

Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної
інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра «Охорона праці та безпека життєдіяльності»

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітній рівень)

на тему:

Дослідження впливу категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною
небезпекою на рівень ризику працівників закладу вищої освіти

Виконала: студентка 2-го курсу,
групи М ОПР – 2024 1з
спеціальності 263 Цивільна безпека
_____ Русу А. С. _____

Керівник д.т.н., с.н.с. Ключка Ю.П.

Рецензент д.т.н., проф. Логвінков С.М.

Харків – 2026 рік

РЕФЕРАТ

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування комплексних заходів з покращення робочого середовища та підвищення безпеки обладнання випробувального центру університету на основі оцінювання вибухопожежних ризиків для працівників.

У першому розділі виконано аналіз стану охорони праці та цивільної безпеки в університетах, розглянуто нормативні вимоги до класифікації приміщень за вибухопожежною небезпекою, а також визначено основні небезпечні фактори пожежі, які безпосередньо впливають на рівень ризику для викладачів і студентів.

У другому розділі обґрунтовано комплексні заходи з покращення стану робочого середовища випробувального центру університету на основі санітарно-гігієнічних вимог. Також тут наведено технічний розрахунок категорій за національним стандартом для машзалу, столярної майстерні, комори та двох спеціалізованих лабораторій.

У третьому розділі розроблено практичні заходи з підвищення рівня безпеки обладнання та процесів при експлуатації важких випробувальних установок, силових пресів і верстатів.

У четвертому розділі досліджено практичні інженерно-технічні заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.

У п'ятому розділі висвітлено питання корпоративної соціальної відповідальності університету у сфері охорони праці та значення впровадження міжнародної інноваційної стратегії «Vision Zero» для формування високої культури нульового травматизму серед співробітників і здобувачів освіти.

Запропоновані комплексні інженерні та автоматизовані заходи захисту дозволяють суттєво знизити рівень індивідуального ризику.

Кваліфікаційна робота: 84 с., 5 розділів, 7 - таблиць, 18 - рисунків, 1 додаток, 35 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РИЗИК, КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ, ЛАБОРАТОРІЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ABSTRACT

The purpose of the qualification thesis is to substantiate comprehensive measures for improving the working environment and enhancing equipment safety at the university testing center based on the assessment of fire and explosion risks for employees.

The first chapter analyzes the state of occupational health and civil safety in universities, reviews the regulatory requirements for the classification of premises by explosion and fire hazard, and identifies the main hazardous fire factors that directly affect the risk level for teachers and students.

The second chapter substantiates comprehensive measures to improve the working environment of the university testing center based on sanitary and hygienic requirements. It also provides a technical calculation of categories according to the national standard for the machine hall, carpentry workshop, storeroom, and two specialized laboratories.

The third chapter develops practical measures to increase the safety level of equipment and processes during the operation of heavy testing units, power presses, and machine tools.

The fourth chapter investigates practical engineering and technical measures to ensure safety in emergency situations.

The fifth chapter highlights the issues of corporate social responsibility of the university in the field of occupational health and the importance of implementing the international innovative strategy "Vision Zero" to form a high culture of zero accidents among employees and higher education applicants.

The proposed comprehensive engineering and automated protection measures allow for a significant reduction in the level of individual risk.

Qualification thesis: 84 pages, 5 chapters, 7 tables, 18 figures, 1 appendix, 35 sources.

KEYWORDS: RISK, ROOM CATEGORIES, LABORATORY, VENTILATION, FIRE SAFETY, OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ	10
1.1 Аналіз впливу категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою на рівень ризику працівників закладу вищої освіти.....	10
1.2 Характеристика підприємства	13
1.3 Опис технологічних процесів в лабораторіях університету.....	16
1.3.1 Опис технологічних процесів в машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій	16
1.3.2 Опис технологічних процесів в геотехнічній лабораторії	20
1.3.3 Опис технологічних процесів в лабораторії інженерних мереж.....	23
1.3.4 Опис технологічних процесів в майстерні	25
1.3.5 Опис технологічних процесів в коморі.....	27
1.4 Аналіз ризиків на об'єкті дослідження	30
Висновки	32
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА	33
2.1 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочого середовища випробувального центру університету	33
2.2 Оцінювання надлишкового тиску вибуху для горючих газів, парів легкозаймистих та горючих рідин приміщень	35
2.3 Аналіз отриманих результатів	38
2.4 Запровадження заходів щодо покращення робочого середовища.....	41
Висновки	42
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ.....	45
3.1 Аналіз умов безпеки при експлуатації випробувальних установок та верстатного обладнання.....	45
3.2 Застосування імовірнісного підходу до оцінювання надлишкового тиску вибуху	46

3.3 Математичне моделювання та аналіз чутливості надлишкового тиску вибуху до зміни маси небезпечних речовин.....	47
3.4 Розробка технічних рішень щодо підвищення безпеки обладнання на основі стохастичного моделювання	56
Висновки	57
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	60
4.1 Обґрунтування заходів колективного захисту на основі результатів моделювання ризиків	60
4.2 Інженерно-технічні рішення для обмеження тиску вибуху та розрахунок вентиляції	61
4.3 Автоматизація систем протипожежного захисту.....	63
4.4 Організація безпечної евакуації людей з лабораторного корпусу	65
Висновки	68
РОЗДІЛ 5 СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ.....	70
5.1 Нормативно-правове та концептуальне обґрунтування соціальної відповідальності закладу вищої освіти	70
5.2 Соціально-економічне значення безпечних умов праці в лабораторних підрозділах	70
5.3 Організаційні заходи з підвищення рівня безпеки	71
5.4 Алгоритми колективного захисту та соціальний захист у надзвичайних ситуаціях.....	72
5.5 Підходи до підвищення культури безпеки праці та концепція «Vision Zero» в освітньому середовищі	73
5.6. Управління психосоціальними ризиками та формування ментальної стійкості колективу в умовах виробничих небезпек.....	75
Висновки	77
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	80
Додаток А	84

ВСТУП

Визначення категорій приміщень і будинків (або їх частин у межах протипожежних відсіків), зокрема лабораторного призначення, є одним із ключових елементів системи забезпечення пожежної та вибухопожежної безпеки об'єктів. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.1.1-36:2016, така класифікація здійснюється залежно від кількості та пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, що знаходяться у приміщеннях, з урахуванням особливостей технологічних процесів, об'ємно-планувальних рішень, а також наявності технічних засобів, спрямованих на запобігання виникненню аварійних ситуацій.

Оцінка вибухопожежної небезпеки об'єктів проводиться на основі комплексного аналізу пожежної небезпеки будівель і приміщень, характеру технологічних процесів та пожежонебезпечних властивостей речовин, які в них використовуються або зберігаються. Такий підхід дозволяє встановити можливі причини виникнення пожеж і вибухів, визначити умови їх розвитку та оцінити потенційні наслідки для життя і здоров'я людей, навколишнього середовища та матеріальних цінностей.

Методика аналізу вибухопожежної небезпеки передбачає виявлення та оцінку джерел запалювання, умов утворення горючого середовища, ймовірності контакту між джерелами займання та горючими речовинами, а також визначення закономірностей поширення вогню у разі виникнення пожежі або вибуху. Важливим аспектом є також оцінка масштабів можливих аварійних ситуацій та їх впливу на безпеку персоналу.

Класифікація об'єктів за вибухопожежною та пожежною небезпекою здійснюється з урахуванням допустимого рівня пожежного ризику. При цьому розрахунок критеріїв та показників оцінювання, зокрема ймовірності виникнення пожежі або вибуху, базується на врахуванні маси горючих та важкогорючих речовин, наявності вибухонебезпечних зон, що можуть утворюватися як у нормальних умовах експлуатації, так і в аварійних ситуаціях, а також можливих наслідків для людей і матеріальних ресурсів.

Визначення категорій приміщень є основою для встановлення нормативних вимог до конструктивних і об'ємно-планувальних рішень будівель, а також до інженерного обладнання та систем протипожежного захисту. Категорія приміщення використовується для обґрунтування рішень щодо розміщення приміщень, вибору ступеня вогнестійкості будівель, визначення граничних площ протипожежних відсіків, а також необхідності встановлення систем пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння та інших інженерних засобів захисту.

Відповідно до нормативних вимог, приміщення та будинки поділяються за вибухопожежною та пожежною небезпекою на категорії А, Б, В, Г та Д. Визначення категорії здійснюється для найбільш несприятливого періоду експлуатації, виходячи з виду, кількості та властивостей горючих речовин і матеріалів, що знаходяться у приміщенні, а також з урахуванням особливостей технологічних процесів.

Встановлення пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів здійснюється на основі результатів експериментальних досліджень або розрахунків за стандартними методиками з урахуванням параметрів їхнього стану (температури, тиску тощо).

Категорія приміщення є інтегральним показником рівня пожежної небезпеки та визначає комплекс заходів щодо забезпечення безпеки об'єкта. Вона безпосередньо впливає на вимоги до проєктування, будівництва та експлуатації будівель, включаючи організацію протипожежного захисту, технічне оснащення та підготовку персоналу.

Таким чином, правильне визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою дозволяє забезпечити ефективне управління ризиками, підвищити рівень безпеки працівників та досягти оптимального співвідношення між вимогами безпеки та економічними витратами на проєктування і експлуатацію об'єктів.

Робота була представлена на XIX Всеукраїнській науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти ХНУМГ ім. О. М. Бекетова «Сталий розвиток міст: поствоєнний період» в 2026 році.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ

1.1 Аналіз впливу категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою на рівень ризику працівників закладу вищої освіти

Забезпечення безпечних умов праці та навчання у закладах вищої освіти є одним із головних завдань держави та керівництва самих університетів. Сучасний університет – це не просто навчальні аудиторії, а великий комплекс, який включає наукові лабораторії, дослідні майстерні, склади, комори та інженерні споруди. У багатьох із цих приміщень проводять експерименти, використовують хімічні речовини, горючі гази та різноманітне електричне обладнання. Така різноманітність створює потенційну загрозу виникнення пожеж або вибухів, що безпосередньо впливає на безпеку людей [1, 2].

Основним інструментом, який дозволяє оцінити рівень цієї небезпеки та розробити захисні заходи, є категоризація приміщень. Процес визначення категорій регулюється національним стандартом ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [3]. Цей документ ділить усі приміщення на п'ять основних категорій від А до Д, де А – це найвища вибухопожежна небезпека, а Д – найнижча пожежна небезпека.

Категоризація приміщень безпосередньо впливає на рівень ризику для працівників та студентів. Під поняттям «ризик» у цивільній безпеці розуміють ймовірність виникнення небезпечної події та масштаб її негативних наслідків для життя і здоров'я людей. Якщо категорія приміщення визначена неправильно, то й заходи безпеки будуть або недостатніми, або надмірними. У першому випадку ми отримуємо пряму загрозу життю людей, а в другому – невиправдані фінансові витрати університету [3, 4-7].

Коли приміщення отримує певну категорію за ДСТУ Б В.1.1-36:2016, це автоматично запускає дію інших нормативних документів, які визначають правила безпечної експлуатації об'єкта. Головним серед таких документів є Правила

пожежної безпеки в Україні (ППБУ), які затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ. ППБУ встановлюють чіткі вимоги до утримання територій, будівель, евакуаційних шляхів, а також до експлуатації технічного обладнання залежно від його небезпеки [8].

Наприклад, якщо лабораторія чи комора за результатами розрахунків належить до категорій А, Б або В, до неї висувають дуже суворі вимоги. У таких приміщеннях обмежують використання відкритого вогню, встановлюють спеціальні вибухозахищені світильники та вимикачі, а також обмежують кількість одночасного зберігання матеріалів. Для категорій Г та Д вимоги є м'якшими, оскільки речовини, що там знаходяться, є негорючими або перебувають у холодному стані.

Також категорія приміщення сильно впливає на будівельні рішення, які прописані в Державних будівельних нормах, зокрема в ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Згідно з цим ДБН, залежно від категорії приміщення визначають тип протипожежних стін та дверей, які повинні стримувати вогонь у разі аварії. Якщо в університеті є комора з категорією В, вона обов'язково має бути відокремлена від навчальних коридорів протипожежними перегородками з високою межею вогнестійкості. Це необхідно для того, щоб дим і вогонь не змогли швидко поширитися на шляху евакуації студентів та викладачів.

Для аналізу ризиків працівників важливо розуміти, як саме небезпечні фактори пожежі впливають на організм людини. До таких факторів належать висока температура, токсичні продукти горіння, густий дим, який знижує видимість, та нестача кисню. У вибухонебезпечних приміщеннях (категорії А та Б) додається ще й фактор ударної хвилі та руйнування будівельних конструкцій. Рівень ризику для викладача або лаборанта залежить від того, скільки часу їм знадобиться для виходу в безпечну зону і наскільки швидко небезпечні фактори заповняють приміщення [9].

Сучасний підхід до управління безпекою вимагає впровадження ризик-орієнтованого підходу [10, 11]. Це означає, що ми оцінюємо не лише сам факт наявності небезпечної речовини, а й реальну ймовірність її спалаху чи вибуху. Наприклад, наявність кількох літрів бензину чи спирту в герметичних колбах у

великій лабораторії фізико-механічних досліджень створює значно менший ризик, ніж та ж сама кількість речовин у маленькій закритій коморі без вентиляції. Розрахунки за ДСТУ Б В.1.1-36:2016 допомагають точно визначити цей баланс, враховуючи площу, об'єм приміщення та швидкість руху повітря.

Окрім будівельних норм та правил пожежної безпеки, важливу роль відіграють Державні санітарні норми та правила. Вони регулюють параметри повітря робочої зони, вентиляцію та освітлення. У пожежонебезпечних приміщеннях вентиляція виконує подвійну функцію. З одного боку, вона створює комфортні умови для праці, а з іншого – видаляє легкогорючі пари чи пил, не дозволяючи їм досягти небезпечної концентрації, яка може призвести до вибуху.

Вплив категоризації на рівень ризику також проявляється через проектування систем автоматичного захисту. Відповідно до ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», приміщення з високим пожежним навантаженням (наприклад, категорії В) повинні обов'язково обладнуватися автоматичною пожежною сигналізацією, а в деяких випадках – і системами автоматичного пожежогасіння. Наявність таких систем знижує індивідуальний ризик для працівника майже до нуля, оскільки система виявляє загоряння на самому початку, запускає сповіщення про евакуацію та починає гасити вогонь ще до приїзду рятувальників.

Для навчальних закладів категоризування має ще одну особливість. Студенти, які приходять на лабораторні роботи, часто не мають достатнього досвіду роботи з небезпечним обладнанням чи хімікатами. Тому рівень ризику для них є вищим, ніж для досвідчених викладачів чи лаборантів. Правильне визначення категорії приміщення дозволяє керівництву закладу чітко встановити правила допуску студентів до роботи, розробити зрозумілі інструкції з охорони праці та визначити місця для безпечного розміщення первинних засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники [12-17].

Таким чином, можна сказати, що категоризація приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою є фундаментом, на якому будується вся система захисту працівників ЗВО. Вона об'єднує вимоги будівельних норм ДБН, практичні правила експлуатації ППБУ та сучасні методи розрахунку ризиків.

Завдяки детальному аналізу та правильним розрахункам категорій стає можливим створити таке середовище, де наукові дослідження та навчання будуть приносити користь суспільству без загрози для життя і здоров'я людей.

1.2 Характеристика підприємства

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова є одним із провідних закладів вищої освіти України, який здійснює підготовку фахівців для галузей будівництва, архітектури, міського господарства, інженерної інфраструктури, цивільної безпеки, енергетики та екології. Університет має багаторічний досвід освітньої та наукової діяльності, сучасну матеріально-технічну базу, а також розвинену систему науково-дослідних підрозділів, які забезпечують проведення фундаментальних і прикладних досліджень (рис. 1.1).

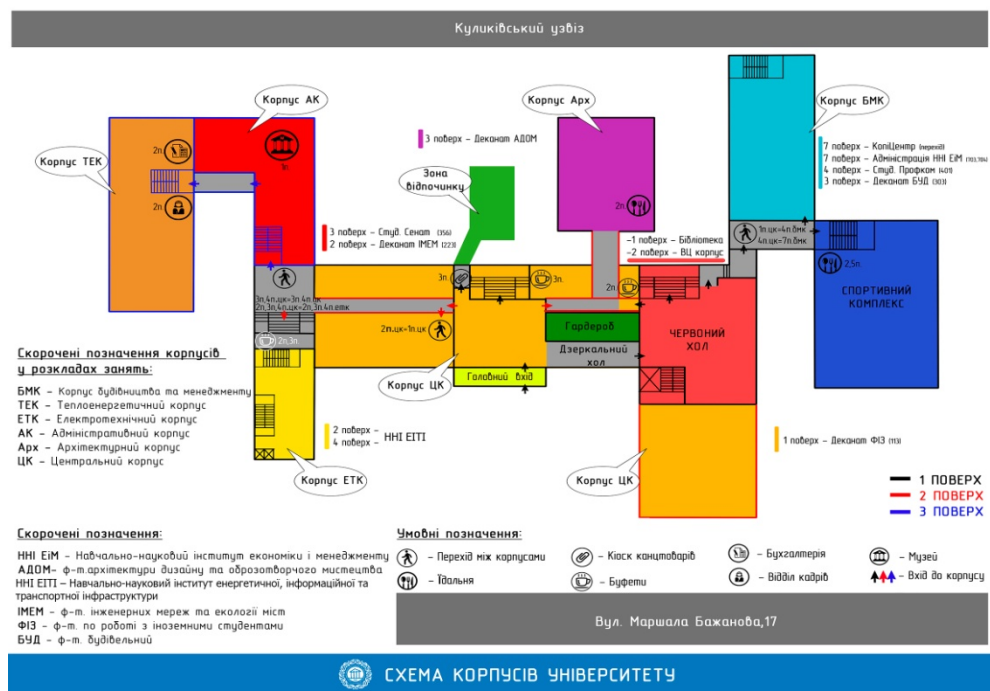


Рисунок 1.1 – Схема університету

Важливою складовою наукової інфраструктури університету є випробувальні та дослідницькі лабораторії, оснащені сучасним обладнанням для виконання експериментальних досліджень, випробувань будівельних матеріалів, конструкцій, інженерних систем та ґрунтів. Діяльність цих підрозділів спрямована

на забезпечення контролю якості будівельної продукції, дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів, оцінювання технічного стану інженерних систем та проведення наукових експериментів відповідно до чинних нормативних вимог.

Матеріально-технічна база випробувального центру включає спеціалізовані лабораторні приміщення, майстерні та допоміжні складські приміщення, в яких здійснюються технологічні процеси різного ступеня складності. Під час проведення досліджень використовується механічне, електромеханічне, гідравлічне, теплотехнічне та холодильне обладнання, що потребує дотримання відповідних вимог охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки.

Одним із ключових підрозділів випробувального центру є лабораторія фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій. У даній лабораторії проводяться випробування будівельних матеріалів та конструкцій на стиск, розтяг, морозостійкість та інші фізико-механічні показники. Для виконання досліджень застосовуються гідравлічні преси, розривні машини, морозильні установки та допоміжне електромеханічне обладнання. Робота лабораторії пов'язана з використанням електричної енергії, механічних навантажень та гідравлічних систем, що формує певний комплекс виробничих небезпек та факторів пожежного ризику.

Важливе місце у структурі випробувального центру займає геотехнічна лабораторія, де здійснюються дослідження фізичних та механічних властивостей ґрунтів. У лабораторії визначаються гранулометричний склад, природна вологість, щільність, стисливість, коефіцієнт фільтрації, модуль деформації, кут внутрішнього тертя та інші характеристики ґрунтових основ. Для проведення випробувань використовуються аналітичні ваги, сушильні шафи, муфельні печі та спеціалізоване механічне обладнання. Особливістю роботи лабораторії є відсутність значних кількостей легкозаймистих речовин та вибухонебезпечних технологічних процесів, однак наявність електрообладнання та горючих матеріалів вимагає належної оцінки пожежної небезпеки приміщення.

Лабораторія інженерних мереж призначена для дослідження елементів систем водопостачання, водовідведення, теплопостачання, вентиляції,

газопостачання та холодильного обладнання. Тут виконуються гідравлічні, пневматичні, теплотехнічні та електротехнічні дослідження різноманітних вузлів і механізмів інженерних систем. Під час проведення випробувань застосовуються насоси, компресори, електродвигуни, тепловізори, газоаналізатори, цифрові манометричні колектори та інше вимірювальне обладнання. Особливістю даної лабораторії є поєднання електротехнічних і теплотехнічних процесів із використанням різних видів інженерного обладнання, що необхідно враховувати під час оцінювання пожежної небезпеки приміщення.

Для забезпечення діяльності випробувального центру функціонує майстерня, у якій здійснюється виготовлення та підготовка зразків будівельних матеріалів до проведення лабораторних досліджень. Тут використовуються бетонозмішувачі, вібромайданчики, каменерізні та шліфувальні верстати, токарне обладнання, електроінструмент та інші технічні засоби. У майстерні також можуть виконуватися роботи з нанесення будівельних покриттів і проведення ремонтних операцій. Наявність механічного обладнання, електричних приводів та допоміжних матеріалів створює специфічні умови експлуатації приміщення та визначає необхідність проведення аналізу його пожежної безпеки.

Допоміжним структурним елементом випробувального центру є комора, призначена для зберігання обладнання, інструментів, будівельних матеріалів і витратних ресурсів. У приміщенні можуть зберігатися ручний електроінструмент, металеві форми для виготовлення зразків, гідравлічне обладнання, фарби, розчинники, індустриальні оливи та інші матеріали, які формують пожежне навантаження приміщення. Саме тому оцінка пожежної небезпеки комори є важливим етапом забезпечення безпечної експлуатації випробувального центру.

Таким чином, лабораторії та допоміжні приміщення випробувального центру університету характеризуються різноманітністю технологічних процесів, застосуванням сучасного дослідницького обладнання та використанням матеріалів із різними пожежонебезпечними властивостями. Для забезпечення належного рівня безпеки необхідно виконати оцінку пожежного навантаження кожного приміщення та визначити їх категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до вимог чинних нормативних документів. У наступних

розділах буде наведено детальну характеристику кожної лабораторії, аналіз технологічних процесів, а також виконано відповідні розрахунки для визначення категорій приміщень.

1.3 Опис технологічних процесів в лабораторіях університету

1.3.1 Опис технологічних процесів в машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій

Лабораторія фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій використовується для проведення експериментальних досліджень фізико-механічних характеристик будівельних матеріалів, виробів та конструкцій. У лабораторії виконуються випробування бетонних, металевих та інших будівельних зразків на міцність, стиск, розрив, морозостійкість та інші показники, необхідні для оцінки їх експлуатаційних властивостей і відповідності нормативним вимогам. План приміщення наведено на рис. 1.2.

У машзалі лабораторії розташоване спеціалізоване випробувальне обладнання, зокрема гідравлічні преси, розривні машини, морозильні установки та допоміжне електромеханічне обладнання. Технологічні процеси, що виконуються в лабораторії, пов'язані із механічним навантаженням досліджуваних зразків, використанням електричної енергії, роботою гідравлічних систем та холодильного обладнання.

В лабораторії проводяться ряд досліджень. Серед них випробування будівельних матеріалів на стиск. Спеціально виготовлені досліджувані зразки будівельних матеріалів (наприклад: куби $100 \times 100 \times 100$ мм) встановлюються на один із пресів. Оператор контролює за допомогою спеціального інструменту точність встановлення відносно вертикальної вісі натискного механізму пресу. Включає подачу живлення на прес. Гвинтовим механізмом виконує максимальне зближення стискаючих пластин, до торкання до досліджуваного зразка. Закриває дверцята захисного механізму, в разі їх наявності. Включає двигун приводу гідравлічного механізму стискання пресу.



Рисунок 1.2 – Гідравлічний прес для випробування будівельних матеріалів на тиск

Інтенсивність роботи механізму стискання регулюється оператором за допомогою спеціальної рукояті. Оператор спостерігає за зміною навантаження стискання досліджуваного зразку (за стрілкою силовимірника або на індикаторному табло). Також оператор візуально контролює стан досліджуваного бетонного куба. Після руйнування досліджуваного зразка, що характеризується різким падінням тиску у гідравлічній системі, оператор відключає привод механізму стискання пресу (на сучасних пресах це відбувається автоматично). Повернення механізму стискання у первісне положення відбувається поступово під дією власної ваги. Гвинтовим механізмом виконує розведення стискаючих пластин. Прес відключається від електроживлення. Оператор прибирає з нижньої стискаючої пластини залишки зруйнованого бетонного кубика.

Випробування матеріалів на розрив. Подається живлення на розривну машину. Виконується встановлення верхнього захоплювача у робоче положення (залежить від довжини випробуваного зразка). Спеціально виготовлені зразки (наприклад арматура довжиною 200-400 мм, або пластини завширшки 30-40 мм і довжиною 200-400 мм) встановлюють в спеціальний затискний механізм (губки)

розривної машини і надійно затискаються у верхньому і нижньому захоплювачах. Стрілку силовимірювача механічним способом встановлюють на нуль. Оператор вмикає привод гідравлічного механізму машини. За допомогою рукояті встановлює спочатку максимальну швидкість навантаження. Після збільшення навантаження до 50 відсотків від очікуваного навантаження руйнування, швидкість підвищення навантаження поступово зменшують до мінімальної. Також оператор візуально контролює стан досліджуваного зразка. Дослід припиняється, або після руйнування зразка, або після досягнення машиною максимально можливого значення навантаження на зразок. Після завершення дослідження вимикається привод гідравлічного механізму. Рухова траверса повертається в початкове положення під дією власної ваги. Відключається електроживлення розривної машини. Досліджуваний зразок або його залишки виймаються із затискного механізму машини.

Морозостійкість бетону. У відокремленому приміщенні (в ніші) розташовується спеціальна морозильна камера із баком-ресивером для дослідження здатності бетону опиратися впливу низьких температур. Установка живиться від одно та трифазної мережі і має сумарну потужність до 9 кВт. Випробуванні зразки бетону (куби розміром 100×100×100 мм) розміщуються в камері холодильної установки і камера зачиняється. Із бака-ресивера в камеру закачується вода. Куби насичуються певний час водою, потім вода відкачується. Включається холодильна установка і куби заморожуються до температури -18°C або -50°C (залежить від методики випробувань). Після витримування при такій температурі охолодження виключається, а куби розморожуються за допомогою води. Так виконується декілька десятків циклів заморожування і відтаювання. Після цього один із кубів піддається випробуванням на пресі і визначається зусилля при якому він руйнується при стисканні. Операції заморожування і відтавання продовжуються. Через ще певну кількість циклів випробуванню на пресі піддається наступний зразок. Так виконується шість циклів випробувань, що дозволяє оцінити наскільки вплив низьких температур впливає на міцність бетонних кубиків.

В лабораторії також розташовується гідростанція ножичного підйомника, який знаходиться у окремому приміщенні. Насос гідростанції живиться від 3-фазного електродвигуна потужністю до 4000 Вт. Зальна площа лабораторії складає 208, 4 м. кв.

Основні матеріали, котрі можуть впливати на категорію приміщення наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики легкозаймистих та горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій [29]

№ з/п	Назва матеріалу	Маса, кг	Q, кДЖ/кг
1	Деревина	15	12 400
2	Пластмаса(труби)	100	45 000
3	Бензин	3	44 000
4	Масло технічне	10	42 600
5	Стенди(ПВХ), картон	20	20 000
6	Папір	10	16 620

1.3.2 Опис технологічних процесів в геотехнічній лабораторії

В геотехнічній лабораторії проводяться ряд досліджень. Серед них: визначення гранулометричного складу ґрунтів, природної вологості, межі текучості та межі пластичності, щільності, коефіцієнта фільтрації, стисливості, модуля деформації, питомого зчеплення та кута внутрішнього тертя ґрунтів. Дослідження виконуються відповідно до вимог нормативно-технічної документації із застосуванням механічного та електричного лабораторного обладнання.

У процесі виконання досліджень можливе короткочасне використання допоміжних матеріалів, а саме паперу, поліетиленових пакетів, пластикових та металевих ємностей для зберігання і транспортування проб ґрунту. Горючі та легкозаймисті рідини у технологічному процесі практично не застосовуються або використовуються у незначних кількостях виключно для очищення окремих поверхонь та обладнання.

В лабораторії відсутні технологічні процеси, пов'язані з виділенням горючого пилу, волокон, вибухонебезпечних газів або парів легкозаймистих рідин у кількостях, здатних утворювати вибухонебезпечні концентрації. Основне пожежне навантаження приміщення формують меблі, документація, зразки ґрунту в упаковці, електричне обладнання та ізоляція електропроводки. Фото приміщення та обладнання наведено на рис. 1.3 та рис. 1.4.

Дослідження механічних властивостей ґрунту (опір зрізу, кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення, коефіцієнт стисливості, модуль деформації тощо) визначаються на випробувальному обладнанні, яке має механічний привід, то б то не використовує ніякого виду енергії. Певна кількість ґрунту (від декількох десятків грамів до декількох сотень грамів) поміщається у робочу зону випробувальної установки, піддається механічному навантаженню (стисканню, різанню тощо) результати випробувань фіксуються вимірювальним інструментом (індикатори годинникового типу, штангенциркулі, лінійки тощо).

Проби ґрунту відбираються в місці майбутнього будівництва і передаються в лабораторію для подальших досліджень. Кількість ґрунту в одній пробі визначається нормативно-технічною документацією на методи досліджень і технічним завданням на виконання робіт.

При визначенні фізичних властивостей ґрунтів застосовуються такі лабораторні прилади як аналітичні ваги, штангенциркулі, шафа сушильна, балансирний конус, секундомір, сита. Із зазначених приладів ваги і шафа сушильна мають електричне живлення. Ваги живляться від однофазної мережі і споживають дуже малий струм (до 1 А). Шафа сушильна також живиться від однофазної мережі і має потужність 1-1,5 кВт. Вона використовується для сушіння ґрунту перед його випробуванням з метою позбавитися від зайвої вологи.



Рисунок 1.4 – Установка для випробування бетону на водонепроникність

Для визначення вмісту в ґрунті органічних речовин застосовується муфельна піч, яка живиться від однофазної мережі і має потужність 2,5-3 кВт. Досліджуваний

грунт поміщається в муфельну піч і витримується там при температурі 550 градусів. Після завершення необхідного часу витримки ємкість з ґрунтом витягується з печі, охолоджується природнім способом і далі піддається вивченню сухий залишок ґрунту.

При обробці проби ґрунту, в них буде виділятися водяна пара (у кількості декілька десятків грам на кілограм ґрунту) Водяна пара видаляється через витяжний пристрій і відводиться назовні лабораторії. Загальна площа лабораторії 42,1 м. кв

Основні матеріали, котрі можуть впливати на категорію приміщення наведені в табл. 1.2

Таблиця 1.2 – Характеристики легкозаймистих та горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в геотехнічній лабораторії [29]

№ з/п	Назва матеріалу	Маса, кг	Q, кДЖ/кг
1	Деревина	1	12 400
2	Пластмаса (труби)	30	45 000
3	Бензин	0,4	44 000
4	Масло технічне	2	42 600
5	Стенди (ПВХ), картон	6	20 000
6	Папір	8	16 620

1.3.3 Опис технологічних процесів в лабораторії інженерних мереж

В лабораторії інженерних мереж проводяться дослідження різноманітних складових (механізмів, вузлів, деталей, комплектуючих) систем водопостачання, водовідведення, теплопостачання, вентиляції, газопостачання.

Гідравлічні дослідження пов'язані зі створенням насосної станції із необхідними характеристиками (тиск, подача тощо) із наявного, або наданого замовником обладнання (електродвигун, гідронасос трубопроводи, фільтри, прилади обліку та контролю тощо). Станція підключається до водогону. Дослідження проводяться шляхом короткочасного (від декількох секунд до 2 хв)

включення насосу, створення потоку води, знімання показників вимірювальних приладів і зливання потоку води або безпосередньо в каналізацію або в спеціально призначений для цього приямок, для тимчасового накопичення там води.

Аналогічним чином виконуються пневматичні дослідження елементів систем газопостачання.

Малогабаритні електричні прилади теплогенерації досліджуються в лабораторії. Для цього вони підключаються до електромережі, вмикаються і за допомогою ручних приладів (контактних і безконтактних термометрів, тепловізорів, термодатчиків тощо) виконують дослідження ефективності їх роботи на різноманітних режимах експлуатації.

Великогабаритні прилади теплогенерації (котли), прилади теплопередачі (трубопроводи) контролю процесу теплогенерації і теплопередачі (лічильники, термодатчики тощо) досліджуються безпосередньо на місці їх встановлення за допомогою ручних переносних вимірювальних приладів (газоаналізатори, контактні і безконтактні термометри, тепловізори тощо).

При дослідженні в лабораторії електротехнічних характеристик обладнання, що знаходить застосування в усіх згаданих системах (в першу чергу це електродвигуни, насоси, компресори) це обладнання підключається до відповідної електромережі і проводяться вимірювання його електричних характеристик за допомогою універсальних струмовимірювальних клещів-мультиметру.

Також холодильні системи та трубопроводи різноманітного призначення можуть досліджуватися за межами лабораторії, то б то безпосередньо на місці їх розташування і експлуатації. Загальна площа лабораторії інженерних мереж складає 34,7 м.кв.

Основні матеріали, котрі можуть впливати на категорію приміщення наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики легкозаймистих та горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в лабораторії інженерних мереж [29]

№ з/п	Назва матеріалу	Маса, кг	Q, кДЖ/кг
1	Деревина	2	12 400
2	Пластмаса(труби)	20	45 000
3	Бензин	0,4	44 000
4	Масло технічне	3	42 600
5	Стенди(ПВХ), картон	5	20 000
6	Папір	3	16 620

1.3.4 Опис технологічних процесів в майстерні

В майстері відбувається виготовлення досліджуваних зразків будівельних матеріалів і виробів, підготовка зразків отриманих від замовника до подальших випробувань і досліджень в інших лабораторіях центру (рис. 1.5).

Для виготовлення досліджуваних зразків з бетону, цементу, будівельних сумішей тощо (кубів, призм, балочок тощо) в майстерні застосовуються змішувач для бетону (3 фази, 650 Вт) змішувач для будівельних розчинів (1 фаза, 735 Вт), металевими розбірними формами, вібромайданчиком СМЖ 539 (3 фази, 250 Вт), ручним інструментом. Розчин з необхідною рецептурою замішується у відповідному змішувачі. Розкладається по необхідних формах. Форми розміщуються на робочій поверхні вібромайданчика і піддаються вібрації протягом декількох десятків секунд для ущільнення розчину. Потім форма із розчином залишається до повного висихання останнього і утворення досліджуваного зразка і з необхідними характеристиками. Дозування інгредієнтів розчину в змішувач, наповнення форм і розбирання їх після висихання розчину відбувається вручну за допомогою відповідного інструменту.



Рисунок 1.5 – Автоматичний програмований розчинозмішувач

Для підготовки зразків отриманих від замовника до проведення випробувань відбувається їх обрізання (вирівнювання торців кернів), або шліфування металевих зразків. Обрізання здійснюється на спеціальному каменерізному верстаті (3 фази, 4000Вт). Шліфування здійснюється або ручним інструментом – шліфувальною машиною (1 фаза, 600 Вт) або на шліфувальному верстаті (3 фази, 550 Вт).

Інші роботи із будівельними виробами виконуються за допомогою переносного ручного інструменту (електродриль, перфоратор, кутова шліфмашина тощо, які живляться від 1-фазної мережі і мають потужність до 1000 Вт).

В майстерні можуть проводитися роботи з нанесення різноманітних покриттів на поверхні (будівельні суміші, фарби тощо) з метою дослідження процесів нанесенні, висихання і властивостей сформованого покриття. Роботи можуть бути пов'язані із виділенням неприємного запаху, через це вони виконуються в спеціальному боксі (2000×2200 мм), змонтованому в приміщенні майстерні, бокс має власну витяжку, що забезпечує нерозповсюдження можливих випарів із неприємним запахом на весь об'єм майстерні і інші приміщення. Враховуючи незначну площу поверхонь, що досліджуються (до 0,02 м²), а відповідно і вкрай незначну кількість речовин, що випаровуються, можливість утворення вибухо- та пожежонебезпечної концентрації таких речовин виключена.

Майстерня також застосовується для виконання ремонтних робіт із обладнанням інших лабораторій. Для цього в майстерні передбачена наявність настільного свердлильного верстату (1 фаза, 1500 Вт), токарно гвинторізного верстату (3 фази, 4000 Вт), і ручний інструмент.

В приміщенні майстерні також розташовується гідростанція консольного підйомника, який знаходиться назовні і використовується для подачі матеріалів в майстерню з двору Університету. Насос гідростанції живиться від 3-фазного електродвигуна потужністю до 3000 Вт. Площа майстерні складає 45,5 м. кв.

Основні матеріали, котрі можуть впливати на категорію приміщення наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Характеристики легкозаймистих та горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в майстерні [29]

№ з/п	Назва матеріалу	Маса, кг	Q, кДЖ/кг
1	Деревина	2	12 400
2	Пластмаса(труби)	11	45 000
3	Бензин	0,6	44 000
4	Масло технічне	2	42 600
5	Стенди(ПВХ), картон	4	20 000
6	Папір	3	16 620

1.3.5 Опис технологічних процесів в коморі

В коморі використовуються для тривалого зберігання обладнання, матеріалів та інструментів випробувального центру. На стелажах розміщуються: ручний електричний інструмент (електродриль, перфоратор, фен будівельний тощо), металеві форми для виготовлення бетонних та цементних зразків для дослідження, механічний інструмент (штангенциркулі, лінійки, молотки, свердла та бури та інші види слюсарного інструменту). На підлозі стоїть допоміжне обладнання: пересувна оливна станція (гідронасос з електродвигуном, гідророзподільник, бак із робочою

рідиною (8-12 літрів індустріальної оливи), шланги для підключення до іншого обладнання); мийка високого тиску; гідравлічні домкрати великої вантажопідйомності (заповнені робочою рідиною (індустріальна олива)); керновідбірник (мобільна бурова установка із електроприводом). План приміщення наведено на рис. 1.6.

Може також зберігатися певний запас (до 100 кг) будівельних матеріалів (будівельні суміші, цемент, фарби, розчинники тощо) у «заводському» пакуванні. Загальна площа комори – 16,8 м. кв..

Основні матеріали, котрі можуть впливати на категорію приміщення наведені в табл. 1.5

Таблиця 1.5 – Характеристики легкозаймистих та горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в коморі

№ з/п	Назва матеріалу	Маса, кг	Q, кДЖ/кг
1	Деревина	2	12 400
2	Пластмаса(труби)	10	45 000
3	Бензин	0,2	44 000
4	Індустріальна олива	4	42 500
5	Стенди(ПВХ), картон	3	20 000
6	Папір	1	16 620
7	Фарба(емаль)	3	24 500
8	Розчинник (етиловий спирт)	0,1	29 000

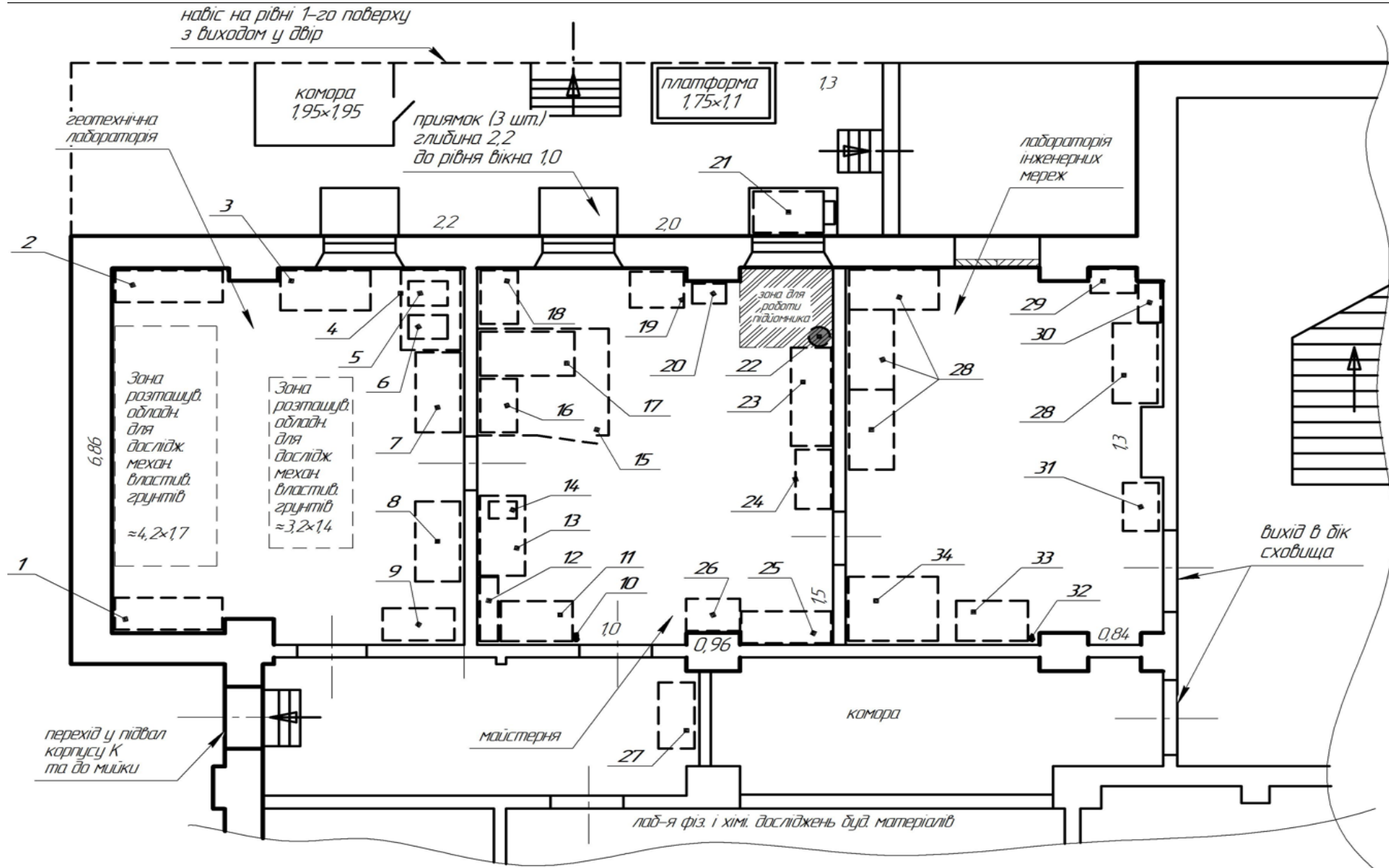


Рисунок 1.6 - План приміщення в геотехнічній лабораторії, лабораторії інженерних мереж, комори

1.4 Аналіз ризиків на об'єкті дослідження

Для забезпечення безпеки працівників та студентів у випробувальному центрі університету необхідно провести повний аналіз усіх можливих небезпек. Оцінювання ризиків з позиції охорони праці дозволяє вчасно виявити загрози на кожному робочому місці, розробити правильні інструкції та впровадити надійні технічні заходи захисту. Специфіка досліджуваних приміщень пов'язана з одночасною дією багатьох небезпечних чинників.

На об'єкті дослідження можна виділити наступні основні ризики для життя та здоров'я людей.

Першим і дуже поширеним є ризик ураження електричним струмом. Оскільки в лабораторіях інженерних мереж та машзалі працює велика кількість силового обладнання, гідравлічних пресів, випробувальних стендів та сушильних шаф, будь-яке пошкодження ізоляції проводів або відсутність надійного заземлення становить смертельну загрозу для лаборанта чи викладача.

Другим важливим чинником є ризик отримання механічних травм. Цей ризик є найбільшим у приміщенні майстерні та машзалу, де експлуатуються рухомі деталі верстатів, преси, ріжучі інструменти та важкі випробувальні зразки будівельних матеріалів. Необережність під час роботи або відсутність захисних кожухів може призвести до серйозних порізів чи защемлень.

Третім є ризик впливу шкідливого пилу на органи дихання. У столярній майстерні під час обробки деревини та у геотехнічній лабораторії при дослідженні ґрунтів і цементу у повітря робочої зони постійно виділяється дрібнодисперсний пил. Постійне вдихання такого пилу за відсутності ефективної витяжної вентиляції викликає професійні захворювання легень та подразнення слизових оболонок працівників.

Четвертим чинником є ризик отримання термічних опіків. Він виникає при роботі з муфельними печами, нагрівальними приладами та під час проведення дослідів із гарячими рідинами чи бітумними сумішами.

П'ятим і найбільш масштабним за своїми наслідками є ризик виникнення пожежі або вибуху. Наявність у коморі та лабораторіях легкозаймистих рідин, таких як бензин чи розчинники, а також використання горючих хладагентів у системах інженерних мереж створює постійну загрозу виникнення пожежонебезпечних ситуацій. У разі витоку цих речовин і появи випадкової іскри може відбутися миттєвий спалах, який загрожує життю багатьох людей.

Якщо розглядати пожежні та вибухові ризики більш детально, то їхній рівень безпосередньо залежить від встановленої категорії приміщення [3]. Категорія небезпеки за національним стандартом є головним інструментом, який визначає, наскільки захищеною має бути кімната. Вона вказує керівництву університету на те, який руйнівний потенціал має приміщення у разі аварії та які системи колективного захисту там необхідно змонтувати в першу чергу.

Коли приміщення розглядається через класичний підхід охорони праці, його категорію визначають на основі постійної маси речовин. Проте у реальному житті під час проведення лабораторних занять чи наукових експериментів кількість палива, бензину чи хімічних реагентів постійно змінюється. Це створює приховану загрозу, оскільки за звичайними розрахунками об'єкт може вважатися безпечним, а при випадковому збільшенні маси палива він миттєво переходить у небезпечний стан.

Найважливішим фізичним показником, який визначає категорію і безпосередньо загрожує людині, є надлишковий тиск вибуху. Якщо в обмеженому просторі машзалу чи майстерні утворюється суміш парів палива з повітрям, то при появі джерела запалювання відбувається вибухове горіння. При цьому тиск у кімнаті стрімко зростає за лічені частки секунди.

Нормативна межа у 5 кілопаскалів відділяє пожежонебезпечні приміщення від вибухонебезпечних. Якщо хвиля тиску під час аварії перевищує цю цифру, наслідки для персоналу будуть катастрофічними. Для організму людини такий ударний тиск є причиною важких баротравм, пошкодження внутрішніх органів та повної втрати слуху. Крім того, такий тиск легко вибиває капітальні двері та руйнує внутрішні перегородки будівлі,

через що уламки стін можуть завалити людей та повністю заблокувати коридори для втечі.

Саме тому безпека праці вважається повністю гарантованою лише тоді, коли розрахунковий час для повної евакуації людей з навчального корпусу є значно меншим, ніж час блокування шляхів евакуації димом та отруйними газами. Глибокий аналіз категорій приміщень та розрахунок тиску вибуху дозволяє адміністрації закладу вищої освіти відмовитися від формального підходу до безпеки. Це допомагає розробити ефективні інженерні заходи, встановити правильну вентиляцію, налаштувати автоматичні системи вимкнення обладнання та надійно захистити життя і здоров'я колективу під час роботи.

Висновки

У розділі проведено детальний теоретичний та аналітичний огляд чинної нормативно-правової бази у сфері цивільної безпеки. Особливу увагу приділено методології ДСТУ Б В.1.1-36:2016, яка регламентує порядок та критерії класифікації приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Визначено комплекс небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що безпосередньо впливають на формування пожежного ризику для співробітників університету

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочого середовища випробувального центру університету

Робочі місця викладачів, науковців, лаборантів та студентів під час проведення експериментів піддаються одночасному впливу комплексу шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Своєчасний аналіз цих факторів та розробка конкретних інженерно-технічних рішень є основою для зниження рівнів професійних ризиків і забезпечення повної безпеки колективу.

Одним із головних чинників, який визначає стан робочого середовища в лабораторіях та майстернях, є стан повітряного простору та параметри мікроклімату. Під час проведення випробувань будівельних конструкцій, дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів і цементних сумішей у повітря робочої зони виділяється велика кількість пилу. Також експлуатація кліматичних камер та проведення хімічних аналізів супроводжуються утворенням надлишкового тепла, водяної пари та випарів шкідливих хімічних речовин, зокрема парів палива, мастил та горючих хладагентів.

Для нейтралізації цих забруднень та підтримки нормативного складу повітря у випробувальному центрі обов'язково передбачається модернізація систем загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції. Інженерні рішення у цій сфері мають забезпечувати необхідну кратність повітрообміну, яка розраховується з умов асиміляції шкідливих виділень та теплонадлишків. Крім загальнообмінної вентиляції, на найбільш небезпечних ділянках, таких як зони обробки деревини в майстерні та місця роботи з легкозаймистими рідинами в машзалі, необхідно впроваджувати локальні витяжні бокси та бортові відсмоктувачі. Це дозволить вловлювати шкідливі домішки безпосередньо у місцях їхнього утворення та запобігатиме їхньому поширенню по всій площі навчального корпусу.

Окрему увагу в межах оздоровлення умов праці слід приділити забезпеченню нормативного рівня освітленості на робочих місцях. Специфіка лабораторних досліджень вимагає від персоналу високої точності зорових операцій, оскільки зважування точних наважок матеріалів, зчитування показників з аналітичних приладів та фіксація появи перших мікротріщин у зразках бетону потребують значного напруження зору. Незадовільне природне або штучне освітлення викликає швидку втому зорових органів, призводить до загального зниження працездатності, викликає головний біль та суттєво підвищує ризик виникнення помилок під час фіксації наукових результатів або отримання виробничих травм.

Інженерно-технічні рекомендації щодо освітлення випробувального центру базуються на комбінованому використанні природного світла та сучасних штучних джерел. Проектування штучного освітлення передбачає заміну застарілих ламп розжарювання та люмінесцентних світильників на сучасні енергоефективні світлодіодні панелі. Вони забезпечують рівномірний світловий потік, мають високу передачу кольору і повністю виключають шкідливий ефект пульсації світла, який негативно діє на нервову систему людини. Світильники мають розташовуватися з урахуванням конфігурації обладнання, щоб запобігти появі різких тіней та засліплюючої дії на робочих поверхнях лабораторних столів та верстатів.

Не менш важливим завданням для покращення стану робочого середовища у випробувальному центрі є впровадження ефективних шумо- та віброзахисних заходів. Основними джерелами підвищеного рівня звукового тиску та механічних коливань на об'єкті дослідження є важкі гідравлічні преси, розривні машини, вібромайданчики для ущільнення сумішей, силові приводи підйомників, а також компресорні установки холодильного обладнання. Тривалий вплив підвищеного шуму та вібрації на організм людини викликає професійні захворювання, призводить до порушення роботи серцево-судинної та нервової систем, знижує концентрацію уваги та прискорює стомлюваність персоналу під час робочої зміни.

Для зниження рівнів шуму та вібрації до безпечних значень необхідно впроваджувати комплекс інженерних заходів колективного захисту. Віброрейки, преси та інші установки з динамічними навантаженнями мають встановлюватися на спеціальні ізолюючі фундаменти або монтуватися з використанням гумових чи пружинних віброізоляторів, які гасять коливання і заважають їм поширюватися по будівельних конструкціях корпусу. Для боротьби з повітряним шумом стіни та стелі машзалу й майстерні необхідно оздоблювати спеціальними перфорованими звукопоглинальними панелями. Найбільш шумні агрегати та компресори доцільно виносити за межі основних робочих зон у закриті ізольовані бокси чи допоміжні приміщення.

Таким чином, розробка та впровадження комплексних санітарно-гігієнічних заходів дозволяє повністю усунути або мінімізувати вплив шкідливих виробничих факторів у випробувальному центрі університету. Проектування надійної вентиляції, розрахунок оптимального освітлення та впровадження засобів глушення шуму створюють комфортні й безпечні умови праці, що позитивно впливає на здоров'я працівників і якість освітнього процесу.

При цьому аналіз вибухопожежної небезпеки та розрахунок категорій приміщень, які наведені далі у цьому розділі, є логічним продовженням роботи з покращення робочого середовища. Це дозволяє пов'язати параметри санітарних систем, таких як вентиляція, з вимогами протипожежної безпеки об'єкта.

2.2 Оцінювання надлишкового тиску вибуху для горючих газів, парів легкозаймистих та горючих рідин приміщень

Надлишковий тиск вибуху A_P у кілопаскалях для індивідуальних горючих речовин, які складаються з молекул, до складу яких входять атоми С, Н, О, М, Cl, Br, I, Б, обчислюють за формулою [3]:

$$\Delta P = (P_{max} - P_o) \times \frac{m \times Z}{V_{вільн} \rho_{Г,П}} \times \frac{100}{C_{ст}} \times \frac{1}{K_H} \quad (2.1)$$

$$\Delta P = (900 - 101,3) \times \frac{3 \times 0,3}{666,88 \times 4,08} \times \frac{100}{1,84} \times \frac{1}{3} = 4,8 \text{ кПа}$$

де P_{max} - максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі, який визначають дослідним шляхом або приймають за довідниковими даними згідно з вимогами 5.3. У разі відсутності таких даних дозволено приймати P_{max} таким, що дорівнює 900 кПа;

P_o - атмосферний тиск, кПа (дозволено приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

m - маса ГГ //або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до об'єму приміщення, кг;

Z - коефіцієнт участі ГГ /або парів ЛЗР та ГР у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення.

$V_{вільн}$ - вільний об'єм приміщення, м³;

$\rho_{Г,П}$ - густина ГГ або парів ЛЗР та ГР за розрахункової температури t_p , кг $\times$ м³, що визначають за формулою [3]:

$$\rho_{Г,П} = \frac{M}{V_o \times (1 + 0,00367 t_p)} \quad (2.2)$$

$$\rho_{Г,П} = \frac{100}{22,413 \times (1 + 0,00367 \times 25)} = 4,08$$

M - молярна маса, кг $\times$ кмоль⁻¹;

V_o - мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м³ $\times$ моль⁻¹;

t_p - розрахункова температура, °C;

$C_{ст}$ - стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.),

що визначають за формулою [3]:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \times \beta} \quad (2.3)$$

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \times 11} = 1,84 \%$$

де $\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 7 + \frac{16 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 11$ - стехіометричний

коефіцієнт кисню в реакції горіння (під час розрахунку β атоми азоту не враховують);

n_c, n_o, n_n, n_x - число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ЛЗР та ГР;

K_n - коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння. Дозволено приймати K_n , що дорівнює 3.

Таким чином встановлено, що збитковий тиск у разі вибуху становить 4,08 кПа, що менше ніж 5 кПа для категорії А.

Для цього проведемо розрахунок пожежного навантаження використавши дані з табл.1.1. Зведені результати наведені в таблиці 2.1.

Таким чином встановлено, що при згоранні всіх матеріалів в машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій теоретично виділиться 5810200 кДж, або ж 5810 МДж. Враховуючи, що площа приміщення складає 208 кв.м, то кількість тепла на одиницю площі складе $5810/208 = 28$ МДж/м². Дане значення не можна використовувати для порівняння з граничним значенням 180 МДж для категорії В, але воно є орієнтиром, та вказує, що загальна пожежна навантага майже в 6 разів нижча ніж допустиму. Подальші дослідження були зосереджені на визначенні найбільшого пожежного навантаження на площі 10 м², та було встановлено, що вона не перевищує 42,6 МДж/м². Таким чином можна стверджувати, що приміщення не відноситься до категорії В, а його слід віднести до категорії Д.

Таблиця 2.1 – Характеристики легкозаймистих та горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій

№ з/п	Назва матеріалу	Маса, кг	Q, кДЖ/кг	A, кДЖ/кг
1	Деревина	15	12 400	186 000
2	Пластмаса(труби)	100	45 000	4 500 000
3	Бензин	3	44 000	132 000
4	Масло технічне	10	42 600	426 000
5	Стенди(ПВХ), картон	20	20 000	400 000
6	Папір	10	16 620	166 200
ВСЬОГО				5 810 200

Для інших приміщень за аналогічним алгоритмом було проведено розрахунок категорії приміщення та встановлена категорія Д.

2.3 Аналіз отриманих результатів

Для узагальнення та систематизації результатів детермінованих обчислень, що були виконані на основі методології ДСТУ Б В.1.1-36:2016, було сформовано підсумкову відомість об'єктів дослідження випробувального центру. Зведені показники надлишкового тиску вибуху, питомого пожежного навантаження та відповідні їм категорії безпеки представлені у таблиці 2.2.

Аналіз отриманих детермінованих даних дозволяє констатувати, що за класичним інженерним підходом жодне з приміщень випробувального центру університету не належить до категорій високого ризику.

Таблиця 2.2 – Зведені результати оцінки вибухопожежної небезпеки досліджуваних приміщень

Приміщення	Збитковий тиск вибуху (ΔP), кПа	Пожежне навантаження на 1м^2 , МДж/ 2	Пожежне навантаження на 10м^2 , МДж/ 2	Категорія за ДСТУ В.1.1-36:2016 Б
Машзала в лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій	4, 8	28, 0	42,6	Д (невибухопожежна)
Геотехнічна лабораторія	3, 4	41,0	56	Д (невибухопожежна)
Лабораторія інженерних мереж	4, 1	39,0	64,4	Д (невибухопожежна)
Майстерня	4,7	22,0	35	Д (невибухопожежна)
Комора	4, 2	42,0	61	Д (невибухопожежна)

Розрахунок критерію вибухопожежної небезпеки показав, що для всіх п'яти об'єктів значення надлишкового тиску вибуху у разі гіпотетичної аварії не перевищує нормативний поріг 5 кПа. Найвищі показники зафіксовано у машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень (4,8 кПа) та у приміщенні майстерні (4,7 кПа). Відповідно до вимог нормативного стандарту, це дозволяє

формально виключити дані об'єкти з переліку вибухонебезпечних категорій А та Б.

Дослідження інтегрального теплового потенціалу горючих матеріалів показало, що загальне та локальне пожежне навантаження в усіх приміщеннях є відносно низьким. Показники питомої кількості тепла на одиницю площі коливаються в межах від 22 до 42 МДж/м², що значно менше за граничний нормативний критерій 180 МДж/м², встановлений для пожежонебезпечної категорії В. Максимальне значення локального пожежного навантаження на площі 10 м² зафіксовано в лабораторії інженерних мереж 64,4 МДж/м², проте воно також повністю вкладається у безпечні межі.

Зведені дані наведені на рис. 2.1.

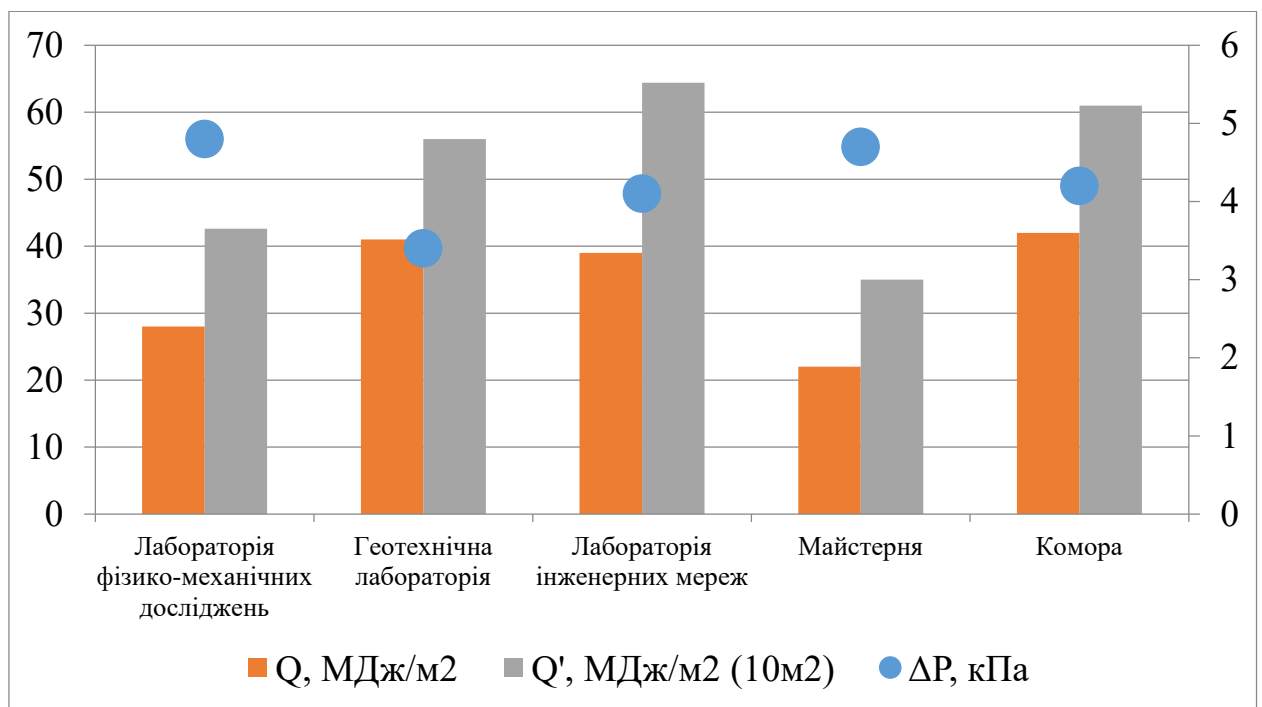


Рисунок 2.1 - Графічне представлення результатів розрахунку пожежного навантаження та надлишкового тиску вибуху

2.4 Запровадження заходів щодо покращення робочого середовища

Виконані розрахунки надлишкового тиску вибуху та інтегрального теплового потенціалу горючих матеріалів дозволили встановити точні категорії небезпеки для всіх об'єктів випробувального центру університету. Визначені показники пожежного навантаження та ризику формування вибухонебезпечних пароповітряних сумішей є тією базою, на якій мають розроблятися конкретні практичні заходи щодо покращення умов праці. Оздоровлення робочого середовища у кожній лабораторії має чітко відповідати її розрахованому профілю небезпеки, що дозволяє уникнути недостатності або надмірності технічних засобів захисту.

Для приміщень машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень та столярної майстерні, де детермінований тиск вибуху наблизився до критичної межі, першочерговим інженерним рішенням є модернізація аварійної та місцевої витяжної вентиляції. Оскільки ці об'єкти характеризуються наявністю технічних мастил, бензину та утворенням горючого деревного пилу, вентиляційні системи мають працювати у посиленому режимі. Продуктивність загальнообмінної вентиляції у машзалі має забезпечувати швидке видалення шкідливих випарів безпосередньо з зони дихання лаборантів, а у майстерні необхідно встановити локальні пиловловлюючі відсмоктувачі біля кожного верстата. Це не лише покращить санітарний стан повітря, а й фізично не дозволить концентрації речовин досягти небезпечного вибухового рівня.

З урахуванням розрахованих категорій також розробляються рекомендації щодо покращення систем штучного освітлення. У лабораторіях, де проводяться точні вимірювання, таких як геотехнічна та лабораторія інженерних мереж, рівень освітленості робочих поверхонь має бути максимально високим і рівномірним. Для цього пропонується повна заміна старих світильників на сучасні світлодіодні панелі із захистом від пилу та вологи. Встановлення таких приладів покращує зоровий комфорт працівників,

знижує втому очей під час тривалої роботи з приладами та повністю усуває ефект миготіння, що суттєво зменшує загальну втому персоналу та ризик виникнення помилок.

Питання захисту від підвищеного шуму та вібрації також вирішуються на основі аналізу розміщення обладнання у приміщеннях з різним навантаженням. Для машзалу та майстерні, де працюють важкі преси, розривні машини та системи приводу підйомників, головним заходом є встановлення агрегатів на індивідуальні віброізолюючі опори. Це заважає поширенню механічних коливань по залізобетонних конструкціях навчального корпусу. Для зниження повітряного шуму стіни цих кімнат рекомендується оздобити звукопоглинальними матеріалами, а найбільш гучні компресори кліматичних камер відокремити у закриті ізольовані зони або винести у комору.

Для приміщення матеріальної комори, де зберігаються фарби, розчинники та запаси будівельних сумішей, заходи з покращення середовища зосереджені на правильній організації зберігання та природного повітрообміну. Кімната має бути обладнана міцними металевими стелажми, що виключають випадкове падіння та розгерметизацію тари з хімікатами, а вентиляційні канали повинні забезпечувати постійне видалення можливих запахів.

Таким чином, розробка та впровадження всіх санітарно-гігієнічних та технічних заходів у випробувальному центрі університету базується на точному знанні категорій кожної кімнати. Такий комплексний підхід дозволяє створити комфортне, сучасне та повністю безпечне робоче середовище, яке відповідає вимогам охорони праці та гарантує збереження здоров'я студентів і викладачів під час освітнього процесу.

Висновки

У другому розділі кваліфікаційної роботи на основі детермінованого інженерного підходу та відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 було виконано розрахунок категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою

для п'яти приміщень підрозділів випробувального центру закладу вищої освіти.

Проведений аналіз та отримані розрахункові дані дозволяють сформулювати такі висновки.

По-перше, за результатами обчислення критерію вибухопожежної небезпеки встановлено, що для всіх досліджуваних об'єктів значення надлишкового тиску вибуху у разі розрахункової аварії не перевищує нормативний поріг 5 кілопаскалів. Найвищі детерміновані показники зафіксовано в машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій, де тиск склав 4,8 кілопаскаля, та в приміщенні майстерні з показником 4,7 кілопаскаля. Це дозволило формально класифікувати всі об'єкти як невибухонебезпечні та виключити їх із категорій А і Б.

По-друге, комплексне оцінювання інтегрального теплового потенціалу горючих матеріалів показало, що питоме пожежне навантаження в підрозділах є порівняно низьким і коливається в межах від 22 до 42 мегаджоулів на метр квадратний. Дослідження локальних зон площею 10 метрів квадратних підтвердило, що максимальне зосередження горючої навантаги в лабораторії інженерних мереж досягає 64,4 мегаджоуля на метр квадратний, що майже втричі менше за граничний нормативний критерій 180 мегаджоулів на метр квадратний. Такий стан паливної складової дозволив обґрунтувати невідповідність приміщень критеріям пожежонебезпечної категорії В.

По-третє, враховуючи, що за своїм агрегатним станом, властивостями та умовами експлуатації наявні речовини не підпадають під опис категорії Г, усі п'ять досліджуваних приміщень (машзал, геотехнічна лабораторія, лабораторія інженерних мереж, майстерня та комора) за класичною детермінованою схемою остаточно віднесено до найнижчої категорії Д.

По-четверте, результати детермінованого оцінювання виявили суттєвий недолік традиційного інженерного підходу, який розглядає параметри аварії як статичні й незмінні величини. Мізерний нормативний «запас міцності» для машзалу, який становить лише 0,2 кілопаскаля до небезпечної межі, та для

майстерні – 0,3 кілопаскаля, свідчить про високу приховану вразливість системи безпеки об'єктів університету.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ

3.1 Аналіз умов безпеки при експлуатації випробувальних установок та верстатного обладнання

Підвищення рівня безпеки експлуатації обладнання та надійності технологічних процесів у випробувальному центрі університету є важливим складником загальної системи охорони праці. Специфіка науково-дослідної діяльності передбачає використання широкого спектра технічних засобів, які за умов порушення правил експлуатації або виникнення позаштатних ситуацій можуть стати джерелом небезпеки для персоналу та студентів. Для розробки ефективних захисних заходів необхідно провести детальну оцінку умов експлуатації машин та ідентифікувати потенційні загрози.

Основним обладнанням машинізованого залу лабораторії фізико-механічних досліджень є важкі гідравлічні преси, розривні машини та сушильні шафи. Експлуатація цих установок пов'язана з дією високого тиску в гідросистемах та значними механічними навантаженнями під час руйнування випробувальних зразків будівельних матеріалів. Головними вимогами безпеки тут є справність захисних екранів, які упереджують травмування людей уламками матеріалів, а також герметичність гідросистем для виключення протікання мастила під високим тиском. Крім того, нагрівальні прилади та муфельні печі потребують надійної теплоізоляції корпусів для запобігання термічним опікам лаборантів.

З позиції вибухопожежної безпеки технологічних процесів у всьому випробувальному центрі особливу увагу слід приділити електричній частині обладнання. Поява електричної іскри при комутації апаратів, коротке замикання в обмотках двигунів або перевантаження кабельних мереж є найбільш імовірними джерелами запалювання парів легкозаймистих рідин та горючих газів. Це вимагає використання обладнання з відповідним ступенем

захисту оболонки від проникнення пилу та вологи, а також постійного контролю стану ізоляції.

Проте аналіз конструкції обладнання та фіксація його технічних характеристик дають лише загальне уявлення про безпеку. У реальних умовах експлуатації випробувального центру головною загрозою є динамічність процесів, коли маса потенційного палива чи витоку речовин у повітря постійно змінюється через випадкові фактори. Визначити межі, за якими робота обладнання стає критично небезпечною, шляхом простих розрахунків неможливо. Це вимагає проведення точного математичного стохастичного моделювання та аналізу чутливості всієї системи у середовищі Maple, що дозволить оцінити реальну ймовірність виходу тиску вибуху за безпечні нормативні межі та розробити надійну автоматику захисного відключення.

3.2 Застосування імовірнісного підходу до оцінювання надлишкового тиску вибуху

Результати детермінованих розрахунків, які були виконані у другому розділі дипломної роботи на основі методики ДСТУ Б В.1.1-36:2016, дозволили встановити базові значення надлишкового тиску вибуху для всіх досліджуваних приміщень закладу вищої освіти. Проте класичний інженерний підхід розглядає аварійну ситуацію як статичний процес із чітко фіксованими параметрами. У реальних умовах експлуатації науково-дослідних лабораторій маса небезпечних речовин, які можуть одночасно потрапити в об'єм приміщення під час аварії, ніколи не є абсолютно сталою величиною. На цей показник постійно впливає людський фактор, випадкові пошкодження тари, затримка у спрацюванні запірної арматури або коливання температури навколишнього середовища [18, 20, 21].

Для підвищення об'єктивності оцінки безпеки працівників та студентів у цьому розділі запропоновано перейти від сухої фіксації одного числа до стохастичного моделювання ризиків. Основна ідея полягає у дослідженні чутливості системи до випадкових змін вихідних даних. Як базове

припущення ми приймаємо сценарій, за якого внаслідок несприятливих обставин маса горючих парів або газів у приміщенні може випадково розподілитися від початкового розрахункового значення до величини, яка є на 50 відсотків більшою. Головною метою такого моделювання є визначення точної ймовірності того, що надлишковий тиск вибуху перевищить критичну межу 5 кілопаскалів, після якої приміщення за нормами автоматично переходить до вибухопожежонебезпечної категорії А або Б.

Застосування такого імовірнісного підходу повністю відповідає сучасній концепції управління безпекою, яка закладена в основу ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Цей документ вимагає не просто розробляти захисні системи під фіксовані параметри, а оцінювати загальний рівень пожежного ризику для людей. Коли ми знаємо не просто єдине розрахункове число, а реальну ймовірність його виходу з-під контролю, ми можемо значно ефективніше розподіляти ресурси університету на системи протипожежного захисту та цивільної безпеки [22, 23].

Математичний аналіз формули надлишкового тиску вибуху показує, що величина тиску має лінійну залежність від маси горючої речовини, яка бере участь у вибуху. Це означає, що за умови незмінності інших параметрів, таких як вільний об'єм приміщення чи стехіометрична концентрація, збільшення маси на 50 відсотків призведе до аналогічного зростання тиску. Проте характер розподілу цієї ймовірності для кожного приміщення є унікальним і залежить від того, наскільки близько початкове детерміноване значення підходило до критичної межі.

3.3 Математичне моделювання та аналіз чутливості надлишкового тиску вибуху до зміни маси небезпечних речовин

Перехід від класичного детермінованого оцінювання до аналізу чутливості системи потребує вибору математичного апарату, який дозволить адекватно описати випадковий характер зміни вихідних параметрів аварії. Оскільки точна статистика відхилень маси небезпечних речовин для умов

конкретних навчальних лабораторій відсутня, найбільш обґрунтованим є застосування простого рівномірного закону розподілу ймовірностей [20, 21].

Вибір рівномірного закону для моделювання зміни маси в межах від -50% до +50% обумовлений принципом максимальної невизначеності. За такого підходу ми припускаємо, що будь-яке значення маси на цьому проміжку є рівноймовірним. Це дозволяє оцінити поведінку системи у максимально широкому діапазоні умов, не перевантажуючи модель зайвими теоретичними припущеннями, які важко перевірити на практиці. Рівномірний розподіл є базовим інструментом аналізу ризиків, який наочно показує, як лінійне коливання головного чинника (маси) впливає на зміну вихідного показника (надлишкового тиску вибуху). Для проведення серії таких розрахунків, побудови графічних залежностей та точного визначення точок перетину з критичними нормативними межами недоцільно використовувати ручний підрахунок. Велика кількість ітерацій та необхідність візуалізації результатів вимагають застосування спеціалізованого програмного забезпечення.

Всі подальші математичні розрахунки, моделювання випадкових відхилень та побудова п'яти цільових графіків чутливості для кожного досліджуваного приміщення будуть виконуватися у середовищі комп'ютерної алгебри Maple. Цей програмний комплекс має потужний аналітичний та графічний апарат, що дозволяє з високою точністю автоматизувати обчислення за формулами ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та розрахувати геометричну ймовірність виходу системи за межі безпечного інтервалу [3].

Результати моделювання для найбільш критичного приміщення представлені у вигляді графіка залежності надлишкового тиску від відхилення маси (рис. 3.1).

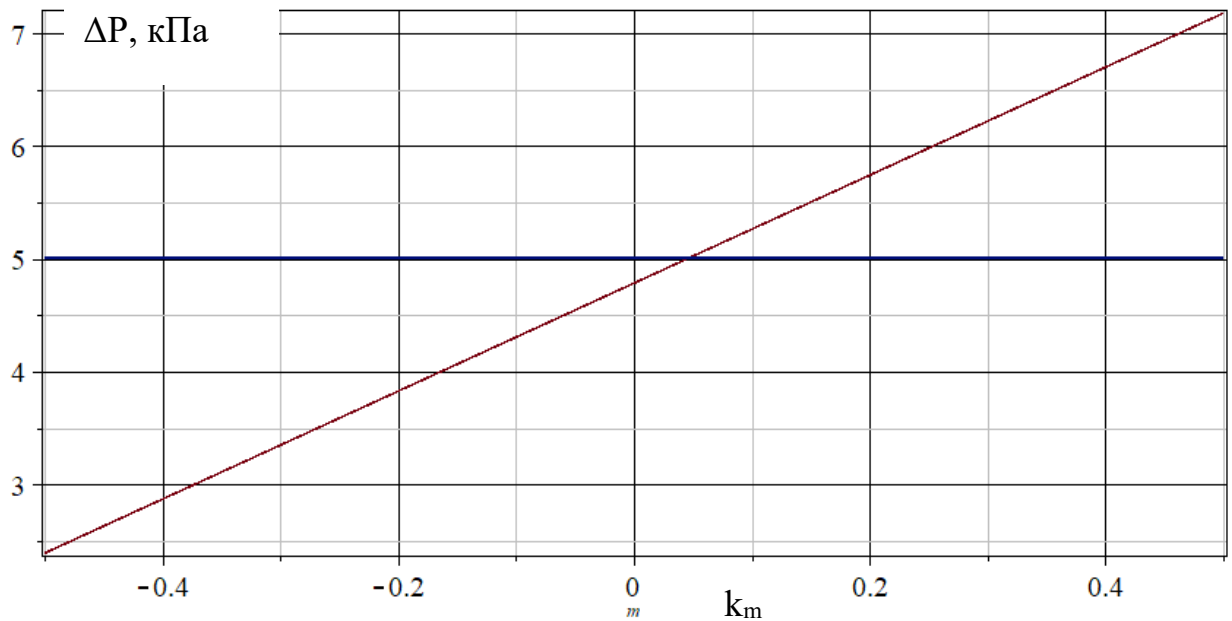


Рисунок 3.1 – Графік залежності надлишкового тиску від відхилення маси

Аналіз отриманої графічної залежності дозволяє зробити кілька важливих наукових висновків. Червона лінія графіка відображає зміну надлишкового тиску вибуху ΔP при лінійній зміні маси речовини, тоді як синя горизонтальна лінія фіксує критичний нормативний показник 5 кілопаскалів. Точка, що відповідає нульовому відхиленню маси ($k_m = 0$), відображає базовий детермінований стан системи, за якого тиск становить 4,8 кілопаскаля. Головна особливість цього графіка полягає в тому, що точка перетину кривої тиску з критичною нормативною межею розташована у безпосередній близькості до базового стану. Математичний аналіз показує, що перевищення безпечного порогу у 5 кілопаскалів відбувається вже при збільшенні маси аварійного витoku всього на 4,4 відсотка від номінального значення. Якщо ж маса речовини досягає свого верхнього прогнозованого значення (+50%), то теоретичний надлишковий тиск вибуху зростає до 7,18 кілопаскаля.

Для комплексного оцінювання надійності системи безпеки випробувального центру було проведено моделювання в Maple, результати якого для всіх п'яти досліджуваних приміщень зведено на загальному графіку (рис. 3.2). Кожна лінія на цьому рисунку відображає індивідуальну динаміку зміни надлишкового тиску вибуху при випадкових коливаннях маси

небезпечної речовини в діапазоні від -50% до +50%. Горизонтальна зелена лінія фіксує єдину нормативну межу 5 кілопаскалів.

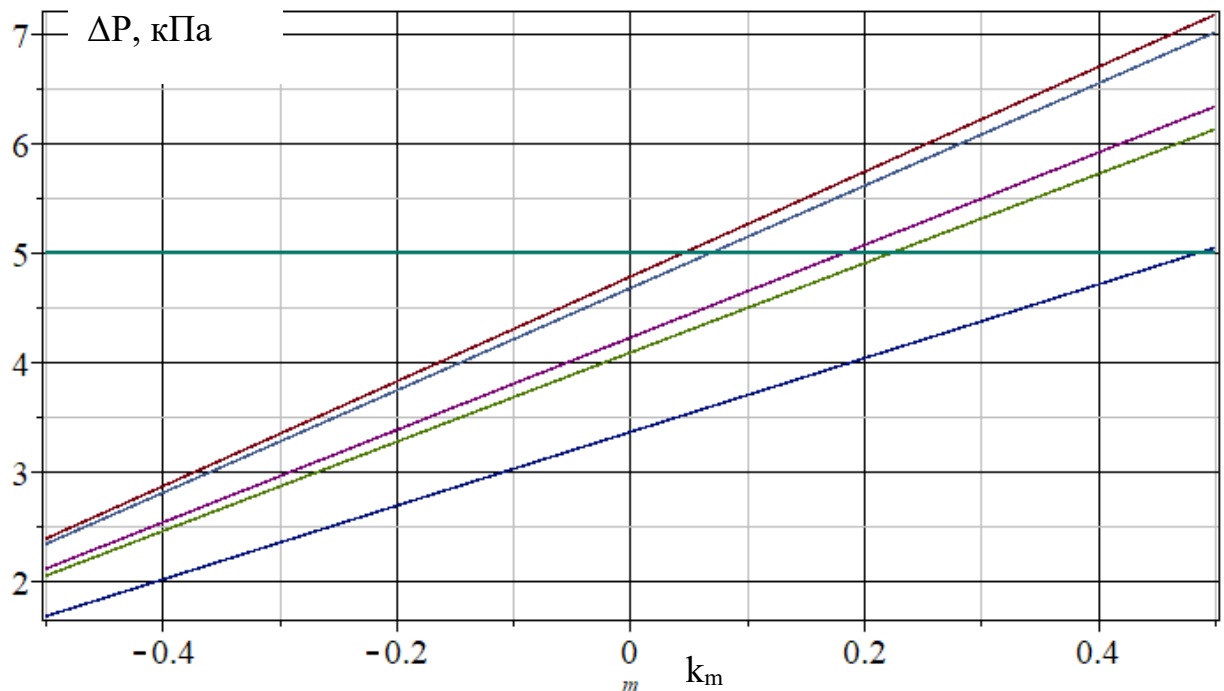


Рисунок 3.2 – Графік залежності надлишкового тиску від відхилення маси для 5 приміщень на +50%

Спільний аналіз кривих на рис. 3.2 дозволяє чітко розділити приміщення за ступенем їхньої вразливості. Найнижчу лінію на графіку формує геотехнічна лабораторія, навіть за умов максимального прогнозованого збільшення маси парів ЛЗР на 50 відсотків, лінія тиску практично не досягає нормативного порогу. Це свідчить про наявність значного конструктивного запасу безпеки та низьку ймовірність виникнення вибухонебезпечної ситуації на даному об'єкті.

Натомість група ліній, що розташована у верхній частині рис. 3.2, демонструє підвищений рівень загрози. Сюди відносяться інші приміщення. Всі ці чотири лінії перетинають нормативну межу 5 кілопаскалів у межах досліджуваного інтервалу відхилень, що вказує на реальну ймовірність переходу приміщень із категорії Д до вибухонебезпечних категорій А або Б.

Для детального порівняння стійкості приміщень було розраховано точні значення коефіцієнта збільшення маси (k_m), за якого надлишковий тиск вибуху досягає критичної позначки 5 кілопаскалів. Отримані дані візуалізовано за допомогою гістограми на рис. 3.3.

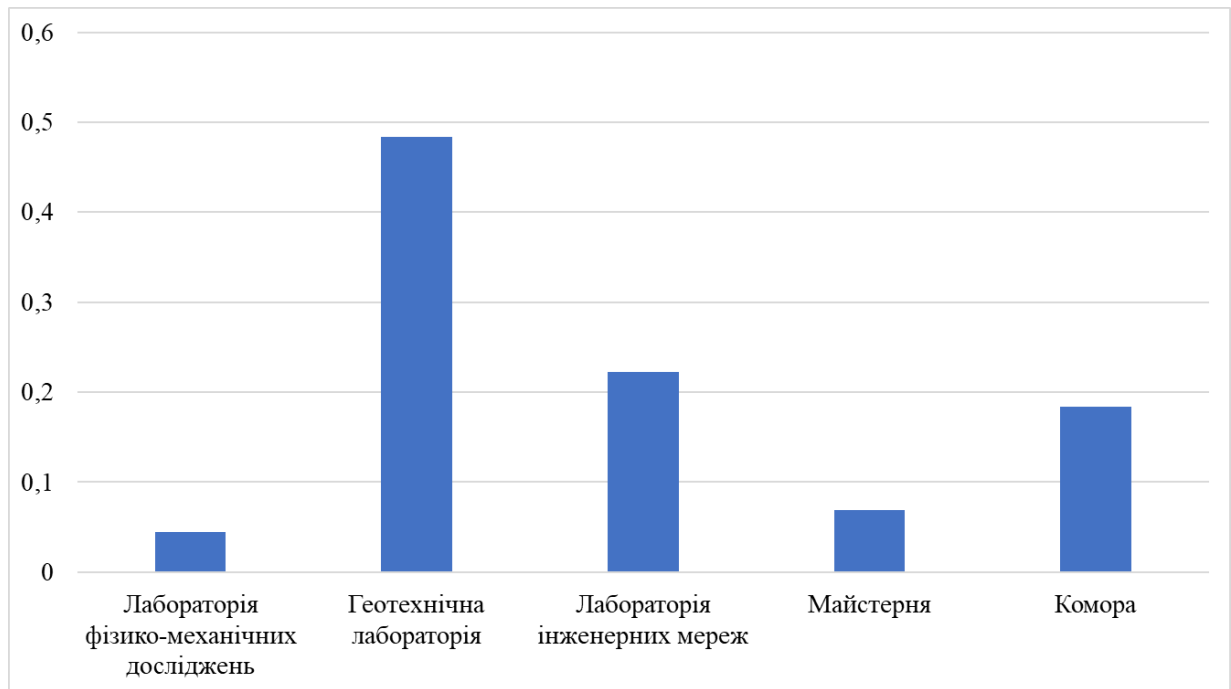


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта збільшення маси для досягнення 5кПа

Гістограма на рис. 3.3 наочно демонструє «запас міцності» кожного об'єкта. Найменше значення коефіцієнта зафіксовано для машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень (всього 0,044 або 4,4%), оскільки його базовий тиск 4,8 кілопаскаля спочатку знаходився найближче до нормативної межі. Для лабораторії інженерних мереж цей коефіцієнт становить 0,22, що означає неминуче перевищення тиску понад 5 кілопаскалів у разі збільшення маси витоку ЛЗР на 22%.

Зважаючи на лінійну структуру розрахункової моделі ДСТУ Б В.1.1-36:2016, було проведено додаткове прогнозне моделювання суттєвих відхилень технологічного регламенту, пов'язаних із грубим порушенням правил зберігання ЛЗР. На рис. 3.4 представлено графік залежності тиску за умови гіпотетичного збільшення кількості небезпечних речовин у приміщеннях до 10 разів від початкового рівня.

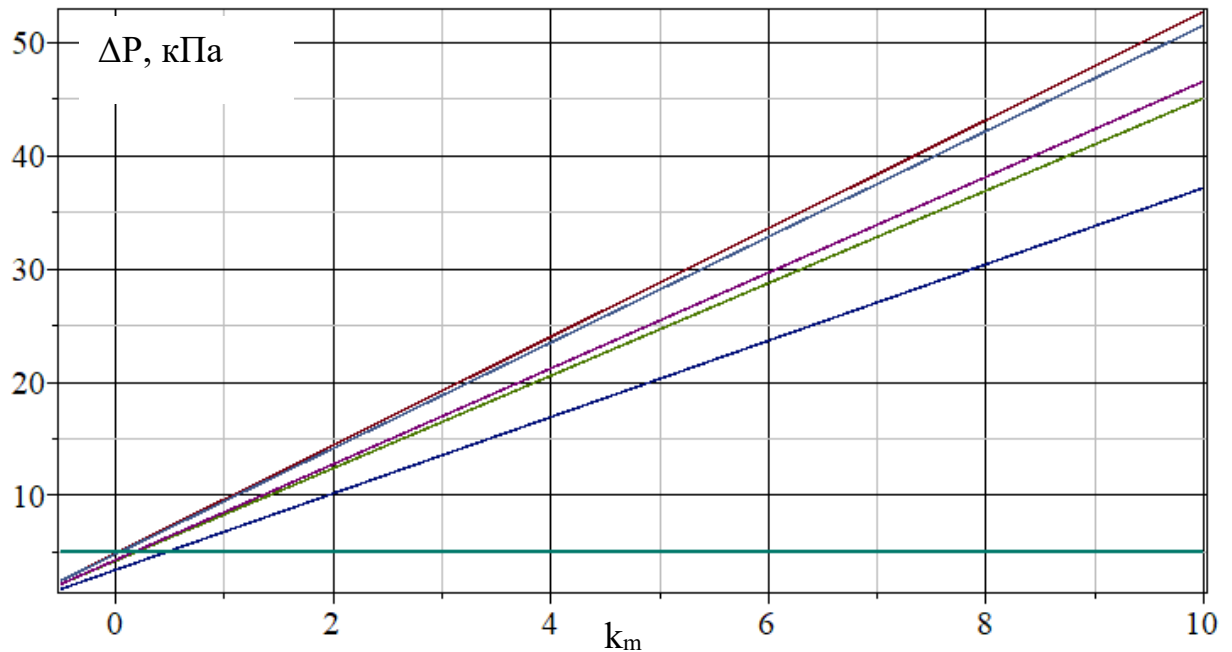


Рисунок 3.4 – Графік залежності надлишкового тиску при збільшенні кількості ЛЗР в 10 разів

Графік на рис. 3.4 виконує роль інструменту довгострокового прогнозування ризиків. При масштабуванні маси ЛЗР криві тиску для всіх без винятку приміщень зростають, перетинаючи зелену лінію безпеки у початковій точці графіка. При десятикратному накопиченні ЛЗР або газів теоретичний надлишковий тиск вибуху в лабораторіях здатний досягти значень від 37 до 52 кілопаскалів.

Це дослідження підтверджує, що контроль за обмеженням максимальної кількості одночасного розміщення небезпечних речовин на робочих місцях є головним і найбільш ефективним організаційним заходом.

Для остаточної верифікації отриманих наукових результатів та наочного порівняння двох підходів до оцінювання ризиків було побудовано зведену гістограму ймовірностей перевищення критичного тиску вибуху, яка представлена на рисунку 3.5.

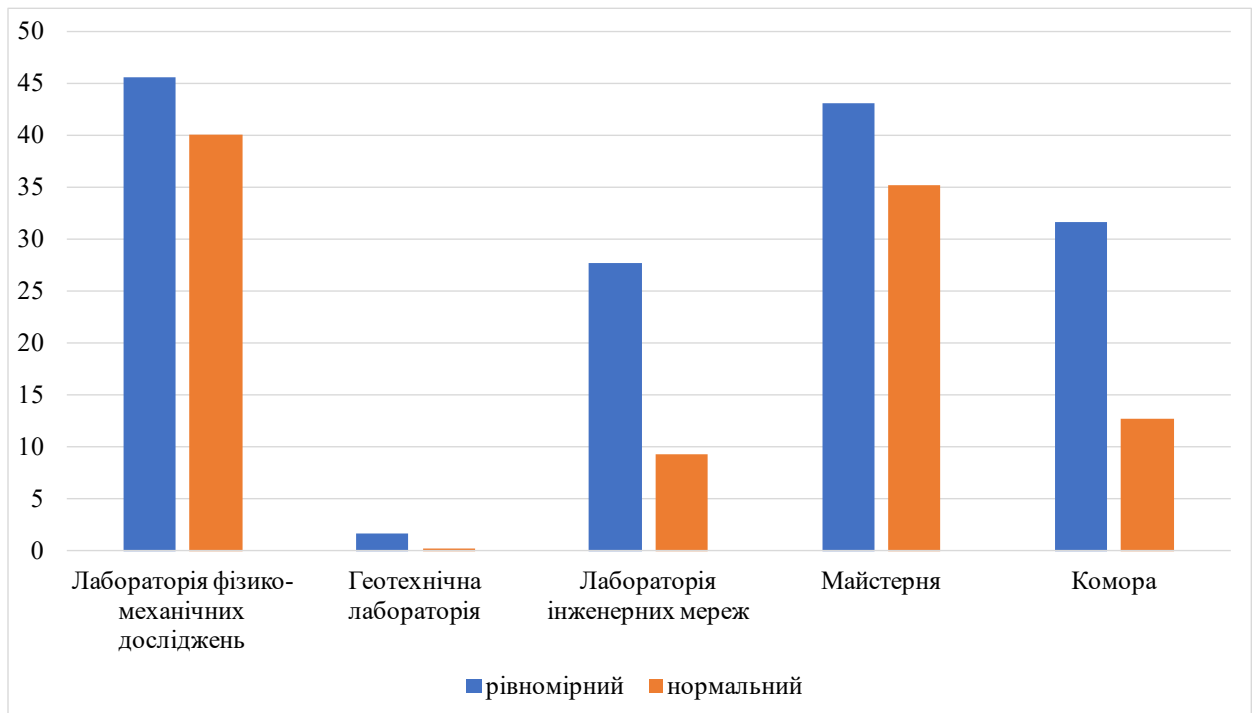


Рисунок 3.5 – Ймовірності перевищення критичного тиску вибуху

На даній діаграмі для кожного з п'яти досліджуваних приміщень центру зіставлено значення ймовірності перевищення критичного тиску вибуху, що були отримані за класичним рівномірним розподілом та за імітаційним моделюванням на основі нормального закону Гаусса. Спільний аналіз представленої гістограми дозволяє сформулювати наступні висновки [20, 25, 32].

По-перше, спостерігається ефект згладжування випадкових коливань. Для приміщень із відносно низьким або середнім рівнем детермінованого тиску, до яких належать геотехнічна лабораторія, комора та лабораторія інженерних мереж, перехід до нормального закону розподілу викликає різке зниження розрахункової ймовірності аварії. Наприклад, у лабораторії інженерних мереж ризик зменшується з 28 відсотків до 9,34 відсотка, а в коморі він падає з 31,5 відсотка до 12,71 відсотка. Це обумовлено самою природою закону Гаусса, який концентрує більшість випадкових значень маси навколо базового стану і робить екстремальні викиди маси ближче до верхньої межі малоймовірними подіями.

По-друге, моделювання виявило високу стійкість критичного рівня ризику. У приміщеннях, де початковий детермінований тиск уже перебував у

безпосередній близькості до нормативного бар'єру, зміна закону розподілу не приводить до суттєвого покращення стану безпеки. До цієї групи належать лабораторія фізико-механічних досліджень із базовим тиском 4,8 кілопаскаля та майстерня з показником 4,7 кілопаскаля. Показники ризику для цих об'єктів залишаються критично високими та становлять 40,13 відсотка і 35,20 відсотка відповідно. Математично це означає, що коли система знаходиться на межі фолу, навіть незначні коливання маси речовини в межах першої сигми розподілу гарантовано викликають перевищення ліміту в 5 кілопаскалів.

Для комплексного оцінювання точності розробленої стохастичної моделі та детального аналізу отриманих чисельних результатів було виконано графічне суміщення декількох залежностей на одному рисунку. Такий підхід дозволяє порівняти експериментальні дані, отримані методом Монте-Карло, із теоретичним еталоном для машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів і конструкцій.

Результати моделювання та суміщення розрахункових рядів даних представлені на рисунку 3.6.

Візуальний та математичний аналіз отриманого комплексного графіка дозволяє зробити кілька важливих висновків.

По-перше, Ряд 1, який відображено у вигляді синьої хаотичної лінії, представляє безпосередню послідовність 100 обчислених значень надлишкового тиску вибуху у порядку їхнього випадкового виходу з генератора нормального розподілу. Цей графік наочно ілюструє реальну динаміку позаштатної ситуації на практиці, коли кожна окрема аварія розвивається непередбачувано. Значення тиску стрибають у широкому діапазоні, де мінімальний рівень становить 2,61 кілопаскаля, а максимальний піковий викид сягає 7,14 кілопаскаля.

По-друге, Ряд 2, показаний у вигляді помаранчевої лінії, відображає ті самі 100 значень надлишкового тиску, але вже відсортовані за зростанням. Вона виконує роль експериментальної інтегральної кривої кумулятивної ймовірності та наочно показує, як саме накопичуються незадовільні результати у вибірці.

По-третє, Ряд 3, нанесений у вигляді гладкої сірої лінії, є теоретичною кривою розподілу ймовірностей при рівномірному розподілу.

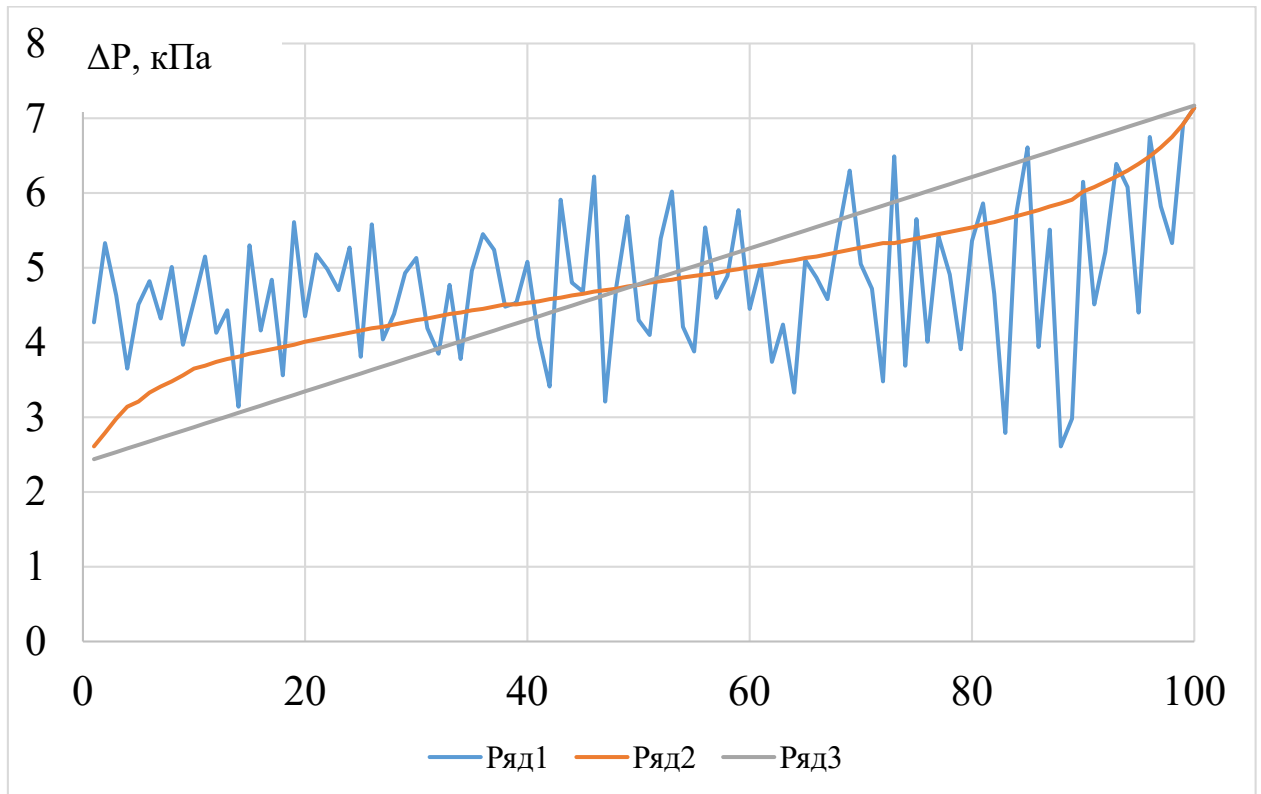


Рисунок 3.6 – Розрахункові ряди величини тиску за рівномірним розподілом та нормальним розподілом

Прямий підрахунок точок у синьому масиві або аналіз точки перетину кумулятивного помаранчевого графіка з нормативною лінією 5 кілопаскалів показує, що рівно 41 значення тиску опинилося у зоні вибухонебезпеки. Решта 59 випадкових значень утримуються в межах безпечної норми. Таким чином, практична ймовірність ризику для машзалу склала 41 відсоток. Стабільність цього показника та його близькість до точного аналітичного розв'язку (40,13 %) повністю верифікують створену стохастичну модель та доводять її високу математичну точність.

3.4 Розробка технічних рішень щодо підвищення безпеки обладнання на основі стохастичного моделювання

Результати математичного стохастичного моделювання та аналізу чутливості у середовищі Maple повністю змінили уявлення про стан вибухопожежної небезпеки об'єктів випробувального центру. Звичайний детермінований розрахунок помилково відносив машзал та майстерню до абсолютно безпечної категорії, оскільки не враховував динамічність процесів та випадкові коливання маси речовин. Виявлений критичний рівень імовірності аварії, який склав 40,13 відсотка для машзалу та 35,20 відсотка для майстерні, вимагає розробки та впровадження додаткових технічних заходів підвищення надійності всього обладнання.

Основним інженерним вектором захисту машин і процесів з урахуванням результатів моделювання має стати усунення будь-яких потенційних джерел запалювання та примусове обмеження часу перебування небезпечних речовин у робочій зоні. Оскільки коливання маси аварійного витоку є випадковою величиною, автоматика безпеки повинна реагувати миттєво, ще до того, як концентрація парів палива чи газів досягне критичного нормативного порогу.

Для машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень головним заходом є встановлення системи автоматичного захисного знеструмлення силового обладнання. Гідравлічні преси, розривні машини та морозильні установки мають бути підключені до електромережі через спеціальні щити з автоматичними вимикачами, які мають незалежні розчеплювачі. При спрацюванні високочутливих комбінованих датчиків або газоаналізаторів керуючий сигнал від приймально-контрольного приладу миттєво вимикає живлення пресів. Це повністю ліквідує ризик появи електричної іскри на контактах силових реле або виникнення короткого замикання під час роботи двигунів під навантаженням. Відсутність іскри унеможливорює підпал пароповітряної суміші, навіть якщо її маса випадково збільшилася.

Для лабораторії інженерних мереж та допоміжної комори, де імовірність перевищення тиску за законом Гаусса виявилася значно нижчою, технічні заходи зосереджені на превентивному контролі обладнання. Усі ручні електроінструменти, насоси, компресори та пересувні оливні станції повинні проходити регулярне технічне обслуговування з обов'язковою перевіркою опору ізоляції кабелів. Зберігання легкозаймистих рідин, фарб та розчинників у коморі має здійснюватися виключно у сертифікованій заводській герметичній тарі на металевих стелажах, які обладнані захисними бортиками проти випадкового падіння та розливу речовин.

Таким чином, використання результатів стохастичного моделювання дозволило обґрунтувати перехід від пасивного протипожежного захисту до активного автоматизованого керування безпекою обладнання. Впровадження запропонованих схем аварійного захисного знеструмлення, систем подвійного блокування верстатів та безперервного контролю ізоляції дозволяє повністю нейтралізувати ризики від випадкових коливань маси небезпечних речовин. Це забезпечує стабільну роботу всього технологічного комплексу університету та гарантує надійну охорону праці для студентів і співробітників випробувального центру під час освітнього процесу.

Висновки

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було проведено комплексне стохастичне моделювання та аналіз чутливості надлишкового тиску вибуху до зміни маси небезпечних речовин для п'яти приміщень закладу вищої освіти. Отримані результати дозволили перейти від статичної детермінованої оцінки до імовірнісного аналізу ризиків.

Результати досліджень полягають у наступному.

Обґрунтовано доцільність застосування імовірнісного підходу, оскільки в реальних умовах експлуатації навчальних лабораторій маса аварійного витоку не є сталою величиною. На цей показник постійно впливає людський

фактор, затримка у спрацюванні автоматики чи випадкові пошкодження тари. Математичний аналіз у середовищі Maple підтвердив, що тиск вибуху має чітку лінійну залежність від маси палива. Це дозволило оцінити надійність системи безпеки за умов випадкових коливань початкових параметрів у діапазоні від -50% до +50%.

По-друге, порівняльний аналіз моделювання за рівномірним та нормальним законами розподілу виявив важливу безпекову закономірність. Для приміщень із відносно низьким базовим тиском, таких як геотехнічна лабораторія, комора та лабораторія інженерних мереж, перехід до закону Гаусса суттєво знижує розрахунковий рівень небезпеки. Наприклад, у лабораторії інженерних мереж ризик зменшується з 28 відсотків до 9,34 відсотка. Це пояснюється властивістю нормального розподілу концентрувати випадкові величини навколо нуля, що робить екстремальні викиди маси малоймовірними.

По-третє, встановлено, що для приміщень із високим початковим тиском зміна закону розподілу не приводить до покращення стану безпеки. Для машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень та майстерні, де базові детерміновані значення становили 4,8 кілопаскаля та 4,7 кілопаскаля відповідно, навіть за нормального закону розподілу ймовірність перевищення норми залишається критичною і становить 40,13 відсотка та 35,20 відсотка. Це доводить, що за наближення системи до граничної межі безпеки будь-яке незначне випадкове коливання маси речовини з високою ймовірністю переводить об'єкт у вибухонебезпечний стан. По-четверте, успішно проведено верифікацію стохастичної моделі за допомогою методу Монте-Карло. Побудований у Maple несортований масив зі 100 випадкових величин тиску продемонстрував високу збіжність імітаційного комп'ютерного експерименту з теоретичним розрахунком.

Результати імовірнісного моделювання повністю спростували уявну безпечність досліджуваних об'єктів, яка базувалася лише на детермінованих розрахунках категорії Д. Отримані дані чітко вказують, що машзал та майстерня потребують першочергового впровадження додаткових інженерно-

технічних заходів охорони праці, спрямованих на фізичне обмеження маси можливого аварійного витоку речовин.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Обґрунтування заходів колективного захисту на основі результатів моделювання ризиків

У попередніх розділах кваліфікаційної роботи було проведено детальні розрахунки за класичною інженерною методикою, яка закріплена в національних стандартах. Отримані результати показали, що всі без винятку досліджувані приміщення випробувального центру університету формально є безпечними та за своїми показниками належать до найнижчої категорії Д.

Однак проведене у третьому розділі імовірнісне моделювання у середовищі комп'ютерної алгебри Maple спростувало висновок про абсолютну надійність такої системи. Коли ми розглянули масу небезпечних речовин не як фіксовану цифру, а як випадкову величину, що підпорядковується нормальному закону розподілу Гаусса, реальна картина безпеки суттєво змінилася. Математичний аналіз чутливості чітко зафіксував, що ймовірність виникнення надлишкового тиску вибуху понад критичну норму у 5 кілопаскалів є надзвичайно високою. Для машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень цей показник пожежного ризику досяг 40,13 відсотка, а для приміщення майстерні він склав 35,20 відсотка.

Такий стан технологічного середовища свідчить про те, що за умов реальної експлуатації об'єктів закладу вищої освіти стандартних організаційних заходів, передбачених для категорії Д, стає абсолютно недостатньо. Будь-яке незначне відхилення від регламенту, затримка в роботі персоналу, випадкове пошкодження лабораторного посуду чи збій у роботі автоматики постачання речовин можуть миттєво призвести до накопичення палива в об'ємі кімнати [27, 28].

Оскільки початковий детермінований стан системи вже перебував на межі критичного бар'єру, такі випадкові коливання гарантовано викликають вибуховий сплеск тиску. Це зумовлює гостру практичну необхідність розробки та впровадження надійного комплексу інженерно-технічних рішень захисту

(рис. 4.1). Створена система технічних заходів повинна гарантувати фізичне обмеження тиску, запобігати руйнуванню будівельних конструкцій навчального корпусу та забезпечувати повну безпеку для життя і здоров'я студентів, аспірантів та НПП університету.

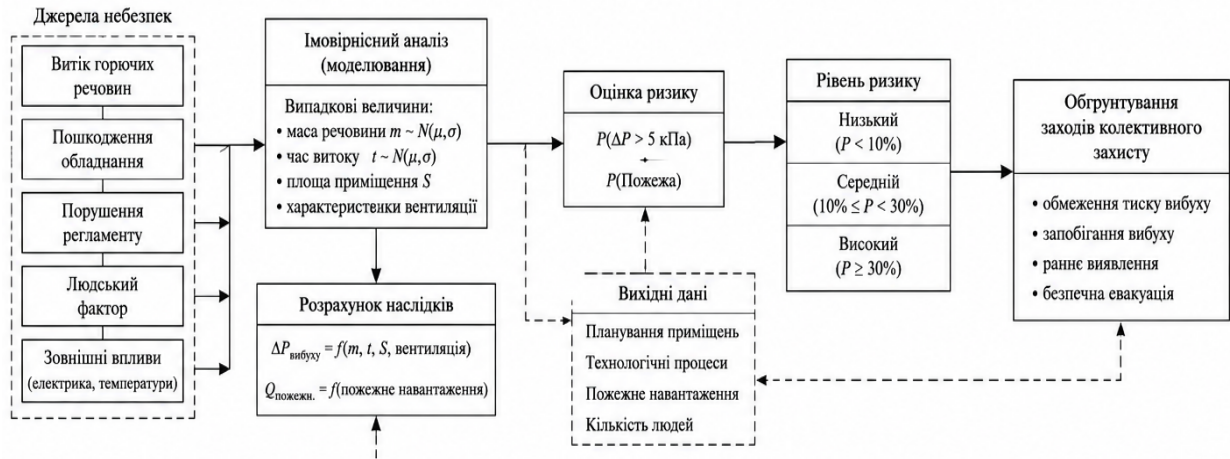


Рисунок 4.1 – Структурна схема заходів захисту

4.2 Інженерно-технічні рішення для обмеження тиску вибуху та розрахунок вентиляції

Аналіз попередніх етапів дослідження доводить, що надлишковий тиск вибуху має пряму лінійну залежність від маси небезпечної речовини, яка встигла випаруватися або витекти в об'єм приміщення до моменту займання. Відповідно, основним вектором інженерного захисту об'єкта має стати не зміна товщини стін чи перепланування всього корпусу, а створення технічних умов, які фізично не дозволять паливу накопичитися у повітрі робочої зони. Найбільш ефективним інструментом для реалізації цього завдання є проєктування та встановлення потужної системи аварійної витяжної вентиляції.

Аварійна вентиляція розробляється як повністю автономна інженерна система, яка у нормальних умовах перебуває в режимі очікування і не витрачає електроенергію. Сигнал на її запуск має надходити автоматично від високочутливих датчиків-газоаналізаторів у разі виявлення перших ознак появи парів легкозаймистих рідин або горючих газів [24, 26, 30].

Головне завдання витяжних вентиляторів полягає у швидкому та безперервному видаленні забрудненого повітря безпосередньо з місця витoku і виведенні його назовні будівлі. За рахунок створення інтенсивного повітряного потоку система розбавляє концентрацію палива свіжими припливними масами. Згідно з вимогами діючих будівельних, санітарних та протипожежних норм України, аварійна вентиляція повинна утримувати рівень загазованості в межах, що не перевищують 10 відсотків від нижньої концентраційної межі поширення полум'я для конкретної речовини.

Для визначення параметрів обладнання машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень будівельних виробів та приміщення майстерні було виконано розрахунок необхідного аварійного повітрообміну.

Проведені чисельні обчислення показали, що для гарантованого захисту повітряного простору машзалу від накопичення небезпечних парів бензину чи технічних мастил продуктивність вентиляційної установки повинна становити не менше 1200 кубічних метрів повітря на годину.

Оскільки навіть найсучасніша вентиляція має певну інерційність і вимагає часу для запуску двигунів, існує теоретична ймовірність того, що джерело запалювання спрацює до повного очищення повітря.

Як такі конструкції використовуються вікна із заздалегідь розрахованою площею засклення або спеціальні легкі стінові панелі. Математичний зміст цього рішення полягає у тому, що при виникненні вибухового сплеску тиску кріплення вікон або саме скло руйнуються першими під дією мінімального навантаження. Руйнування цих елементів відкриває великі прорізи, через які надлишкові гази та вогняний фронт вільно скидаються назовні – у безпечну зону внутрішнього двору університету. Внаслідок такого миттєвого скидання енергії хвилі внутрішній тиск у приміщенні гарантовано утримується на рівні нижче критичних 5 кілопаскалів, що повністю рятує залізобетонний каркас, тримальні стіни та перекриття навчального корпусу від деформації та обвалення.

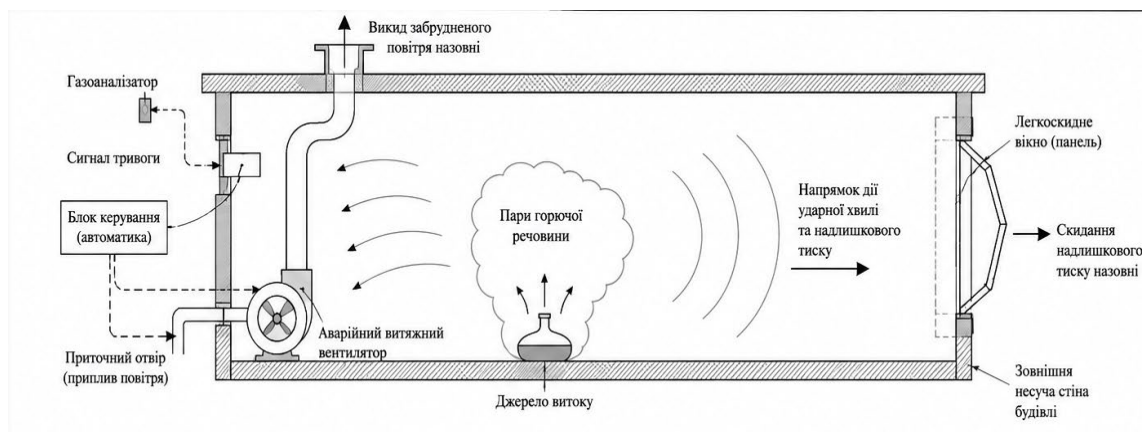


Рисунок 4.2 – Функціональна схема системи аварійної вентиляції та скидання надлишкового тиску вибуху

4.3 Автоматизація систем протипожежного захисту

Забезпечення високого рівня надійності випробувального центру закладу вищої освіти неможливе без повної автоматизації процесів виявлення загрози та керування захисними пристроями. Сучасний протипожежний захист об'єкта розробляється як єдиний інтегрований комплекс, де всі інженерні системи взаємодіють між собою без участі людини [12, 13, 16].

Першим рубежем захисту виступає система автоматичної пожежної сигналізації, яка проектується відповідно до вимог ДСТУ та будівельних норм щодо протипожежних систем. Фізична природа та технічні характеристики пожежних датчиків-сповіщувачів підбиралися індивідуально під специфіку технологічного процесу та пожежного навантаження кожного конкретного приміщення центру.

Для приміщення допоміжної комори та лабораторії інженерних мереж було прийнято рішення про встановлення точкових димових пожежних сповіщувачів. Горючі матеріали, які там зберігаються та використовуються (папір, картон, пластикові труби, ізоляція кабелів), на перших стадіях займання схильні до тривалого тління з виділенням великої кількості густого диму. Датчики фіксують появу мікрочастинок кіптяви у повітрі й миттєво передають сигнал тривоги на центральний пульт охорони.

Натомість для машзалу лабораторії та приміщення майстерні димові датчики є малоефективними через можливість природної запиленості під час шліфування чи випробування бетонних зразків. Для цих об'єктів обґрунтовано встановлення комбінованих теплових датчиків, які реагують на різке перевищення швидкості зростання температури, а також оптичних сповіщувачів полум'я, які здатні зафіксувати появу відкритого вогню чи спалаху парів ЛЗР за лічені мілісекунди.

Пристрій приймально-контрольний пожежний після отримання сигналу від будь-якого датчика негайно запускає алгоритм захисту, який складається з трьох паралельних етапів:

1. Керування евакуацією, а саме автоматично вмикається внутрішня система сповіщення про пожежу. По всьому корпусу запускаються світлові табло з написом «Вихід», які вказують правильний напрямок руху, та починає працювати звукова сирена, що сповіщає студентів і персонал про необхідність терміново залишити приміщення.

2. Активація вентиляції та подача команди на запуск приводів аварійної витяжної вентиляції та відкриття відповідних повітряних заслінок для початку інтенсивного очищення кімнат.

3. Захисне аварійне блокування, яке полягає у повному та миттєвому знеструмленні всіх силових електричних кіл випробувального центру. Автоматичні вимикачі у розподільчих щитах відключають живлення гідравлічних пресів, розривних машин, морозильних камер, а також нагрівальних елементів муфельних печей та сушильних шаф.

Таке аварійне знеструмлення повністю усуває можливість виникнення коротких замикань або появи електричної іскри на контактах реле під час роботи обладнання. Відсутність іскри виключає появу джерела запалювання, що зупиняє розвиток аварії на самому початку і не дозволяє вибухонебезпечній суміші вибухнути, навіть якщо її концентрація тимчасово наблизилася до небезпечної межі.

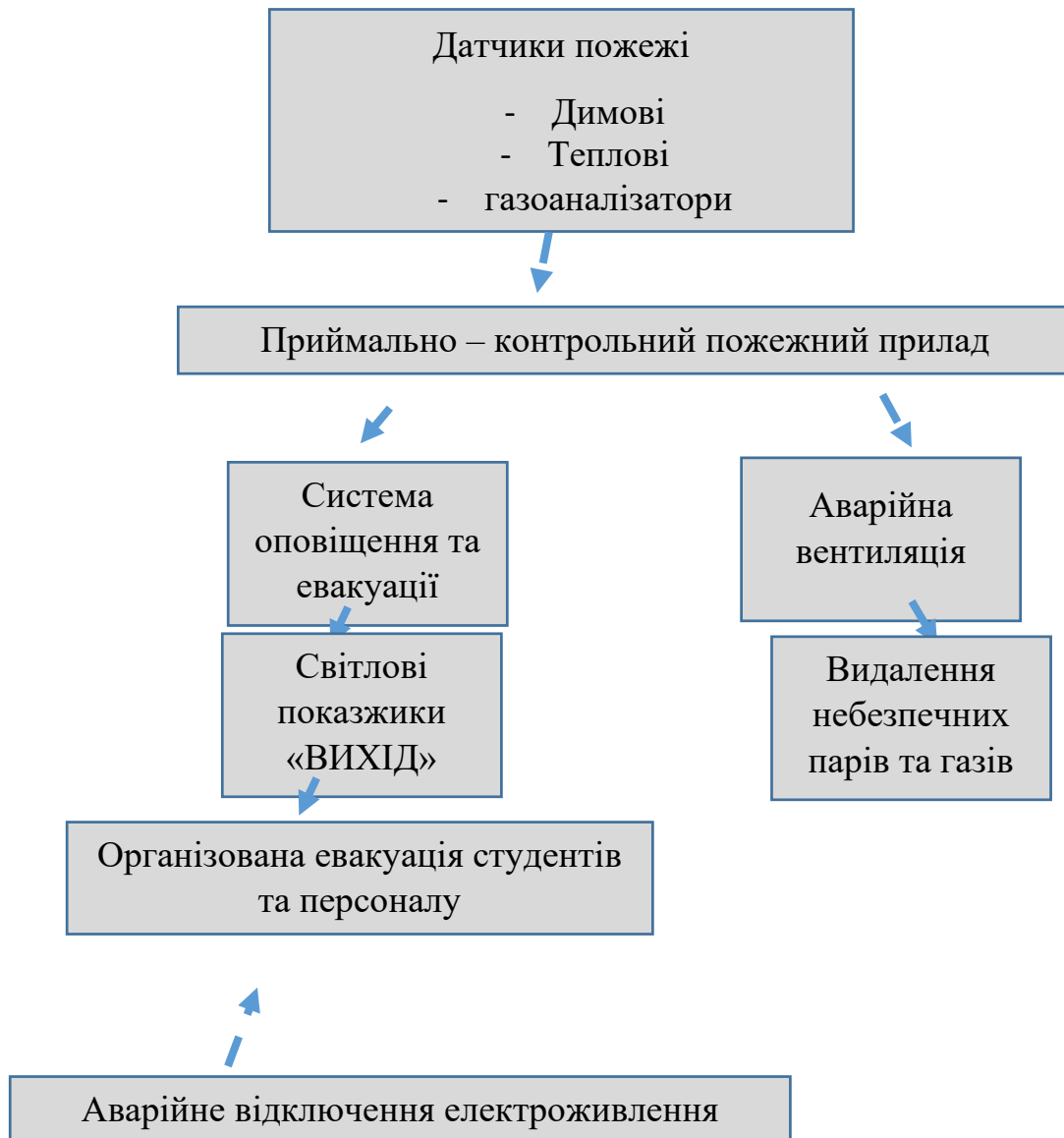


Рисунок 4.3 – Функціональна схема автоматизованої системи протипожежного захисту лабораторного корпусу

4.4 Організація безпечної евакуації людей з лабораторного корпусу

У разі виникнення будь-якої надзвичайної ситуації, пов'язаної з витоком газів, загрозою вибуху чи початком пожежі, найвищим пріоритетом для адміністрації університету є забезпечення швидкого та безперешкодного виведення всіх людей із небезпечної зони. Особливістю навчальних закладів є постійна присутність у корпусах великої кількості студентів, які під час проведення практичних і лабораторних робіт часто не мають достатнього рівня індивідуального досвіду та можуть піддатися паніці. Тому організація

шляхів руху та виходів має забезпечувати максимально просту й зрозумілу логістику руху до виходу назовні.

Для цього було розроблено схему евакуації з лабораторного центру (рис. 4.4 та рис. 4.5.)

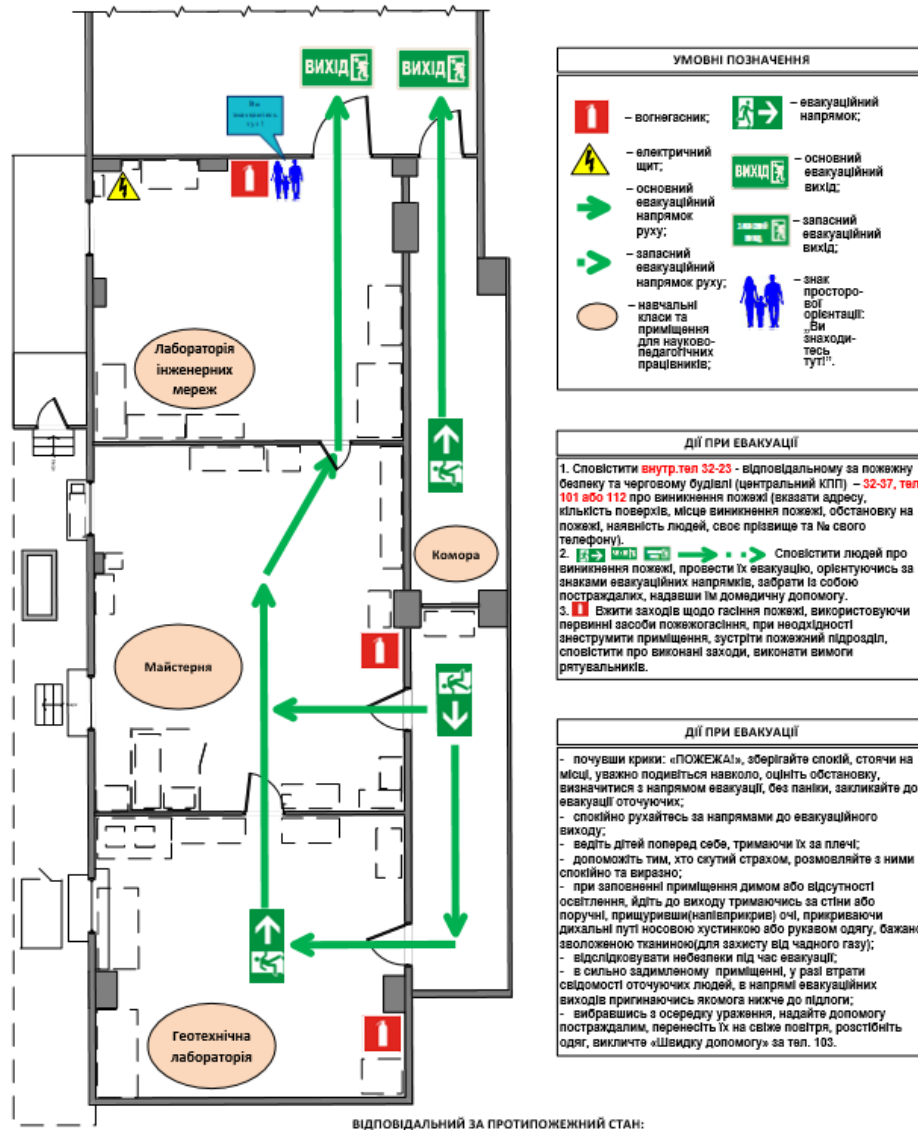


Рисунок 4.4 – План – схема евакуації здобувачів вищої освіти та працівників з лабораторних досліджуваних приміщень (лабораторія інженерних мереж, майстерня, геотехнічна лабораторія, комора)

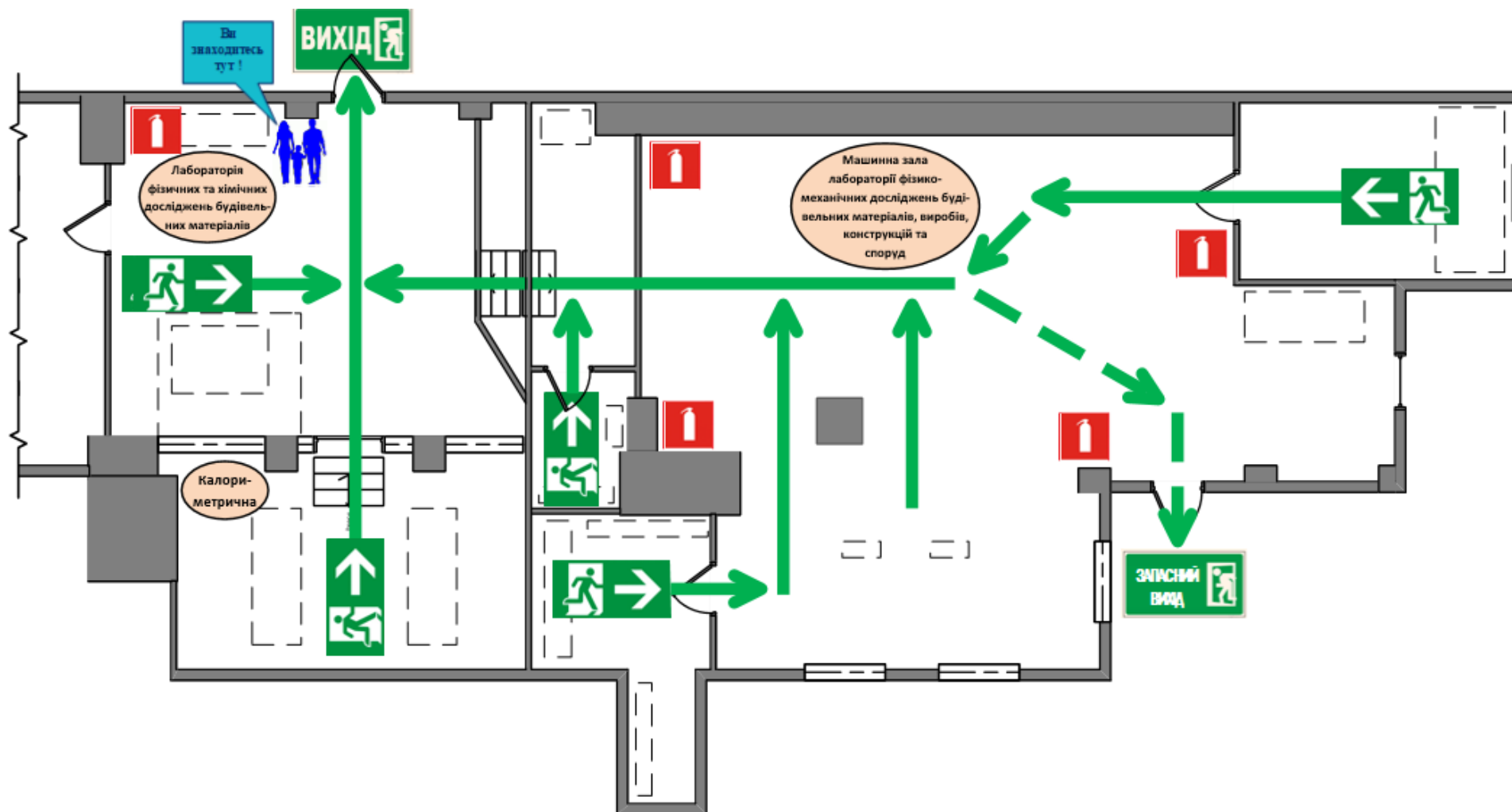


Рисунок 4.5 – План – схема евакуації здобувачів вищої освіти та працівників з лабораторних досліджуваних приміщень машзала

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що формальна належність досліджуваних приміщень випробувального центру до категорії Д за ДСТУ Б В.1.1-36:2016 не гарантує повної безпеки об'єкта в умовах реальної експлуатації. Імовірнісне моделювання ризиків дозволило виявити суттєву ймовірність перевищення критичного значення надлишкового тиску вибуху в окремих приміщеннях, зокрема у машзалі лабораторії фізико-механічних досліджень та майстерні. Отримані результати підтвердили необхідність впровадження додаткових заходів колективного захисту, спрямованих на запобігання розвитку аварійних ситуацій та мінімізацію їх наслідків.

Обґрунтовано доцільність використання комплексу інженерно-технічних рішень, який включає аварійну витяжну вентиляцію, легкоскидні огорожувальні конструкції, автоматичну пожежну сигналізацію, системи виявлення загазованості та автоматичне аварійне відключення електроживлення. Реалізація зазначених заходів дозволяє істотно знизити ризик утворення вибухонебезпечних концентрацій горючих речовин, обмежити величину надлишкового тиску під час можливого вибуху та запобігти руйнуванню будівельних конструкцій лабораторного корпусу.

Особливе значення для забезпечення безпеки має організація своєчасної евакуації людей. Встановлено, що ефективність реагування на надзвичайну ситуацію значною мірою залежить від швидкості оповіщення, чіткості маршрутів руху та можливості безперешкодного виходу людей із небезпечної зони. Запропонована система автоматичного керування евакуацією забезпечує негайне інформування студентів, викладачів та працівників про виникнення загрози, активує світлові покажчики напрямків руху та дозволяє організовано вивести людей з будівлі до початку розвитку небезпечних факторів пожежі або вибуху.

Таким чином, впровадження розробленого комплексу технічних та організаційних заходів створює багаторівневу систему захисту, у якій

пріоритетним завданням є збереження життя і здоров'я людей. Поєднання автоматизованого виявлення загроз, локалізації небезпечних процесів та ефективної евакуації забезпечує належний рівень безпеки учасників освітнього процесу та підвищує стійкість лабораторного корпусу університету до можливих надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 5 СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ

5.1 Нормативно-правове та концептуальне обґрунтування соціальної відповідальності закладу вищої освіти

Ефективне функціонування системи управління охороною праці та пожежною безпекою у сучасному закладі вищої освіти (ЗВО) безпосередньо інтегроване в загальну концепцію корпоративної соціальної відповідальності (КСВ). Соціальна відповідальність університету розглядається не лише через призму надання якісних освітніх послуг, а й через безумовне зобов'язання адміністрації щодо створення безпечного, нешкідливого та гідного робочого середовища для НПП, навчально-допоміжного персоналу та студентів [32, 33].

Згідно з Кодексом законів про працю України та Законом України «Про охорону праці», роботодавець несе повну юридичну, моральну та фінансову відповідальність за стан безпеки на кожному робочому місці. У контексті досліджуваної теми, де об'єктами виступають спеціалізовані лабораторії, майстерні та комори з наявністю пожежонебезпечного обладнання та речовин (електропреси, муфельні печі, сушильні шафи, ЛЗР, ГР та хладагенти), соціальна відповідальність набуває особливого значення. Вона полягає у переході від формального виконання приписів наглядових органів до проактивного ризик-орієнтованого управління, спрямованого на повне виключення ймовірності травматизму чи професійних захворювань [34].

5.2 Соціально-економічне значення безпечних умов праці в лабораторних підрозділах

Створення безпечних умов праці у приміщеннях, класифікованих за категоріями В та Д, безпосередньо впливає на соціально-психологічний клімат колективу випробувального центру та загальну продуктивність науково-освітнього процесу. Проведене у роботі категоризування та визначення рівнів

ризиків дозволяють оптимізувати витрати установи на заходи цивільного захисту, узгоджуючи їх із реальною пожежною навантагою приміщень.

Соціальний ефект від впровадження запропонованих у роботі інженерно-технічних рішень (модернізація місцевої витяжної вентиляції, встановлення систем пиловидалення, контроль ізоляції та автоматизація вимкнення обладнання) виражається у:

- зниженні рівнів професійного ризику для працівників лабораторій до мінімально можливого (допустимого) рівня;
- поліпшенні ергономічних та санітарно-гігієнічних параметрів робочого середовища (видалення водяної пари, парів ЛЗР та пилу з зони дихання персонал);
- підвищенні почуття захищеності працівників, що безпосередньо знижує рівень плинності кадрів серед кваліфікованих технічних спеціалістів.

Економічний аспект соціальної відповідальності полягає у попередженні прямих та непрямих збитків, які неминуче виникають у разі пожеж чи аварійних ситуацій у ЗВО. Своєчасні інвестиції у протипожежні системи (автоматична сигналізація, первинні засоби пожежогасіння) є фінансово виправданими, оскільки запобігають руйнуванню унікального випробувального обладнання та тривалим простоям у науковій діяльності.

5.3 Організаційні заходи з підвищення рівня безпеки

Основним стрижнем соціальної відповідальності університету в сфері цивільної безпеки є безперервний процес навчання та підвищення культури безпеки праці. Оскільки персонал лабораторій щодня взаємодіє з механічними навантаженнями високої інтенсивності (гідравлічні преси, розривні машини) та термічними чинниками (муфельні печі), людський фактор залишається одним із критичних джерел ризику.

Для мінімізації впливу людського фактора впроваджується жорстка система безперервного інструктування:

1. Вступний інструктаж – проводиться службою охорони праці університету для всіх нових співробітників та здобувачів вищої освіти перед допуском до приміщень центру.

2. Первинний інструктаж на робочому місці – здійснюється безпосередньо завідувачем лабораторії перед початком виконання практичних або дослідних робіт, із детальним розбором інструкцій з експлуатації конкретних випробувальних установок.

3. Повторний інструктаж – проводиться щонайменше один раз на шість місяців для перевірки та закріплення знань вимог безпеки праці та правил пожежної безпеки в ЗВО.

4. Позаплановий та цільовий інструктажі – організовуються у разі модернізації лабораторного обладнання, зміни технологічного регламенту досліджень, виявлення порушень правил безпеки або під час виконання разових робіт, що не пов'язані з безпосередніми обов'язками (наприклад, організація внутрішнього переміщення матеріальних цінностей у коморі).

Адміністрація університету бере на себе зобов'язання забезпечувати персонал безкоштовним та сертифікованим спеціальним одягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до галузевих норм.

5.4 Алгоритми колективного захисту та соціальний захист у надзвичайних ситуаціях

В межах соціальної відповідальності перед працівниками та здобувачами освіти університет забезпечує функціонування системи колективного захисту на випадок пожежі або вибуху в приміщеннях випробувального центру.

Основними заходами є:

- забезпечення безпечної евакуації людей шляхом утримання евакуаційних шляхів і виходів у корпусі А - 6 та електротехнічному корпусі

відповідно до вимог нормативних документів. Шляхи евакуації обладнуються показниками напрямку руху та аварійним освітленням;

- проведення навчань і тренувань з евакуації персоналу та студентів не рідше двох разів на рік. Такі заходи сприяють формуванню практичних навичок дій у надзвичайних ситуаціях та підвищують рівень готовності до взаємодії з підрозділами ДСНС;

- забезпечення соціального захисту працівників відповідно до чинного законодавства України. Працівники підлягають обов'язковому державному соціальному страхуванню від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань. У разі тимчасової втрати працездатності гарантується збереження робочого місця та надання передбачених законодавством виплат.

5.5 Підходи до підвищення культури безпеки праці та концепція «Vision Zero» в освітньому середовищі

Сучасний етап розвитку корпоративної соціальної відповідальності вимагає від керівництва закладу вищої освіти впровадження прогресивних світових стратегій, спрямованих на повне трансформування традиційної системи охорони праці. Одним із найефективніших інструментів у цій сфері є міжнародна концепція «Vision Zero», або «Нульовий травматизм», яка базується на переконанні, що будь-яким нещасним випадкам на виробництві та в навчальному процесі можна і потрібно запобігти за допомогою правильного планування та інженерного контролю. Соціальна відповідальність університету в межах цієї концепції полягає у створенні такої інтегрованої культури безпеки, де кожен викладач, лаборант та студент усвідомлює свою роль у запобіганні пожежним та вибуховим ризикам у лабораторних підрозділах.

Реалізація цієї інноваційної стратегії у випробувальному центрі спирається на три фундаментальні виміри, які включають безпеку робочих місць, охорону здоров'я персоналу та формування високої екологічної

свідомості колективу. Пожежний та вибуховий ризики, які були детально змодельовані у практичних розділах нашої роботи, розглядаються як динамічні чинники, управління якими вимагає постійної проактивної роботи. Замість застарілого підходу, орієнтованого лише на покарання за порушення правил, університет у межах соціальної відповідальності впроваджує відкриту модель виявлення небезпек, де кожен працівник може вільно повідомити про несправність клапана тиску пресу, пошкодження ізоляції сушильної шафи чи порушення правил зберігання обмеженої кількості легкозаймистих рідин у коморі.

Важливою складовою концепції нульового травматизму є інтеграція сучасних цифрових технологій у процеси повсякденного контролю виробничого середовища. В межах соціально-технічної модернізації університету передбачається розробка та впровадження мобільного додатка для внутрішнього моніторингу стану охорони праці. За допомогою цього цифрового інструменту завідувачі лабораторій та відповідальні особи можуть проводити щотижневі експрес-аудити приміщень, фіксувати працездатність датчиків диму та автоматичних систем пожежної сигналізації, а також контролювати вільний стан шляхів евакуації та наявність справних вогнегасників. Економічна доцільність інвестування в інноваційні культури безпеки підтверджується довгостроковим соціальним ефектом. Коли університет демонструє реальну турботу про людей через впровадження найкращих європейських практик цивільної безпеки, це суттєво підвищує імідж закладу як престижного та відповідального працедавця й партнера на міжнародній арені. Зниження рівня ризиків у машзалі та майстерні до мінімальних значень створює безпечну психологічну атмосферу, яка дозволяє науковцям повністю зосередитися на проведенні фундаментальних досліджень, а студентам – на ефективному засвоєнні практичних навичок без страху за власне життя та здоров'я.

Таким чином, концепція «Vision Zero» виступає вищим проявом соціальної відповідальності закладу вищої освіти, оскільки вона об'єднує жорсткі інженерно-технічні заходи з гуманістичними принципами поваги до

особистості. Тільки через формування колективної відповідальності та безперервне вдосконалення умов праці стає можливим створити стійке та безпечне університетське середовище, яке відповідає вимогам сучасності та європейським стандартам цивільної безпеки.

5.6. Управління психосоціальними ризиками та формування ментальної стійкості колективу в умовах виробничих небезпек

Соціальна відповідальність закладу вищої освіти у сфері цивільної безпеки та охорони праці не обмежується лише впровадженням жорстких інженерних систем, монтажем вентиляції чи автоматичним знеструмленням верстатів. Сучасний розвиток європейських стандартів робочого середовища вимагає обов'язкового врахування психосоціальних чинників, які безпосередньо впливають на поведінку людини під час виконання професійних чи навчальних обов'язків. Управління цими аспектами є прямим проявом турботи університету про свій людський капітал, оскільки емоційний стан працівника чи студента безпосередньо пов'язаний із рівнем виробничого травматизму та загальною культурою безпеки.

Специфіка діяльності у дослідних приміщеннях випробувального центру, де зосереджені силові гідравлічні преси, хімічні реагенти та є постійна загроза вибухопожежних аварій, створює додаткове психологічне навантаження на колектив. Усвідомлення наявності прихованих ризиків, про які свідчать результати математичного моделювання в Maple, може викликати у лаборантів та студентів почуття тривожності або хронічного стресу. Такий стан суттєво знижує концентрацію уваги, уповільнює швидкість реакції та збільшує ймовірність здійснення помилок під час керування складними технологічними процесами. Тому формування ментальної стійкості та психологічної готовності до дій у позаштатних ситуаціях є важливою складовою соціальної програми університету.

Практична реалізація цього напрямку в межах концепції нульового травматизму передбачає створення системи постійної психологічної

підтримки та проведення регулярних тренінгів. Ці заходи спрямовані на навчання персоналу методам саморегуляції, управління стресом та швидкого подолання панічних настроїв під час можливих інцидентів. Важливою умовою є те, що кожен викладач та студент має не просто знати сухі правила інструкції з евакуації, а бути психологічно готовим чітко і спокійно виконувати алгоритм дій при отриманні сигналу тривоги від автоматичної системи захисту.

Крім того, соціальна відповідальність передбачає зміну самої філософії взаємин між керівництвом центру та підлеглими. Впроваджується так звана культура взаємної довіри, де виявлення помилок чи фіксація порушень правил безпеки використовується не для покарання чи накладання штрафів, а для детального аналізу причин і недопущення таких випадків у майбутньому. Коли студент або молодий науковець не боїться відкрито повідомити про випадковий розлив палива чи несправність заземлення верстата, рівень колективного захисту зростає в рази. Це створює комфортний психологічний клімат, де безпека сприймається як спільна цінність, а не як формальний тиск з боку контролюючих органів.

Економічний та соціальний ефект від інтеграції психосоціального менеджменту в загальну систему цивільної безпеки є довгостроковим і стабільним. Зменшення рівня стресу на робочих місцях сприяє підвищенню продуктивності праці, покращує якість проведення наукових досліджень та знижує кількість лікарняних листів серед співробітників випробувального центру. Університет, який реально дбає про фізичне і ментальне здоров'я свого колективу, демонструє високий рівень корпоративної культури, що зміцнює його авторитет серед інших вітчизняних та закордонних закладів вищої освіти.

Таким чином, розширення меж охорони праці за рахунок управління психосоціальними ризиками дозволяє створити цілісну та гуманну систему безпеки в ХНУМГ імені О.М. Бекетова. Поєднання сучасних технічних засобів колективного захисту з психологічною підтримкою та свідомим ставленням людей до власних дій гарантує надійний захист життя і здоров'я колективу та забезпечує сталий розвиток університету в сучасних умовах.

Висновки

Реалізація принципів соціальної відповідальності трансформує систему охорони праці з контролюючого органу на стратегічний інструмент захисту людського капіталу. Науково обґрунтоване визначення категорій пожежної небезпеки лабораторій (виконане у розділі 2) є яскравим проявом соціальної відповідальності, оскільки воно дозволяє впроваджувати точкові, технічно та економічно вивірені інженерні системи захисту, гарантуючи збереження життя та здоров'я учасників освітнього процесу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було виконано комплексне дослідження, присвячене аналізу впливу категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою на індивідуальні й колективні рівні ризику працівників та здобувачів вищої освіти.

Отримані результати дозволили сформулювати наступні наукові та практичні підсумки.

На основі ґрунтовного аналізу вітчизняної нормативно-правової бази та міжнародних стандартів було встановлено, що традиційний детермінований підхід до визначення категорій за ДСТУ Б В.1.1-36:2016 має суттєві обмеження, оскільки він розглядає параметри аварії як статичні та незмінні величини. Проведені розрахунки для п'яти приміщень навчально-наукового випробувального центру університету показали, що значення надлишкового тиску вибуху для всіх об'єктів формально не перевищують нормативний поріг 5 кілопаскалів, а питоме пожежне навантаження знаходиться в межах безпечних значень. Це дозволило класифікувати машзал, геотехнічну лабораторію, лабораторію інженерних мереж, майстерню та комору як приміщення найнижчої категорії Д. Проте мізерний нормативний запас міцності для машзалу та майстерні вказав на наявність високої прихованої вразливості об'єктів університету [34].

Застосування методів стохастичного моделювання та аналізу чутливості у середовищі Maple дозволило повністю спростувати уявну безпечність досліджуваних підрозділів. Коли маса небезпечних речовин була розглянута як випадкова величина, що підпорядковується нормальному закону розподілу Гаусса, реальна картина безпеки кардинально змінилася. Математичний аналіз зафіксував, що для машзалу лабораторії фізико-механічних досліджень та для приміщення майстерні ймовірність вибухового сплеску тиску понад норму становить критичні 40,13 відсотка та 35,20 відсотка відповідно. Це довело, що за наближення системи до граничної межі безпеки

будь-яке випадкове коливання маси речовини через людський фактор чи збій автоматики з високою імовірністю переводить об'єкт у вибухонебезпечний стан.

Запропоновано повну автоматизацію процесів протипожежного захисту випробувального центру. Проект включає встановлення точкових димових сповіщувачів у коморі та лабораторії інженерних мереж, а також комбінованих датчиків полум'я та тепла у машзалі й майстерні.

Детально пропрацьовано організаційно-планувальну частину щодо забезпечення безпечної евакуації людей з корпусу А-6 та електротехнічного корпусу. Розроблені план-схеми евакуації

У межах дослідження показано, що науково обґрунтоване категоризування приміщень та управління ризиками є прямим та обов'язковим проявом корпоративної соціальної відповідальності адміністрації закладу вищої освіти перед своїм колективом. Впровадження інноваційної міжнародної стратегії «Vision Zero» та інтеграція запропонованих інженерно-технічних рішень дозволяють університету перейти від формального виконання інструкцій до створення реального безпечного та нешкідливого робочого й освітнього середовища, що гарантує збереження унікального наукового потенціалу та захист людського капіталу.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34-35. Ст. 458.
2. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2025 року / Департамент цивільного захисту та превентивної діяльності ДСНС України. Київ, 2026. URL:<https://dsns.gov.ua/upload/2/5/5/1/7/8/2/analitichna-dovidka-pro-pozezi-2025.pdf>.
3. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 42 с.
4. NFPA 45: Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals. National Fire Protection Association. Quincy : NFPA, 2024. 68 p.
5. Anyanwu, Brilliance & Akaranta, Onyewuchi & Nwaogazie, Ify. (2016). Evaluation of Fire Safety Management in a Higher Education Institution: A Case Study of University of Port Harcourt. Archives of Current Research International. 4. 1-13. 10.9734/ACRI/2016/27684.
6. Rumiazizah Novanandini, Ekkywona & Dewi, Ova & Nugroho, Y. (2021). Evaluation of fire safety maintenance of an educational laboratory facility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 933. 012029. 10.1088/1755-1315/933/1/012029.
7. Özbakır, Okan & Yazar, Sorumlu. (2023). Occupational Health and Safety Risk Assessment and Mitigation in Chemistry Laboratories: A Case Study of Iğdır University. 4. 1-20.
8. Правила пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України : Наказ Міністерства освіти і науки України від 15.08.2016 № 974. Офіційний вісник України. 2016. № 76. Ст. 2548.
9. OSHA 3404-11. Laboratory Safety Guidance. Occupational Safety and Health Administration. Washington : U.S. Department of Labor, 2011. 44 p.
10. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. Ст. 668.

- 11.Правила пожежної безпеки в Україні: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. Офіційний вісник України. 2015. № 24. Ст. 680.
- 12.ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. К.: Мінрегіон України, 2017. 47 с.
- 13.ДБН В.1.2-7:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. К.: Мінрегіон України, 2021. 36 с.
- 14.ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. К.: Мінрегіон України, 2018. 54 с.
- 15.ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К.: Мінрегіон України, 2014.
- 16.ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. К.: Мінрегіон України, 2015. 148 с.
- 17.ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 28 с.
- 18.ДСТУ ISO 23601:2019. Ідентифікація безпеки. Плани евакуації під час пожежі. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 24 с.
- 19.ДСТУ EN ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 46 с.
- 20.ДСТУ ISO 31000:2018. Управління ризиками. Настанови. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 22 с.
- 21.ДСТУ EN IEC 31010:2022. Керування ризиками. Методи оцінювання ризиків. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 84 с.
- 22.ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 48 с.
- 23.ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 34 с.
- 24.ДСТУ 7313:2013. Знаки безпеки та системи евакуаційні фотолюмінесцентні. Загальні технічні вимоги. К.: Мінекономрозвитку України, 2013. 28 с.

- 25.ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. К.: Мінрегіон України, 2018. 36 с.
- 26.ДБН В.1.2-10:2021. Захист від шуму та вібрації. К.: Мінрегіон України, 2021. 42 с.
- 27.Порядок ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки: Постанова Кабінету Міністрів України від 13.09.2022 № 1030. Офіційний вісник України. 2022. № 75. Ст. 4532.
- 28.Про затвердження Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях: Постанова Кабінету Міністрів України від 26.06.2013 № 444. Офіційний вісник України. 2014.
- 29.Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. К / Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 353 с.
- 30.Жуковський С. С. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд [Текст] : Навчальний посібник / С. С. Жуковський, В. Й. Лабай. – Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. – 259 с.
- 31.Безпека життєдіяльності: навчальний посібник / В. В. Березуцький, Л. А. Васьковець, Н. П. Вершиніна Н.П. [та ін.]; за ред.. проф. В .В. Березуцького. – Х. : Факт, 2015. – 348 с.
- 32.Костюк І. Ф. Професійні хвороби: підручник / І. Ф. Костюк, В. А. Капустник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Київ : Здоров'я, 2003. – 636 с.
- 33.Шулгін В. С., Шмандій В. М. Процеси та апарати промислових технологій: навч. посібник. К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
- 34.Про затвердження Положення про організацію роботи з охорони праці та безпеки життєдіяльності учасників освітнього процесу в установах і закладах освіти: Наказ Міністерства освіти і науки України від 26 грудня 2017 р. № 1669. Офіційний вісник України. 2018. № 14.
- 35.Русу А. С., Ключка Ю. П. Аналіз впливу категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою на рівень ризику працівників закладу вищої освіти. Сталий розвиток міст: поствоєнний період: матеріали

XIX Всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти (91-ї науково-технічної конференції ХНУМГ ім. О. М. Бекетова) : у 5 ч. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. Ч. 3. С. 378–380.

Перелік графічного матеріалу

1. Тема роботи, відомості про автора та наукового керівника.
2. Мета роботи, об'єкти дослідження та актуальність теми.
3. Характеристика та схема корпусів.
4. Специфіка технологічних процесів та характеристики горючих речовин у приміщеннях.
5. Класична детермінована методика розрахунку за нормами ДСТУ Б В.1.1-36:2016.
6. Зведена інформація результатів розрахунку тиску вибуху та пожежного навантаження.
7. Обґрунтування переходу до імовірнісного моделювання ризиків перевищення тиску.
8. Графіки аналізу чутливості тиску вибуху до випадкових коливань маси речовин.
9. Порівняльна діаграма ймовірностей аварії для рівномірного та нормального законів розподілу
10. Комплексна схема інженерно-технічних заходів захисту та аварійної вентиляції.
11. План-схеми безпечної евакуації людей.
12. Висновки.