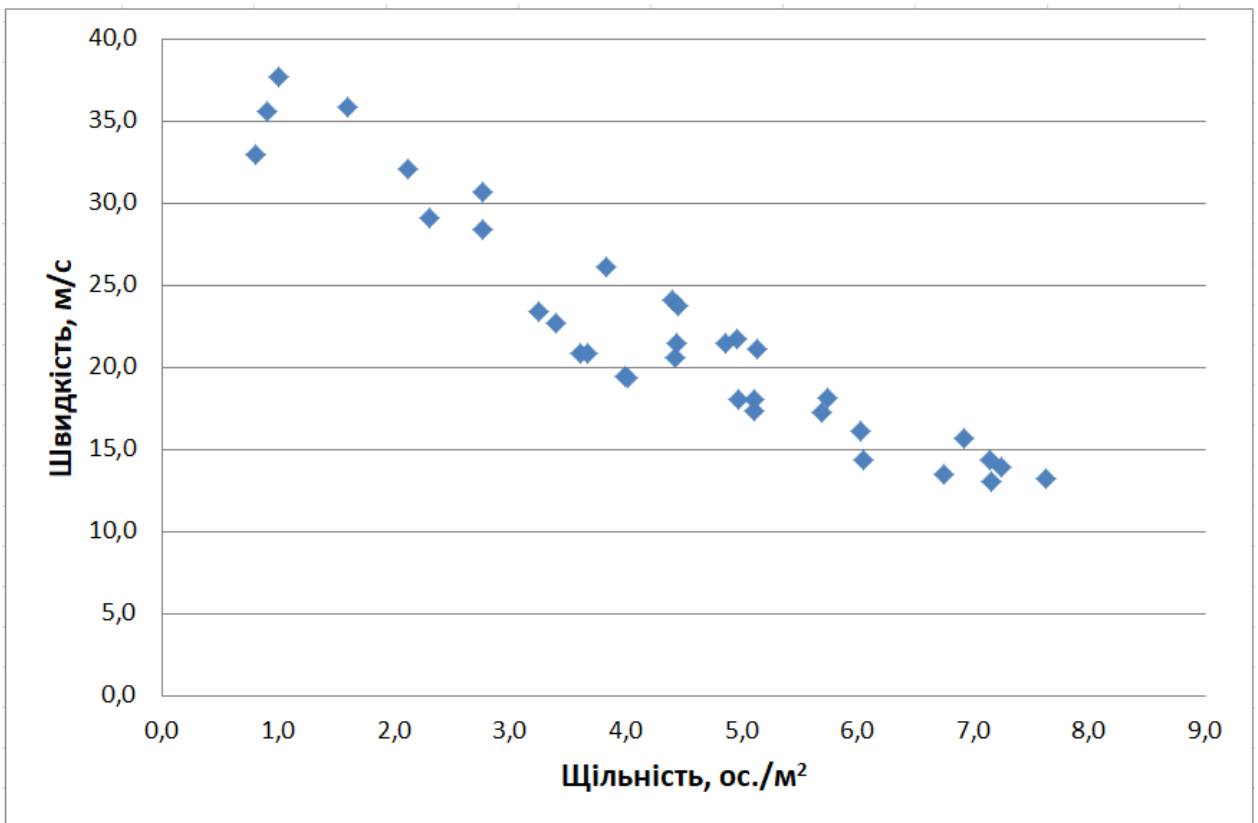


Рисунок В.2.6 – Параметри змішаного потоку 95%М1+5%М3 (14-16 років)
під час руху сходами вниз

Таблиця В.2.7.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху сходами вгору
(90%М1+10%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,0	26,4	11	3,5	16,2	21	4,8	14,5
2	1,2	28,4	12	3,7	15,2	22	5,2	13,8
3	1,6	30,1	13	3,8	15,6	23	5,3	12,3
4	2,1	22,4	14	4,1	13,6	24	5,8	13,3
5	2,3	21,9	15	4,2	16,3	25	5,8	9,9
6	2,3	22,8	16	4,3	13,0	26	5,8	10,0
7	2,5	24,2	17	4,4	15,7	27	6,1	11,9
8	3,2	19,3	18	4,6	13,6	28	6,2	9,7
9	3,4	19,7	19	4,7	12,5	29	7,0	9,4
10	3,5	19,2	20	4,7	13,2	30	7,8	7,3

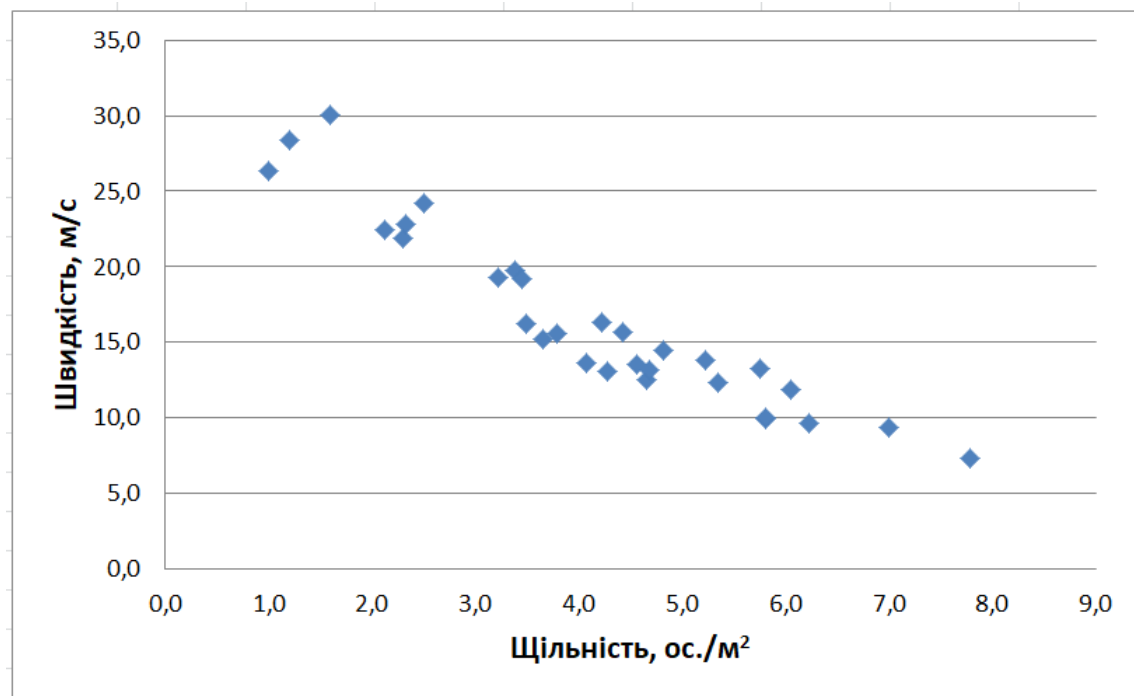


Рисунок В.2.7 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М3 (14-16 років)
під час руху сходами вгору

Таблиця В.2.8.

Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М3 (на 2 опорах)
під час руху сходами вгору
(95%М1+5%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,1	32,1	11	3,4	18,3	21	4,9	16,0
2	1,3	28,4	12	3,4	19,9	22	5,1	15,8
3	1,6	30,1	13	3,5	16,3	23	5,1	13,4
4	2,1	25,4	14	4,1	16,8	24	5,4	12,7
5	2,3	19,8	15	4,1	18,1	25	5,7	14,0
6	2,4	21,0	16	4,4	14,5	26	5,9	13,7
7	3,0	20,2	17	4,4	13,9	27	6,5	13,1
8	3,1	17,7	18	4,4	14,0	28	6,8	12,3
9	3,2	17,1	19	4,5	15,2	29	7,0	12,1
10	3,4	16,9	20	4,9	15,2	30	7,6	9,9

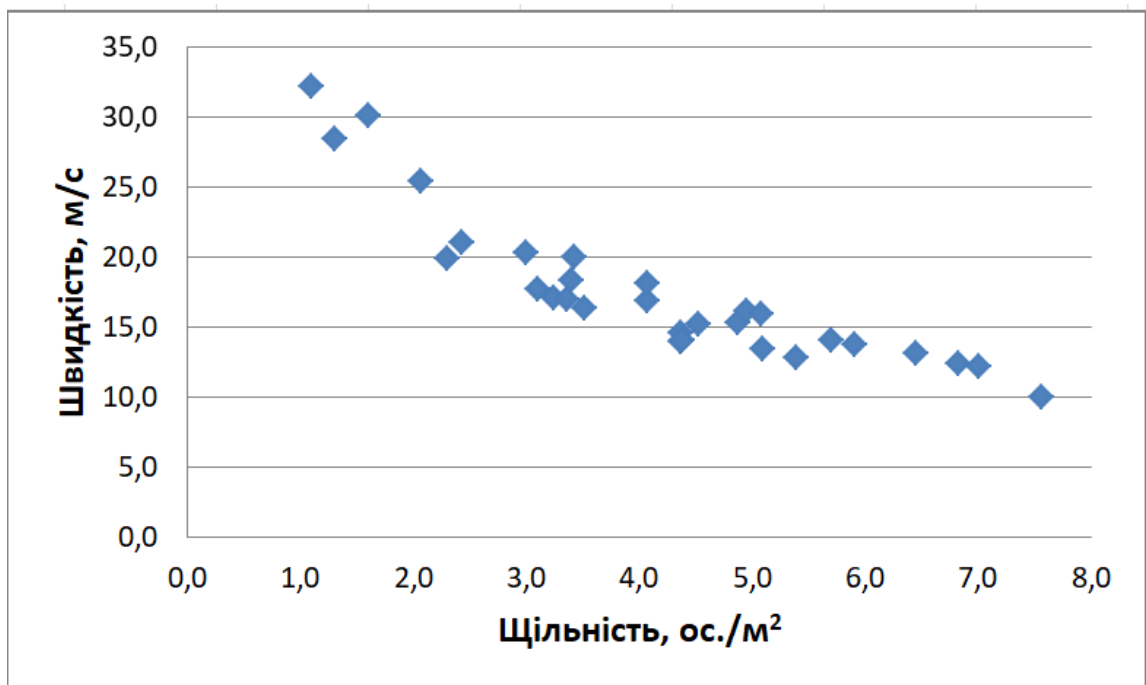


Рисунок В.2.8 – Параметри змішаного потоку 95%М1+5%М3 (14-16 років)
під час руху сходами вгору

Таблиця В.2.9.

Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М3
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М3 (10-13 років))

№	D	q_D	№	D	q_D	№	D	q_D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	41,7	11	2,1	89,4	21	4,4	113,7
2	0,9	54,5	12	3,3	98,0	22	4,9	148,5
3	1,0	60,1	13	3,7	126,5	23	5,8	144,2
4	1,6	70,6	14	3,9	118,5	24	5,0	117,6
5	1,6	74,7	15	3,9	106,1	25	6,0	125,6
6	1,6	73,9	16	3,2	127,0	26	5,4	122,6
7	2,9	104,1	17	3,2	124,8	27	6,5	143,7
8	2,2	88,0	18	5,0	122,2	28	6,2	141,0
9	2,7	105,5	19	4,4	145,8	29	6,1	159,9
10	3,0	122,8	20	4,3	129,5	30	7,2	139,0

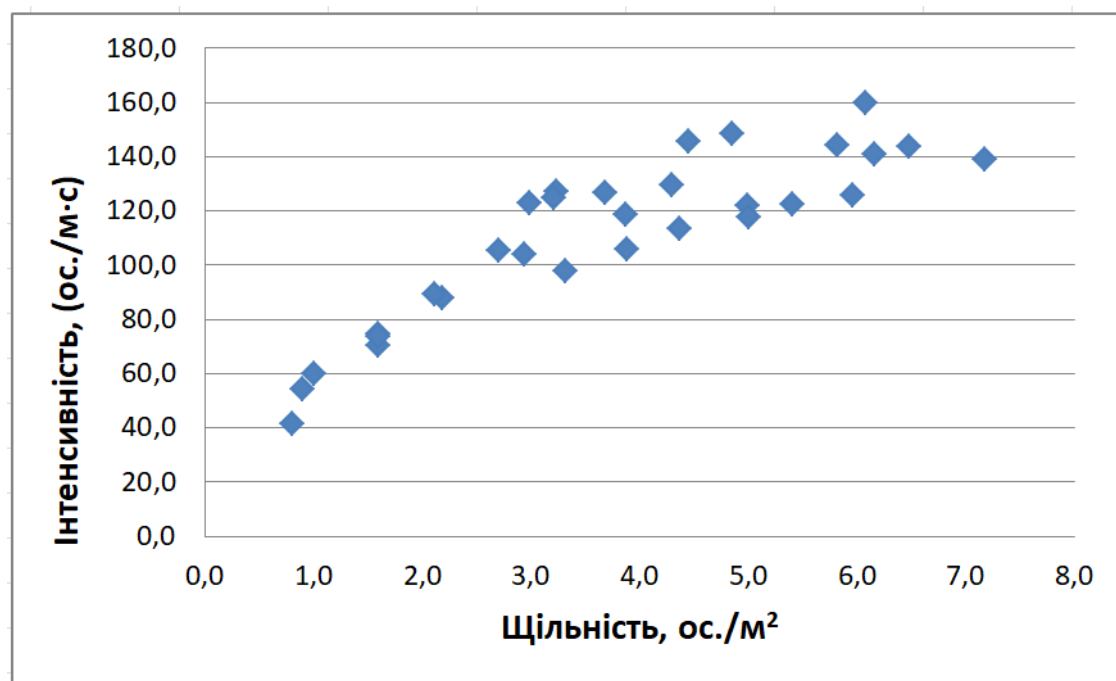


Рисунок В.2.9 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М3 (10-13 років)
під час руху крізь дверний проріз

Таблиця В.2.10.
Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М3
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М3 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	55,0	12	3,2	110,1	22	4,9	133,6
2	0,9	72,0	13	3,4	111,9	23	5,3	152,2
3	1,0	63,6	14	3,0	134,4	24	5,4	135,5
4	1,6	95,6	15	3,5	113,3	25	5,5	142,2
5	1,6	75,6	16	3,0	122,7	26	6,0	127,5
6	1,6	92,2	17	3,5	129,5	27	6,6	132,3
7	2,7	121,4	18	4,5	129,0	28	6,7	147,0
8	2,2	109,5	19	4,2	149,1	29	6,3	135,5
9	2,1	93,4	20	4,7	122,5	30	7,9	126,5
10	3,0	131,8	21	4,1	118,3	31	7,2	136,1
11	2,7	104,9						

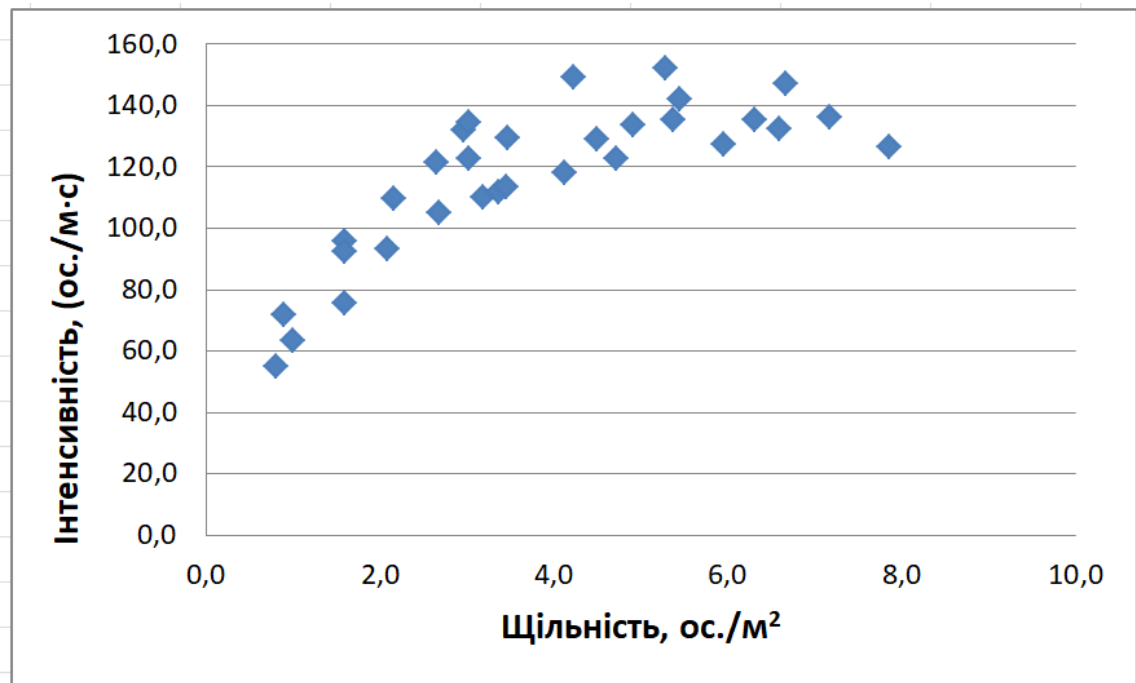


Рисунок В.2.10 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М3 (14-16 років)
під час руху крізь дверний проріз

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор СЗШ №30 м. Львова

Світлана МИХАЛИНА

« 26 » листопада 2020 року

ПРОТОКОЛ №3

динамічної відеореєстрації руху людських потоків

1.	Дата проведення спостережень	Жовтень - грудень 2020 р
2.	Місце проведення спостережень	СЗШ №30 м. Львова
3.	Апаратура	Відеореєстратори Visiocam Z1 FullHD 1080p
4.	Характеристика процесу	Рух змішаного потоку учнів груп мобільності M1+M2
5.	Відповідальний за відеозапис	м-р сл. ц.з. Олександр Хлевной
6.	Відповідальний за обробку відеозапису	м-р сл. ц.з. Олександр Хлевной
7.	Додатки до протоколу	Таблиці –12; графіки – 12.

Майор служби цивільного захисту

Олександр ХЛЕВНОЙ

Заступник директора СЗШ №30

Руслана СТРУК

Таблиця В.3.1

Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2 під час руху на горизонтальних ділянках (90%M1+10%M2 (6-9 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,4	55,3	17	2,4	36,8	33	3,9	27,1
2	0,5	57,7	18	2,6	34,7	34	4,0	21,7
3	0,7	57,9	19	2,6	37,6	35	4,1	28,3
4	0,8	59,1	20	2,7	36,4	36	4,5	29,7
5	0,9	53,2	21	2,7	39,5	37	4,6	26,5
6	1,2	40,3	22	3,0	26,3	38	4,7	26,8
7	1,5	46,3	23	3,1	29,5	39	4,9	27,7
8	1,7	49,8	24	3,1	28,0	40	5,0	18,7
9	1,8	35,4	25	3,1	25,7	41	5,0	25,2
10	1,8	39,8	26	3,2	34,6	42	5,1	23,8
11	1,9	36,2	27	3,2	30,5	43	5,2	22,5
12	2,0	44,0	28	3,3	35,4	44	5,6	19,5
13	2,1	43,0	29	3,3	27,3	45	5,7	18,0
14	2,1	40,3	30	3,6	30,2	46	5,8	24,1
15	2,3	40,2	31	3,8	28,0	47	5,9	16,6
16	2,4	33,0	32	3,9	25,0			

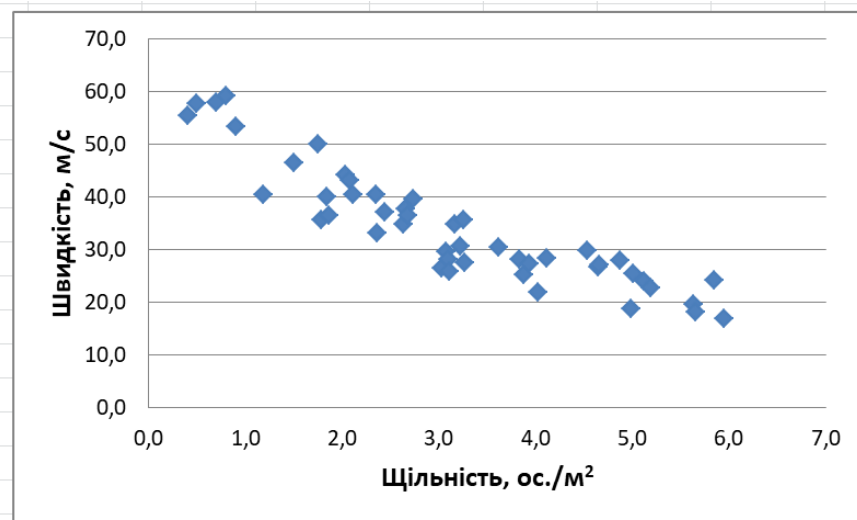


Рисунок В.3.1 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (6-9 років)

Таблиця В.3.2.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М2
під час руху на горизонтальних ділянках
(90%М1+10%М2 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	60,5	17	3,0	34,6	33	4,8	27,3
2	0,6	68,9	18	3,2	31,0	34	4,8	23,4
3	0,8	70,8	19	3,2	33,4	35	5,1	28,2
4	0,8	69,0	20	3,3	34,3	36	5,4	25,3
5	1,6	54,3	21	3,3	38,4	37	5,6	20,5
6	1,7	53,1	22	3,5	35,6	38	5,7	20,0
7	1,8	43,3	23	3,6	33,0	39	5,7	22,6
8	2,0	42,9	24	3,9	29,5	40	5,8	23,3
9	2,1	37,5	25	4,0	29,5	41	6,5	18,5
10	2,2	41,7	26	4,1	34,2	42	6,5	21,2
11	2,3	42,7	27	4,2	31,0	43	6,7	19,3
12	2,4	42,6	28	4,2	26,0	44	6,8	20,5
13	2,6	42,1	29	4,2	31,9	45	7,0	17,4
14	2,6	34,0	30	4,4	27,5	46	7,8	14,4
15	2,6	41,1	31	4,8	24,6	47	7,8	16,7
16	3,0	35,2	32	4,8	23,9	48	8,0	13,9

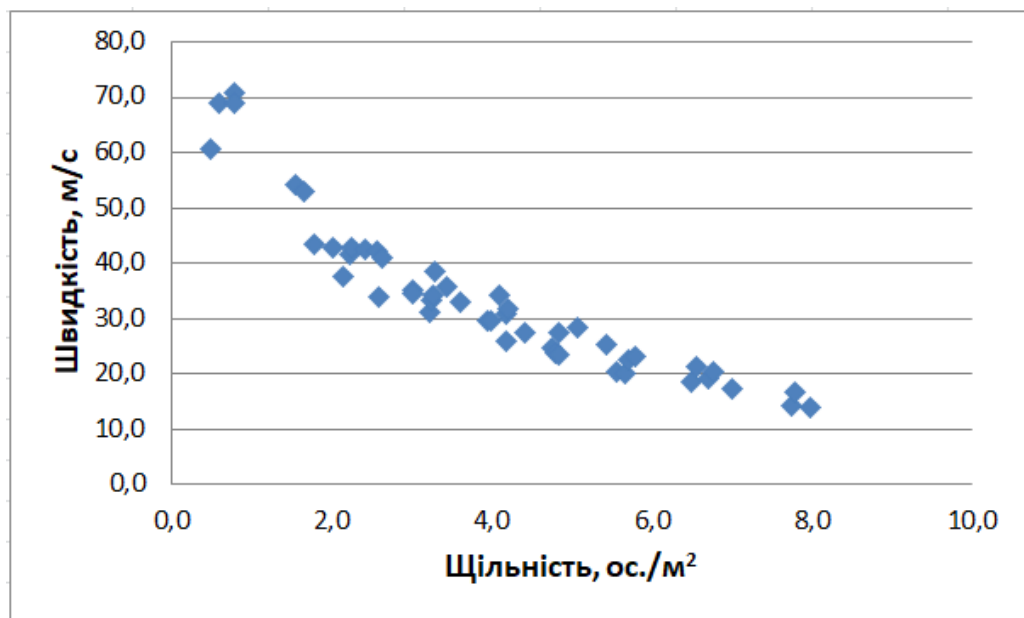


Рисунок В.3.2 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М2 (10-13 років)

Таблиця В.3.3.
Значення швидкості і щільності людського потоку М1+М2
під час руху на горизонтальних ділянках
(90%М1+10%М2 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	58,0	16	3,1	41,9	32	4,4	33,2
2	0,6	73,3	17	3,3	41,5	33	4,9	30,7
3	0,8	78,1	18	3,5	31,0	34	5,0	23,9
4	0,8	75,8	19	3,7	29,5	35	5,1	30,3
5	1,3	67,0	20	3,7	38,1	36	5,6	21,1
6	1,5	52,6	21	3,7	35,0	37	5,8	23,2
7	1,7	53,0	22	3,8	35,2	38	5,8	24,7
8	2,3	42,7	23	3,8	33,2	39	5,9	24,1
9	2,4	50,5	24	3,9	37,2	40	5,9	23,3
10	2,4	43,4	25	3,9	37,3	41	6,0	25,5
11	2,5	42,8	26	4,0	37,0	42	6,1	22,9
12	2,6	42,8	27	4,1	29,6	43	6,6	17,6
13	2,7	46,4	28	4,2	29,5	44	6,6	18,0
14	3,0	44,5	29	4,2	34,7	45	6,8	20,3
15	3,0	36,3	30	4,2	30,1	46	7,5	19,6
			31	4,3	26,5	47	7,6	19,2

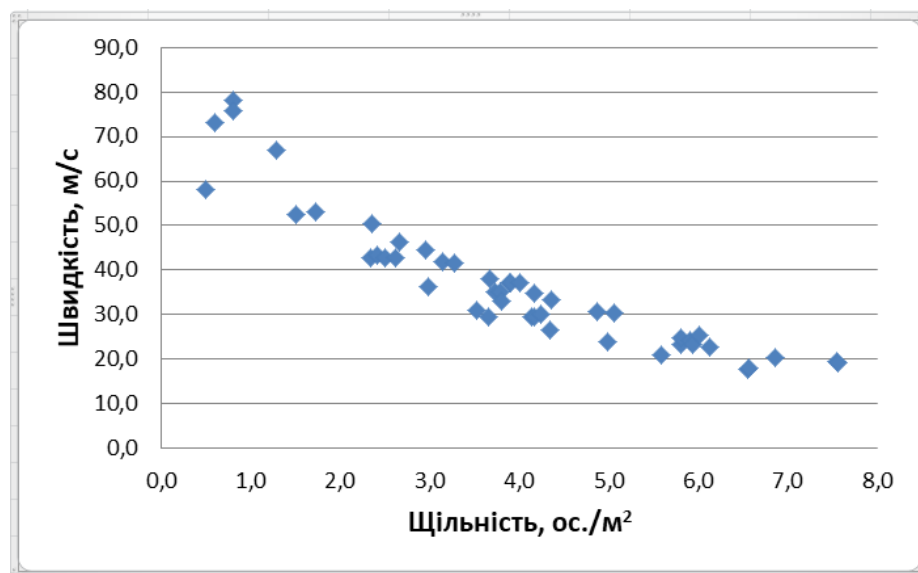


Рисунок В.3.3 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М2 (14-16 років)

Таблиця В.3.4.
Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2
під час руху сходами вгору
(90%M1+10%M2 (6-9 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,0	38,7	12	3,1	23,8	23	5,2	13,7
2	1,2	34,0	13	3,4	22,7	24	5,9	12,6
3	1,6	27,5	14	4,8	19,4	25	5,2	16,4
4	2,3	23,5	15	4,3	15,4	26	5,3	16,5
5	2,4	23,9	16	5,0	18,1	27	6,4	14,9
6	2,8	20,2	17	4,2	17,2	28	6,3	11,9
7	2,3	27,4	18	4,8	16,3	29	6,1	12,8
8	3,1	21,2	19	4,7	17,3	30	6,2	13,4
9	3,4	18,1	20	4,9	17,1	31	7,7	11,6
10	3,5	19,6	21	4,8	18,4	32	7,4	12,5
11	3,9	17,6	22	5,6	14,8	23	5,2	13,7

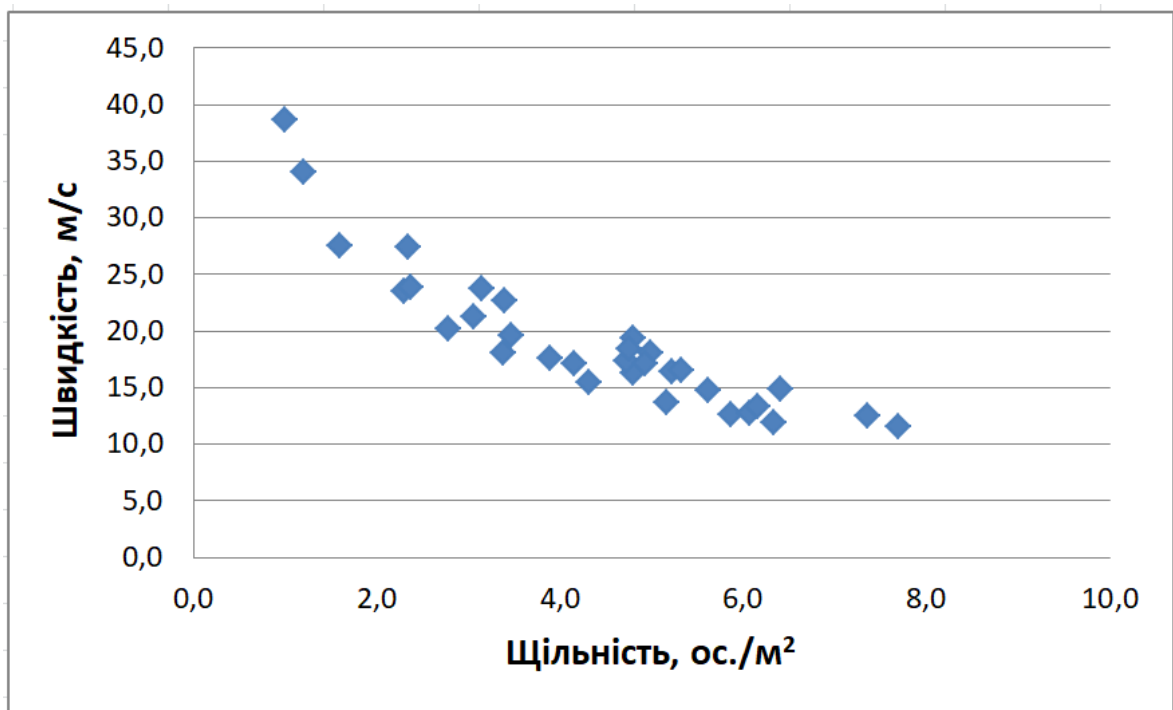


Рисунок В.3.4 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (6-9 років)
під час руху сходами вгору

Таблиця В.3.5.

Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2
під час руху сходами вгору
(90%M1+10%M2 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7	39,3	11	2,4	32,9	21	4,4	17,9
2	0,9	45,9	12	3,9	23,9	22	5,6	15,2
3	1,6	35,6	13	3,3	22,5	23	5,2	17,2
4	1,6	29,6	14	3,8	21,0	24	5,8	17,9
5	1,6	33,4	15	3,1	23,2	25	5,6	17,5
6	2,2	29,5	16	3,8	20,4	26	5,9	14,2
7	2,3	32,8	17	3,4	23,1	27	6,4	14,0
8	2,7	25,8	18	3,4	26,6	28	6,2	14,2
9	2,8	30,0	19	4,8	16,3	29	6,1	17,5
10	2,5	29,2	20	4,3	17,2	30	7,6	11,6

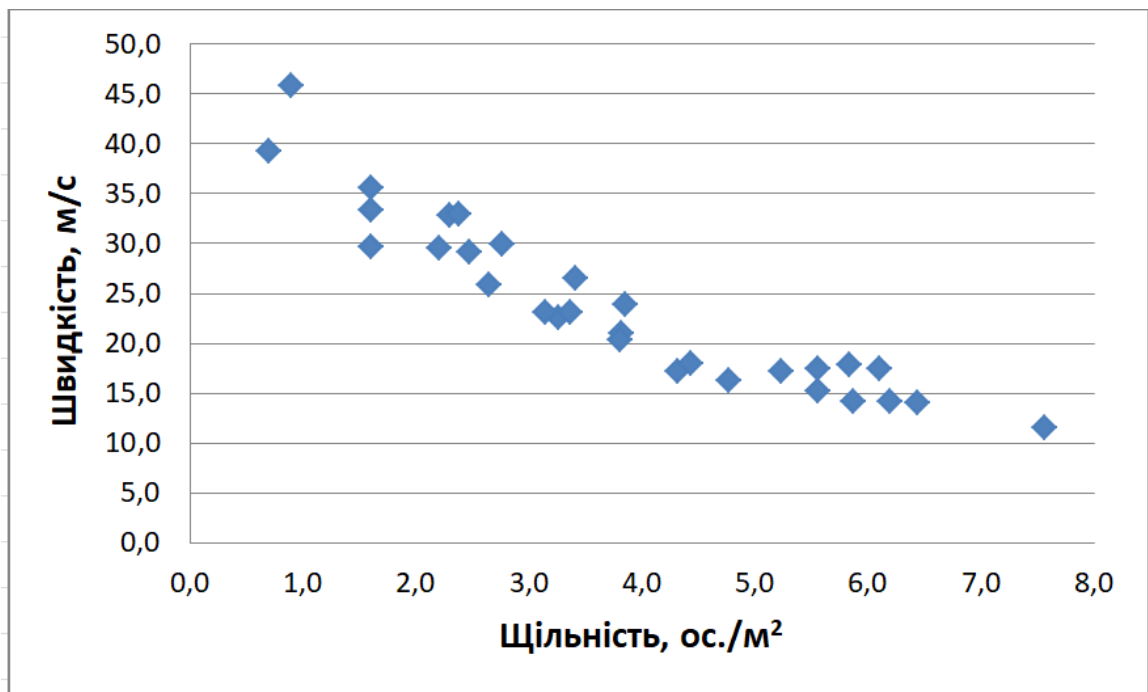


Рисунок В.3.5 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (10-13 років)
під час руху сходами вгору

Таблиця В.3.6.
Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2
під час руху сходами вгору
(90%M1+10%M2 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,0	39,6	12	3,1	31,9	22	5,3	17,3
2	1,2	42,3	13	3,8	22,1	23	5,5	19,4
3	1,6	34,5	14	4,0	21,1	24	5,5	19,4
4	2,3	38,9	15	4,9	19,6	25	5,1	18,5
5	2,2	36,2	16	4,6	18,9	26	5,8	16,0
6	2,9	28,6	17	4,5	20,7	27	7,0	15,3
7	2,5	35,4	18	4,3	25,6	28	6,8	13,7
8	3,9	21,1	19	4,1	24,7	29	7,0	15,0
9	3,9	24,5	20	4,9	21,5	30	6,2	16,3
10	3,6	23,3	21	4,1	24,8			
11	4,0	23,9						

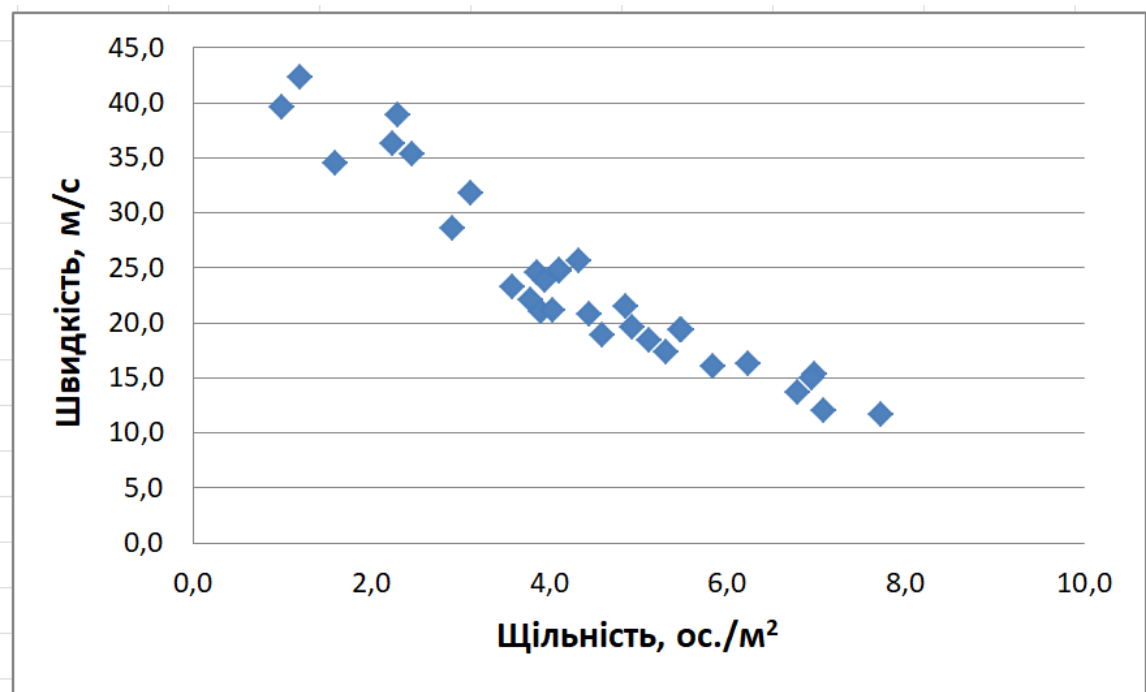


Рисунок В.3.6 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (14-16 років)
під час руху сходами вгору

Таблиця В.3.7.
Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2
під час руху сходами вниз
(90%M1+10%M2 (6-9 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7	36,2	11	2,5	27,6	21	4,4	17,3
2	0,9	32,2	12	3,8	22,4	22	4,6	16,6
3	1,6	35,9	13	4,0	17,8	23	4,3	19,1
4	1,6	33,0	14	3,8	21,4	24	5,8	16,1
5	1,6	27,7	15	3,5	20,1	25	6,0	13,4
6	2,5	24,0	16	3,9	23,1	26	6,4	15,8
7	2,7	21,3	17	3,5	23,0	27	6,4	16,1
8	2,1	31,5	18	3,6	21,4	28	7,0	15,1
9	2,6	22,1	19	4,1	20,1	29	7,8	12,2
10	2,5	28,3	20	4,5	19,3	21	4,4	17,3

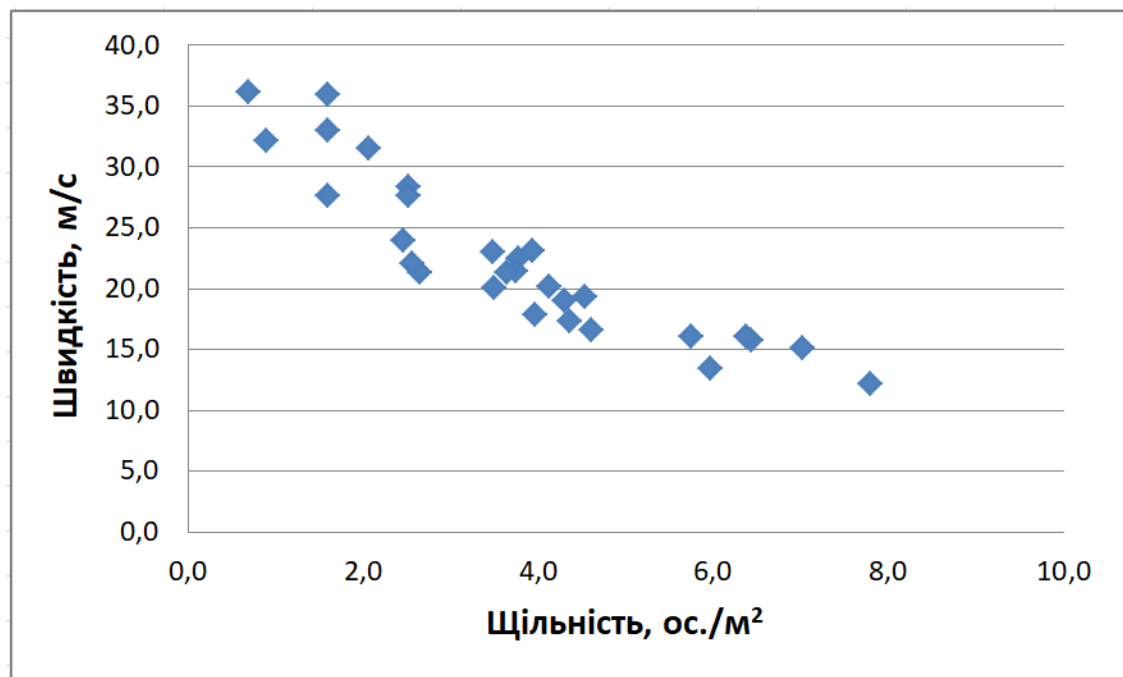


Рисунок В.3.7 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (6-9 років)
під час руху сходами вниз

Таблиця В.3.8.
Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2
під час руху сходами вниз
(90%M1+10%M2 (10-13 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7	47,8	12	2,6	32,2	23	4,1	20,0
2	0,9	40,3	13	3,2	27,6	24	6,0	18,5
3	1,6	33,8	14	3,6	22,9	25	5,4	17,7
4	1,6	34,3	15	4,0	19,8	26	5,4	20,4
5	1,6	31,0	16	3,3	26,8	27	6,1	17,6
6	1,6	40,5	17	3,8	26,1	28	6,5	16,0
7	2,7	25,7	18	3,8	20,1	29	6,5	14,9
8	2,1	30,8	19	3,2	26,6	30	6,2	15,2
9	2,4	34,5	20	4,3	22,7	31	7,1	14,0
10	2,7	26,7	21	4,6	19,6	32	7,1	14,1
11	2,8	23,8	22	4,4	20,9	33	8,0	12,7

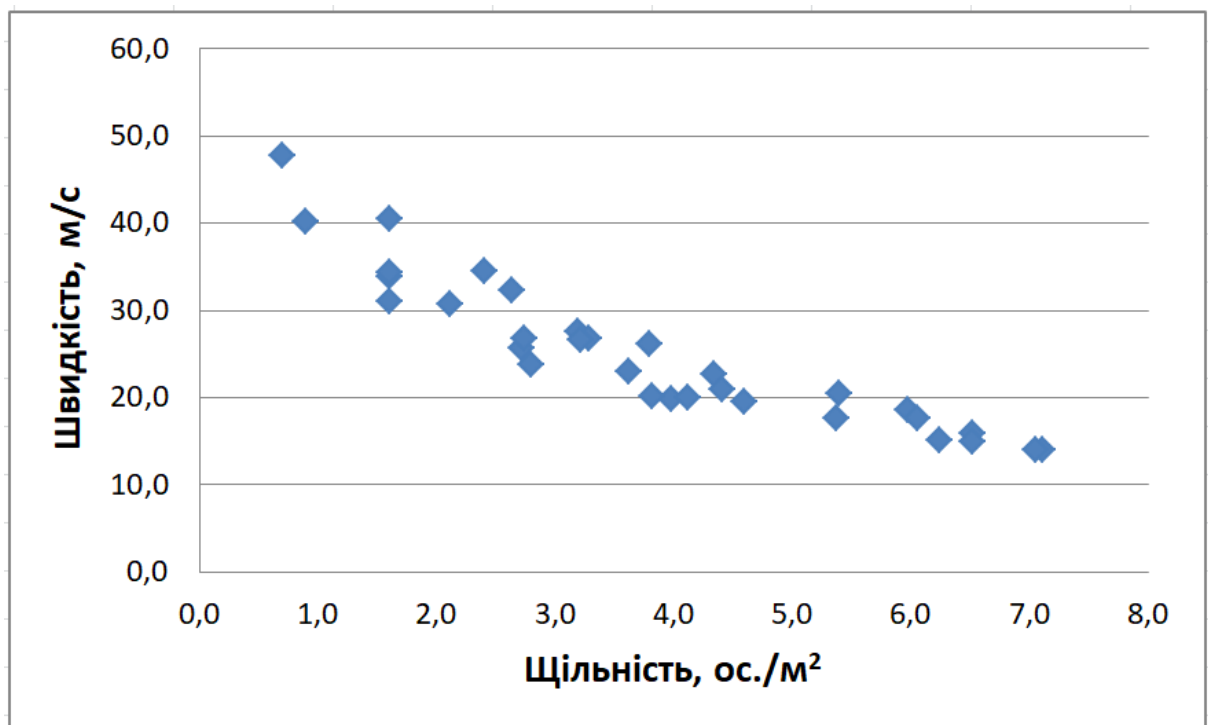


Рисунок В.3.8 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (10-13 років)
під час руху сходами вниз

Значення швидкості і щільності людського потоку M1+M2
під час руху сходами вниз
(90%M1+10%M2 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7	51,8	14	3,4	33,4	27	5,9	21,4
2	0,9	48,5	15	3,7	27,7	28	5,2	21,7
3	1,0	44,9	16	3,4	32,9	29	5,6	22,8
4	1,6	40,4	17	3,4	34,7	30	5,6	20,9
5	1,6	50,8	18	3,8	32,4	31	6,5	17,5
6	1,6	49,2	19	3,7	27,3	32	6,7	20,8
7	1,6	41,1	20	4,2	29,3	33	6,5	18,7
8	2,5	39,8	21	4,8	21,6	34	6,5	21,6
9	2,9	35,4	22	4,6	26,7	35	6,0	18,1
10	2,1	37,5	23	4,4	23,6	36	7,5	15,1
11	2,1	34,9	24	5,0	26,8	37	7,1	18,8
12	2,5	39,0	25	4,7	28,5	38	7,9	16,4
13	3,4	33,5	26	5,7	19,6	39	7,1	17,4

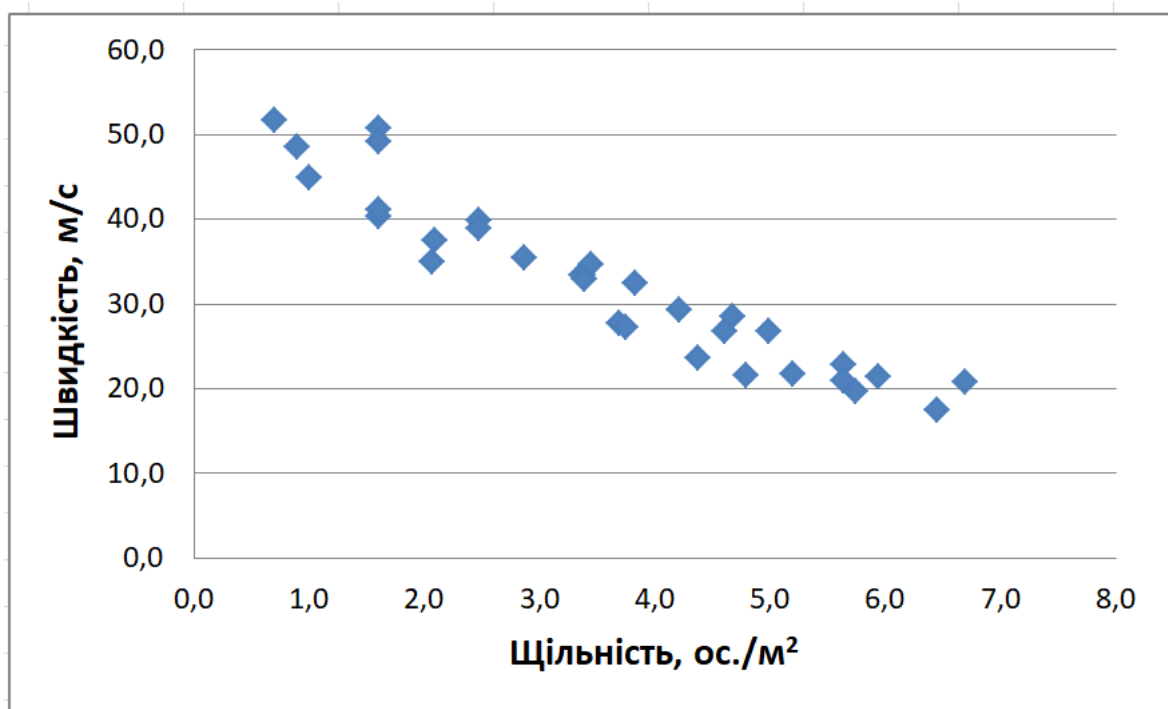


Рисунок В.3.9 – Параметри змішаного потоку 90%M1+10%M2 (14-16 років)
під час руху сходами вниз

Таблиця В.3.10.
Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М2
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М2 (6-9 років))

№	D	q_D	№	D	q_D	№	D	q_D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7	48,3	11	2,7	97,1	21	4,8	129,8
2	0,9	61,3	12	3,0	96,4	22	4,7	102,6
3	1,0	51,4	13	3,1	110,2	23	4,3	131,9
4	1,6	65,4	14	3,2	113,7	24	5,6	109,4
5	1,6	79,4	15	3,5	120,8	25	5,3	112,8
6	1,6	61,9	16	3,1	99,3	26	5,6	142,3
7	2,5	103,2	17	3,1	115,4	27	5,1	104,0
8	2,5	87,0	18	4,5	135,8	29	8,0	116,4
9	2,4	104,2	19	4,2	105,4			
10	2,7	98,5	20	4,5	120,1			

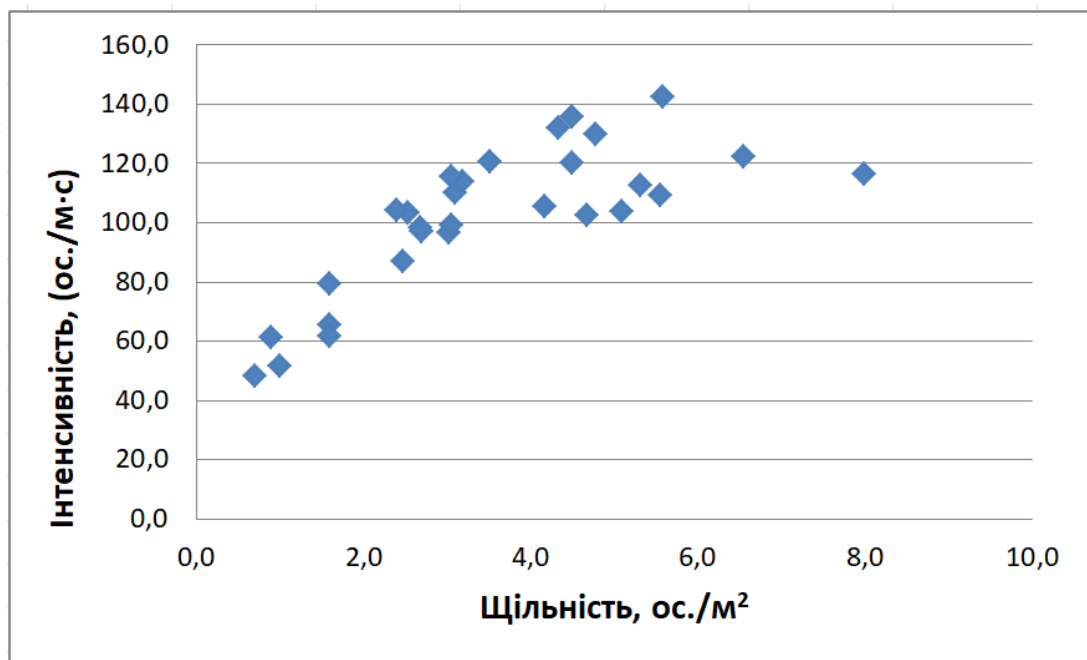


Рисунок В.3.10 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М2 (6-9 років)
під час руху крізь дверний проріз

Таблиця В.3.11.
Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М2
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М2 (10-13 років))

№	D	q_D	№	D	q_D	№	D	q_D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	62,8	12	3,7	138,3	22	4,2	122,9
2	0,9	55,5	13	3,3	134,9	23	4,9	119,3
3	1,0	58,6	14	4,0	146,8	24	5,1	124,3
4	1,6	76,7	15	3,2	125,7	25	5,7	133,0
5	1,6	78,9	16	3,9	138,3	26	5,1	149,5
6	1,6	85,3	17	3,1	105,2	27	5,3	152,8
7	2,6	102,4	18	4,1	123,5	28	7,9	146,2
8	2,9	109,8	19	4,5	152,0	29	7,9	138,5
9	2,7	115,1	20	4,9	133,0	30	7,9	116,4
10	2,8	114,1	21	4,2	135,1	31	7,6	149,6
11	2,6	106,2						

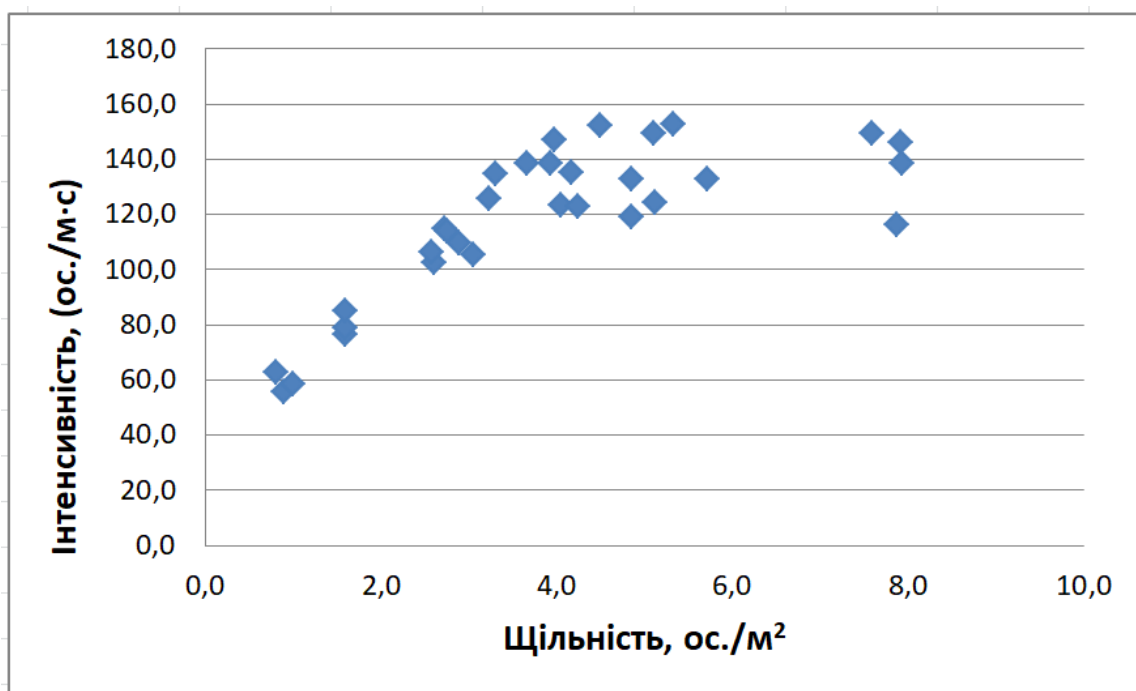


Рисунок В.3.11 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М2 (10-13 років)
під час руху крізь дверний проріз

Таблиця В.3.12.

Значення інтенсивності і щільності людського потоку М1+М2
під час руху крізь дверний проріз
(90%М1+10%М2 (14-16 років))

№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}	№	D	V_{Dj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,8	59,8	12	3,4	115,5	23	5,9	122,6
2	0,9	69,5	13	3,7	136,6	24	5,7	141,1
3	1,0	73,1	14	4,0	128,2	25	5,8	114,4
4	1,6	81,9	15	3,4	108,8	26	5,8	119,1
5	1,6	84,0	16	3,5	113,3	27	6,4	138,1
6	1,6	95,7	17	3,2	130,9	28	6,0	129,9
7	2,4	95,9	18	4,7	116,6	29	6,2	135,4
8	2,1	110,9	19	4,9	143,6	30	6,6	107,1
9	2,2	99,9	20	4,7	129,0	31	7,4	102,2
10	2,5	104,5	21	4,5	124,5	32	8,0	101,2
11	2,4	113,9	22	4,0	137,7			

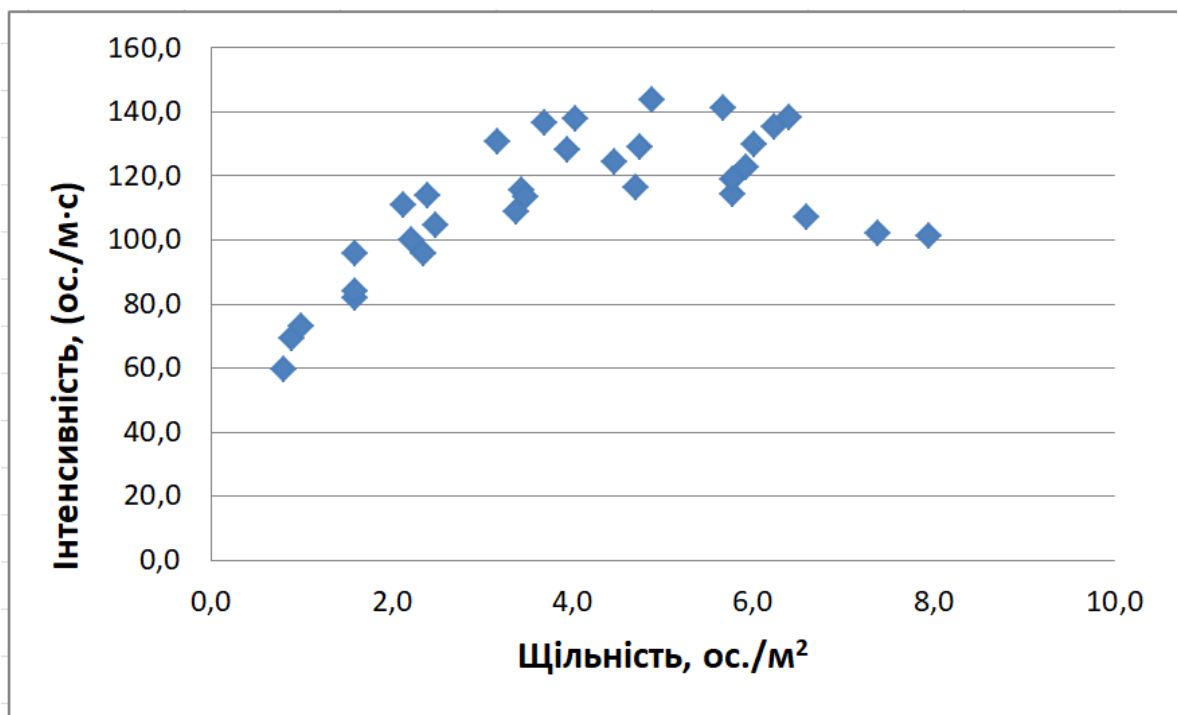


Рисунок В.3.12 – Параметри змішаного потоку 90%М1+10%М2 (14-16 років)
під час руху крізь дверний проріз