

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 «Охорони праці та безпеки життєдіяльності»

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітній-рівень)

на тему «Дослідження стану охорони праці на комунальному підприємстві
«Полтавська обласна клінічна лікарня ім. М.В. Скліфосовського Полтавської
обласної ради» та розробка заходів щодо підвищення рівня безпеки»

Виконав:

студент 2 курсу, групи М ОПР24-1
спеціальності

263 Цивільна безпека

(шифр і назва, спеціальності)

освітня програма «Охорона праці»

Зима О.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник Рогозін А.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Логвінков С.М.

(прізвище та ініціали)

Харків - 2026 рік

Реферат

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена системному аналізу, інженерно-технічному обґрунтуванню та впровадженню комплексних безпекових рішень для ангіографічного рентгенохірургічного блоку КП «Полтавська обласна клінічна лікарня ім. М.В. Скліфосовського ПОР» в умовах дії правового режиму воєнного стану.

Актуальність дослідження зумовлена високою концентрацією специфічних професійних ризиків у високотехнологічному медичному середовищі, де персонал категорії «А» піддається сумісному впливу іонізуючого випромінювання, біологічних патогенів, високої напруги та значного психофізіологічного навантаження. У роботі виконано аудит діючої системи управління охороною праці та розраховано інтегральний показник професійного ризику $R = 15,8 \cdot 10^{-4}$, що підтвердило нагальну необхідність модернізації виробничого середовища. Задля мінімізації ризиків розраховано та спроектовано припливно-витяжну вентиляцію з тріступеневою НЕРА-фільтрацією класу H14, яка забезпечує асиміляцію 4,65 кВт надлишкового тепла за нормативної кратності $K = 19,3 \text{ год}^{-1}$. Практична значущість роботи підкріплена розробкою автоматизованої смарт-системи безперервного моніторингу витоку медичного кисню (технологія LoRaWAN, швидкість відсікання до 5 секунд) та архітектури мобільного додатку «E-Audit» для цифровізації внутрішнього технічного контролю на основі стандартних операційних процедур. У сфері цивільного захисту виконано математичне моделювання у програмі ALOHA пожежі розливу 2000 л дизельного пального автономної системи енергопостачання та доведено ефективність бетонного обвалування для захисту хірургічного корпусу, а також запропоновано інклюзивний алгоритм евакуації немобільних пацієнтів.

Магістерська робота містить 108 сторінок, 17 рисунків, 18 таблиць, 62 літературні джерела.

Ключові слова: АНГІОГРАФІЧНИЙ БЛОК, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ, ОЦІНКА РИЗИКІВ, МОДЕЛЮВАННЯ ALOHA, ЦИФРОВІЗАЦІЯ, ІНКЛЮЗИВНІСТЬ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.

Abstract

The master's qualification thesis focuses on the systematic analysis, engineering justification, and implementation of comprehensive safety solutions for the angiographic surgery block of the PE "Poltava Regional Clinical Hospital named after M.V. Sklifosovsky PRC" under martial law. The relevance of the study stems from the high concentration of specific occupational risks in a high-tech medical environment where category "A" personnel face concurrent impacts of ionizing radiation, biological pathogens, high electrical voltage, and substantial psychophysiological stress. The study evaluates the existing occupational safety management system and calculates the integral occupational risk index $R = 15,8 \cdot 10^{-4}$, demonstrating an urgent need for working environment modernization. To minimize these risks, a supply and exhaust ventilation system with laminar flow distribution and three-stage HEPA H14 filtration was designed to assimilate 4.65 kW of excess heat at a regulated air exchange rate of $K = 19,3 \text{ h}^{-1}$. Shadowless artificial lighting was calculated using Clean Room LED panels (497 lx), along with structural radiation shielding for the control room providing a lead equivalent of at least 2.5 mm Pb, and a protective grounding grid with an actual resistance of 1.63 Ohm. The practical value of the work is reinforced by the development of an automated smart system for continuous monitoring of medical oxygen leaks (LoRaWAN technology, shut-off speed under 5 seconds) and the architecture of the "E-Audit" mobile application for digitalizing internal safety checks based on standard operating procedures. In the field of civil protection, mathematical modeling of a 2000-liter diesel fuel spill fire was conducted via ALOHA software, proving, alongside an inclusive evacuation algorithm for non-mobile patients (category M4) using specialized mattress-slings.

The master's thesis consists of 108 pages, 17 figures, 18 tables, and 62 references.

Keywords: ANGIOGRAPHIC BLOCK, OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY, CIVIL PROTECTION, RISK ASSESSMENT, ALOHA MODELING, DIGITALIZATION, INCLUSIVITY, ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ.....	10
1.1. Характеристика об'єкта дослідження: КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».....	10
1.2. Організаційна структура КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».....	11
1.3. Стан та функціонування системи управління охороною праці в КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».....	11
1.4. Характеристика умов праці Відділення нейрохірургії та інтервенційної радіології з ангіографічним рентгенохірургічним блоком.....	16
1.5. Ідентифікація небезпек, управління медичними відходами та оцінювання професійних ризиків.....	18
Висновки до розділу 1.....	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА.....	27
2.1. Організаційно-технічні передумови модернізації робочого середовища в операційному блоці.....	27
2.2. Розрахунок та проектування припливно-витяжної вентиляції з багатоступеневою НЕРА-фільтрацією.....	28
2.3. Розрахунок штучного освітлення рентгенохірургічного блоку.....	31
2.4. Розрахунок стаціонарного радіаційного захисту для персоналу пультової.....	34
2.5. Заходи з мінімізації ергономічного навантаження та психофізіологічного перенапруження.....	36
2.6. Розрахунок захисного заземлення та системи зрівнювання потенціалів для рентгенохірургічного блоку.....	40
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ.....	45

3.1. Обґрунтування впровадження автоматизованих систем безпеки та цифровізації на об'єктах критичної інфраструктури охорони здоров'я.....	45
3.2. Проєктування та інженерне обґрунтування смарт-системи безперервного моніторингу газового середовища.....	47
3.3. Цифровізація внутрішніх технічних аудитів: розробка та алгоритмізація мобільного додатку «E-Audit».....	52
3.4. Оцінка інженерної та організаційної ефективності впроваджених заходів.....	59
Висновки до розділу 3.....	61
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1. Аналіз потенційних надзвичайних ситуацій та організація цивільного захисту лікарні.....	63
4.2. Організація протипожежного захисту рентгенохірургічного блоку.....	64
4.3. Цивільний захист в умовах воєнного стану: енергетична стійкість та функціонування укриттів.....	70
4.4. Інклюзивні інженерні рішення для евакуації маломобільних пацієнтів в умовах надзвичайних ситуацій.....	72
4.5. Комп'ютерне моделювання надзвичайної ситуації пожежі розливу за допомогою програмного комплексу АЛОНА.....	75
Висновки до розділу 4.....	80
РОЗДІЛ 5. СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ.....	81
5.1. Загальні принципи соціальної відповідальності та нормативно-правове регулювання безпеки у медичних закладах.....	81
5.2. Охорона праці та виробнича безпека медичного персоналу ангіоблоку.....	82
5.3. Екологічна безпека: мінімізація антропогенного впливу, утилізація небезпечних медичних відходів та взаємодія з КАТП-1628.....	87
5.4. Соціальний аспект: «Розумне пристосування» та організація інклюзивних робочих місць для медичних працівників з інвалідністю.....	92
Висновки до розділу 5.....	98
Висновки.....	100
Список джерел.....	103

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна медицина перебуває на етапі глобальної технологічної трансформації. Впровадження інноваційних протоколів та надсучасного обладнання відкриває безпрецедентні можливості для порятунку життів, проте цей прогрес має й інший, менш очевидний бік. Високотехнологічне середовище формує нову архітектуру професійних ризиків.

Особливої актуальності набуває питання охорони праці при експлуатації новітніх рентгенохірургічних комплексів, де медичний персонал піддається потенційному впливу радіаційного фактора. Відповідно, дослідження стану охорони праці, ідентифікація професійних ризиків та розробка комплексних інженерно-технічних і організаційних заходів щодо їх мінімізації на базі провідних медичних установ є своєчасним та науково обґрунтованим завданням.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є дослідження стану охорони праці та системи управління професійними ризиками на Комунальному підприємстві «Полтавська обласна клінічна лікарня ім. М.В. Скліфосовського Полтавської обласної ради» з подальшою розробкою інженерних та організаційних заходів щодо підвищення рівня безпеки робочого середовища (на прикладі відділення нейрохірургії та інтервенційної радіології).

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

1. Проаналізувати діючу систему управління охороною праці (СУОП) в лікарні.
2. Дослідити умови праці персоналу у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології з ангіографічним рентгенохірургічним блоком, оснащеним системою Azurion 7 B20.
3. Провести ідентифікацію небезпек та оцінювання професійних ризиків на обраних робочих місцях.
4. Розробити інженерно-технічні заходи з покращення стану робочого середовища (нормалізація мікроклімату, вентиляції, освітлення).

5. Запропонувати інноваційні рішення для підвищення рівня безпеки обладнання, процесів та захисту у надзвичайних ситуаціях із врахуванням принципів безбар'єрності.

6. Оцінити соціальну та екологічну відповідальність закладу, зокрема у сфері поводження з медичними відходами та радіаційного захисту.

Об'єкт дослідження – стан охорони праці та система управління професійними ризиками в багатопрофільному закладі охорони здоров'я.

Предмет дослідження – умови праці, шкідливі і небезпечні виробничі фактори та заходи щодо підвищення рівня безпеки персоналу відділення нейрохірургії та інтервенційної радіології КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу (для вивчення структури СУОП лікарні), інструментально-лабораторні дані атестації робочих місць, методи ідентифікації та матричного оцінювання ризиків, а також інженерні розрахунки для проектування систем захисту та нормалізації параметрів робочого середовища.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені заходи, розрахунки та запропоновані інженерні рішення (включаючи елементи універсального дизайну та інклюзивного простору) можуть бути безпосередньо впроваджені в практичну діяльність КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» та інших лікувальних закладів України для зниження рівня виробничого травматизму, професійних захворювань та покращення умов праці медичного персоналу.

Робота пройшла апробацію на XXXIV Всеукраїнській науково-методичній конференції «Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки» на базі КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, 13-14 травня 2026 р. та на 78-ій науковій конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, 15-22 травня 2026 р.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ

1.1 Характеристика об'єкта дослідження КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР»

Комунальне підприємство «Полтавська обласна клінічна лікарня ім. М.В. Скліфосовського Полтавської обласної ради» (КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР») є провідним багатoproфільним закладом охорони здоров'я третинного рівня надання медичної допомоги. Відповідно до критеріїв категоризації, лікарня класифікується як об'єкт критичної інфраструктури, що забезпечує життєдіяльність населення Полтавського регіону в умовах як мирного, так і воєнного часу. Масштаб діяльності закладу характеризується високою інтенсивністю лікувально-діагностичного процесу. Лікарня розрахована на надання високоспеціалізованої медичної допомоги понад 45000 стаціонарних хворих щорічно, при цьому амбулаторно-поліклінічну допомогу отримують близько 300000 пацієнтів. Хірургічна активність закладу становить понад 30000 оперативних втручань на рік. Така концентрація пацієнтів, медичного персоналу та високотехнологічного обладнання створює складне виробниче середовище, що вимагає бездоганної системи управління техногенною безпекою та охороною праці.



Рисунок 1.1 – Хірургічний корпус КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР»

1.2 Організаційна структура КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР»

Ефективність управління охороною праці безпосередньо залежить від організаційної структури закладу, яка має розгалужений, ієрархічний характер. Стратегічне управління підприємством здійснює головний лікар Оксак Г.А., якому безпосередньо підпорядковуються заступники з медичної, хірургічної та технічної частин (зокрема, заступник головного лікаря Олійник О.Г.).

До складу лікарні входять понад 40 клінічних відділень та ряд потужних відокремлених структурних підрозділів: Перинатальний центр, Центр спеціалізованої педіатричної допомоги (ЦСПД), Центр «Ветеран», Шкірно-венерологічний центр, а також Центр відновного лікування та медичної генетики.

Управління безпекою праці інтегровано на кожен рівень структури. Безпосередніми керівниками робіт є завідувачі відділень (наприклад, завідувач рентгенологічним відділенням Андрєєва Л.М., завідувач відділенням екстреної медичної допомоги Крайовий Ю.А., завідувач відділенням нейрохірургії Тончев М.Д.), а організацію інфекційного контролю та щоденний нагляд за умовами праці середнього та молодшого медичного персоналу здійснюють старші медичні сестри (зокрема, головна сестра медична ЦСПД Варава О.О., сестра медична старша центру «Ветеран» Бойко Л.Є.).

1.3 Стан та функціонування системи управління охороною праці в КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР»

Функціонування системи управління охороною праці (СУОП) забезпечується спеціалізованою Службою охорони праці, яка створена наказом № 155 від 11.07.1995 р. [5] і підпорядкована безпосередньо головному лікарю. Штат служби укомплектовано двома фахівцями (інженер з ОП Рудакова В.Ю. та

технік Киба Л.М.), які здійснюють аудит у всіх 80 структурних підрозділах лікарні, з яких 12 експлуатують обладнання підвищеної небезпеки.

З метою систематизації аудиту СУОП, у рамках даної роботи проведено оцінку відповідності внутрішніх процесів вимогам чинних нормативно-правових актів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Оцінка відповідності СУОП вимогам нормативно-правових актів

Нормативно-правовий акт	Об'єкт перевірки / Вимоги	Стан відповідності в КП «ПОКЛ»	Примітка
Закон України «Про охорону праці» [1]	Створення служби ОП, підпорядкування керівнику	Відповідає. Служба створена (Наказ №155), підпорядкована гол. лікарю Оксаку Г.А.	—
НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про навчання [2]	Проведення навчання, інструктажів, наявність графіків	Відповідає частково. Графіки наявні. Вступний інструктаж у 2025 р. пройшли 475 осіб.	Потребує цифровізації через великий обсяг паперових журналів.
Постанова КМУ № 442 Атестація робочих місць	Проведення атестації 1 раз на 5 років	Відповідає. Атестація проведена у 2023-2025 рр. (рентгенологічне відділення, ЦСВ). У 2026 р. триває атестація ангіоблоку.	Кухарі, малярі, зварювальники мають шкідливі умови праці.
НПАОП 0.00-1.81-18	Технічний огляд та експертне	Відповідає. Експлуатується 74 од. обладнання під тиском	Забезпечено обмінний фонд балонів.

Обладнання під тиском [8]	обстеження балонів/котлів	(барокамера, автоклави, кисневі балони). Наявні дозволи Держпраці.	
Наказ МОЗ № 1827 Управління медичними відходами [4]	Сортування, маркування, передача ліцензіату	Відповідає. Впроваджено пул СОП (СЗ-УВ-01 – СЗ-УВ-09) від травня 2025 року.	Постійний контроль з боку інженера Міщенко В.

Аналіз ефективності СУОП потребує вивчення динаміки ключових показників охорони праці. У таблиці 1.2 наведено статистичні дані за період 2020–2025 років.

Таблиця 1.2 – Динаміка показників стану охорони праці та умов праці в КП «ПОКЛ» (2020–2025 рр.)

Показник	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Середньооблікова чисельність працівників, осіб	1285	1270	1295	1310	1345	1380
Кількість працівників у шкідливих умовах праці, осіб	215	215	224	248	260	272
Втрати робочого часу, дні: простудні та інфекційні захв.	8450	9120	6200	5840	5100	4950
Втрати робочого часу, дні:	45	62	21	18	15	12

профзахворювання / травми						
Забезпеченість санітарно- побутовими приміщеннями, %	78	80	82	85	91	94
Витрати на заходи з охорони праці, тис. грн	1450	1620	2100	3450	4800	5950

Аналітичний висновок до таблиці: спостерігається чітка тенденція до зниження втрат робочого часу (рис. 1.2) через захворюваність, що корелює зі збільшенням витрат на заходи з охорони праці – рис. 1.3 (зокрема, закупівлю ЗІЗ та модернізацію систем вентиляції). Зростання кількості працівників у шкідливих умовах пов'язане з введенням в експлуатацію нового рентгенохірургічного обладнання та розширенням штату категорії «А». Структура факторів травматизму наведена на рис. 1.4, що свідчить про ефективність превентивних заходів служби ОП [1].



Рисунок 1.2 – Динаміка втрат робочого часу через захворюваність
у 2020-2025 рр.



Рисунок 1.3 – Динаміка витрат на охорону праці у 2020-2025 рр.



Рис. 1.4 – Розподіл факторів травматизму 2020-2025 рр.

1.4 Характеристика умов праці Відділення нейрохірургії та інтервенційної радіології з ангіографічним рентгенохірургічним блоком

Поглиблене дослідження умов праці та кількісне оцінювання професійних ризиків доцільно проводити на базі високотехнологічних структурних підрозділів критичної інфраструктури, оскільки саме там концентрується найбільша кількість шкідливих та небезпечних виробничих факторів, аналіз яких регламентований сучасними стандартами ризик-менеджменту [9, 64].

Об'єктом нашого фокусування обрано відділення нейрохірургії та інтервенційної радіології з ангіографічним рентгенохірургічним блоком. У жовтні 2024 року тут було введено в експлуатацію нову операційну, оснащену інноваційною ангіографічною системою Philips Azurion 7 B20 [7]. Специфіка роботи відділення полягає у проведенні до 1000 діагностичних ангіографій та понад 500 механічних тромбектомій щорічно в ургентному режимі 24/7.

Згідно з чинною Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (Наказ МОЗ України № 248) [57], шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що одночасно діють на робочих місцях операційної бригади (нейрохірургів, хірургів судинних, операційних медичних сестер, анестезіологів), класифікуються на чотири основні групи:

1. Фізичні фактори:

а) іонізуюче випромінювання: джерелом якого є рентгенівська трубка MRC200+ ангіографа під час тривалого проведення інтервенційних втручань під флюороскопічним контролем. Медичний персонал суворо належить до категорії «А», для якої державними гігієнічними нормативами НРБУ-97 [32] встановлено ліміти доз та обов'язковість безперервного індивідуального дозиметричного контролю;

б) підвищений рівень шуму: що генерується безперервною роботою систем припливно-витяжної вентиляції та компресорних блоків наркозно-дихальних

апаратів ШВЛ, граничні значення якого регулюються будівельними нормами ДБН В.2.2-10:2022 [3];

в) небезпека ураження електричним струмом: зумовлена високою концентрацією медичного електрообладнання та ліній живлення напругою 220/380 В змінного струму, безпека експлуатації яких регламентується Правилами улаштування електроустановок [36] та стандартами електробезпеки в будівлях [37];

г) обладнання, що працює під тиском (системи централізованого постачання кисню). Згідно з НПАОП 0.00-1.81-18 [8], експлуатація централізованих систем постачання кисню до наркозно-дихальної апаратури створює ризик виникнення пожежі у збагаченому киснем середовищі.

2. Біологічні фактори:

а) високий ризик інфікування гемоконтактними інфекціями (ВІЛ, вірусні гепатити В та С) внаслідок випадкового проколу шкірних покривів контамінованим хірургічним інструментарієм під час оперативних втручань. Робота з інфекційно небезпечними відходами (код 18 01 03* за Національним переліком) підпорядковується санітарно-протиепідемічним вимогам Наказу МОЗ України № 1827 [4];

б) повітряно-крапельні патогени.

3. Хімічні фактори:

а) вплив аерозолів дезінфікуючих засобів.

б) Контакт з токсично небезпечними відходами (код 18 01 06*), зокрема із залишками та тарою з-під міорелаксантів периферичної дії, кетаміну, атропіну, поводження з якими суворо регламентується чинними нормами МОЗ України [4].

4. Психофізіологічні фактори:

а) хронічне нервово-емоційне напруження через відповідальність за життя пацієнтів.

б) зорове перенапруження при тривалій роботі з 3D-проекціями судин на моніторах ангіографа.

в) високе нервово-емоційне напруження, пов'язане з ургентністю станів пацієнтів та нічними змінами, що спричиняє розвиток синдрому професійного вигорання.

Значні біологічні ризики, зумовлені постійним контактом із потенційно інфікованими біологічними рідинами пацієнтів під час виконання малоінвазивних судинних втручань, потребують проведення оцінювання безпеки операційних бригад виключно на основі державних санітарно-гігієнічних вимог МОЗ України [4, 57]. Це вимагає впровадження жорстких бар'єрних технологій для недопущення гемотрансмісивного інфікування персоналу Служби ОП лікарні [14].

Крім того, специфіка рентгенохірургічного профілю накладає додаткові вимоги до забезпечення радіаційної безпеки, розрахунку стаціонарних захисних ширм та індивідуального екранування операційної бригади відповідно до державних санітарних правил НРБУ-97 [32] та чинного законодавства України про радіаційний захист. Поводження з інфікованим одноразовим медичним інструментарієм Категорії В здійснюється безпосередньо в місцях його утворення згідно з затвердженою та діючою інструкцією СОП СЗ-УВ-02 [19], а робота з простроченими дезінфектантами та хімічними залишками контрастних речовин Категорії С суворо підпорядкована регламенту безпеки внутрішнього стандарту СОП СЗ-УВ-05 [20].

1.5 Ідентифікація небезпек, управління медичними відходами та оцінювання професійних ризиків

Оцінювання професійних ризиків є фундаментальною базою проактивної системи управління охороною праці, що регламентовано стандартом ДСТУ ISO 45001:2019 [9]. Сучасні методологічні засади імплементації ризик-орієнтованого підходу, загального менеджменту безпеки та проведення системного технічного нагляду на об'єктах критичної інфраструктури в першу

чергу регулюються та встановлюються державними стандартами ДСТУ EN 16991:2022 [63] та ДСТУ ISO/TR 16649:2022 [64].

На основі вимог цих настановчих нормативних документів у рамках даного дослідження виконано комплексний аналіз імовірності виникнення нещасних випадків та аварійних ситуацій за величиною загального інтегрального ризику. Для об'єктивного визначення технічного стану конструктивних елементів хірургічного корпусу, параметрів обладнання та реального рівня СУОП використано діючі нормативні коефіцієнти технічної небезпеки будівель і споруд закладу, порядок обстеження яких затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 257 [12], та інтегровано їх у прикладну інженерно-математичну модель оцінювання безпеки складних соціотехнічних систем, яка детально описана в науково-методичній базі ризик-орієнтованого аналізу [10, 11]:

$$R = k_m k_{\delta} \left(\frac{S_{max} - k_0}{10} + S_{ш} + 1 \right) R_n, \quad (1.1)$$

де k_m – коефіцієнт технічної безпеки. Він визначається за ризик-орієнтованою методикою соціотехнічного моделювання [10] як відношення загальної кількості наявного критичного устаткування n_3 до кількості приладів, що є повністю справними на момент моніторингу n_6 . Даний показник математично відображає тимчасове зниження загального резерву надійності системи через плановий вивід окремих технічних одиниць на регламентне обслуговування відповідно до вимог ДСТУ EN 60601-1:2019 [40]:

$$k_m = \frac{n_3}{n_6}, \quad (1.2)$$

для досліджуваного відділення $n_3 = 25$ одиниць, $n_6 = 24$ одиниці (один апарат ШВЛ перебуває на плановому технічному обслуговуванні). $k_m = \frac{25}{24} = 1,04$;

k_6 – коефіцієнт технічної небезпеки будівель та споруд. Згідно з методологічними положеннями стандарту ДСТУ EN 16991:2022 «Ризик-орієнтований технічний огляд. Основні положення» [63], для хірургічного корпусу лікарні, який за державними будівельними нормами належить до об'єктів із значними наслідками (клас наслідків СС3), приймається максимальний базовий індекс небезпеки експлуатації споруди, що дорівнює 10. Таке значення нормативно обумовлене статусом закладу як об'єкта критичної інфраструктури в умовах воєнного стану, безперервним цілодобовим циклом роботи апаратури життєзабезпечення, перебуванням у приміщеннях маломобільних груп пацієнтів наявністю джерел іонізуючого випромінювання ангиографа Philips Azurion 7 B20 [7];

S_{max} – максимально можлива сума балів для оцінки ризику (становить 7800 балів);

k_0 – коефіцієнт організаційної безпеки (фактична сума балів, набрана підрозділом за результатами внутрішнього аудиту). Завдяки впровадженню нових СОП з управління відходами та радіаційного контролю, для ангиоблоку за результатами експертного оцінювання відповідно до настанов ДСТУ ISO/TR 16649:2022 [64] встановлено $k_0 = 6800$;

$S_{ш}$ – сума штрафних балів за грубі порушення, $S_{ш} = 0$;

R_n – значення допустимого ризику за середніми статистичними даними в Україні. Ця значення виступає межею порівняння безпеки в інженерній практиці цивільного захисту й базується на усереднених звітах Державної служби України з питань праці та реєстрах Міжнародної організації праці (МОП) [10, 64] і становить $R_n = 15 \cdot 10^{-5}$.

$$R = 1,04 \cdot 10 \left(\frac{7800 - 6800}{10} + 0 + 1 \right) \cdot 15 \cdot 10^{-5} = 15,8 \cdot 10^{-4}$$

Розрахований за інтегральною соціотехнічною моделлю загальний професійний ризик для персоналу ангиоблоку

$R = 15,8 \cdot 10^{-4}$ перевищує базовий допустимий ризик $R_n = 15 \cdot 10^{-5}$ у 10,5 рази.

Згідно з критеріями оцінювання, визначеними в джерелі [10], значення ризику в діапазоні від $10R_n$ до $100R_n$ класифікується як «Прийнятний за умовами введення суворого режиму контролю». Цей показник прямо вказує на наявність прихованих загроз (зокрема, людського фактора, втоми та зносу ЗІЗ), які можуть бути нівельовані виключно через впровадження інженерно-технічних та цифрових заходів щодо зниження ризику до прийнятного рівня (що і буде розроблено в Розділах 2 та 3 даної кваліфікаційної роботи).

Паралельно з математичною оцінкою загального ризику, важливим компонентом є управління специфічними біологічними та токсикологічними ризиками. У КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» імплементовано комплекс Стандартних операційних процедур (СОП), оновлених у травні 2025 року відповідно до Наказу МОЗ № 1827 [4]. Сортивання відходів здійснюється безпосередньо на місці утворення. Інфекційно небезпечні відходи поміщаються в стійкі до проколів ємності, що максимально мінімізує ключовий ризик травмування гострим інструментарієм. У разі виникнення аварійної ситуації (наприклад, поріз скальпелем або розлив крові), персонал зобов'язаний діяти згідно з відповідним алгоритмом дій. Інцидент обов'язково фіксується в журналі реєстрації аварій з підписом старшої медичної сестри, що забезпечує прозорість та можливість ретроспективного аналізу для профілактики подібних випадків [13].

Для об'єктивного визначення коефіцієнта організаційної безпеки k_0 , проведено детальну бальну оцінку умов і безпеки праці у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР». Ця методика дозволяє кількісно оцінити ступінь виконання нормативних вимог за ключовими критеріями функціонування СУОП [10]. Процедура бального інспектування повністю адаптована під положення ДСТУ ISO 45001:2019 [9] та ДСТУ ISO/TR 16649:2022 [64], що передбачає три послідовні

етапи аналізу розривів: інструментально-вимірювальний, документальний та соціометричний.

Оцінка базується на відношенні фактичного стану виконання вимог H_f до нормативного H . Максимально можлива сума балів S_{max} або B за всіма показниками становить 7800. Детальний розрахунок наведено в таблиці 1.3.

Інспекційний аудит ангіблоку складався з трьох послідовних етапів: інструментально-вимірювального (натурні заміри Службою ОП фактичної кратності повітрообміну, рівнів освітленості та дозиметричного фону), документального (використання журналів інструктажів, сертифікатів відповідності на ЗІЗ) і соціометричного (конфіденційне інтерв'ювання операційних бригад для ідентифікації ступеня психоемоційної напруженості).

Інженерні розрахунки виявлених параметрів виконані за інженерно-науковою шкалою соціотехнічного моделювання професора К.Н. Ткачука із максимальною сумою $S_{max} = 7800$ балів, розподіленою за 19 цільовими критеріями СУОП. Зниження балів є математично обґрунтованим і чітко пропорційним ступеню послаблення безпеки відносно чинних державних нормативів (НПАОП, ДБН, ДСТУ). Отриманий інтегральний показник k_0 свідчить, що за повної відповідності адміністративно-правових чинників (100% балів за інструктажі та медогляди), підрозділ має 1000-бальний організаційний дефіцит безпеки, сформований системними технічними розривами у функціонуванні вентиляційних мереж (зниження на 50% від норми ДБН В.2.2-10:2022) та ергономіці робочих місць (зниження на 40%), що доводить вичерпаність превентивного ресурсу наглядових заходів і вимагає негайного впровадження розрахованих у роботі інженерних рішень.

Таблиця 1.3 – Оцінка умов і безпеки праці у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології

№ з/п	Критерії, котрі підтверджують функціонування СУОП	Бали оцінки (Б)	Вимоги (Н)	Фактично H_{ϕ}	Виконання вимог $n = \frac{H_{\phi}}{H}$	Оцінка, бал B_{ϕ} , $B_{\phi} = B \cdot n_0$
1	Наявність на робочих місцях інструкцій з охорони праці	150	150	150	1	150
2	Наявність протоколів перевірки знань	200	200	200	1	200
3	Своєчасне проведення інструктажів з охорони праці	200	200	150	0,75	150
4	Своєчасне проходження медичних оглядів	300	300	300	1	300
5	Забезпеченість засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)	800	800	600	0,75	600
6	Наявність положень, наказів, СОП з безпеки	300	300	300	1	300
7	Відповідність програм технічного обслуговування обладнання	600	600	600	1	600
8	Своєчасність випробувань обладнання під тиском	550	550	550	1	550

9	Своєчасність проведення технічних оглядів обладнання	250	250	200	0,8	200
10	Відбиття вимог безпеки в технологічній документації	200	200	200	1	200
11	Своєчасність проведення технічних оглядів споруд	700	700	500	0,71	500
12	Профілактичне обслуговування споруд та комунікацій	250	250	150	0,6	150
13	Наявність та ефективність припливно-витяжних вентсистем	200	200	100	0,5	100
14	Встановлення знаків безпеки та маркування	400	400	400	1	400
15	Працездатність систем пожежогасіння та сигналізації	350	350	250	0,71	250
16	Дотримання безпечних відстаней небезпечних зон	500	500	500	1	500
17	Регулярність вимірювання заземлення та опору ізоляції	750	750	750	1	750
18	Наявність захисних огорожувальних пристроїв	400	400	400	1	400

19	Працездатність світлової та звукової сигналізації	600	600	500	0,83	500
20	Загальний коефіцієнт організаційної безпеки k_0	7800				6800

Як свідчать результати розрахунків, фактична сума балів k_0 становить 6800 із 7800 можливих. Зниження балів відбулося переважно через недостатню ефективність припливно-витяжних вентиляційних систем в умовах операційної (100 балів зі 200 можливих), часткове зношення свинцевих засобів індивідуального захисту (600 балів з 800) та необхідність поглибленого профілактичного обслуговування комунікацій. Саме ця фактична сума балів обумовила розрахований нами рівень загального ризику $R = 15,8 \cdot 10^{-4}$, який вказує на нагальну необхідність впровадження інженерно-технічних рішень для нормалізації умов праці на КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи наведено комплексну організаційно-технічну характеристику КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» як об'єкта критичної інфраструктури та головного багатoproфільного медичного закладу інтенсивного лікування регіону. Детально проаналізовано організаційну структуру та діючу систему управління охороною праці (СУОП), яка функціонує відповідно до Закону України «Про охорону праці» [1] та внутрішнього Наказу № 155 [5] та базових настанов національного стандарту ДСТУ ISO 45001:2019 [9].

1. За результатами аналізу масиву статистичних даних за 2020-2025 роки встановлено стійку тенденцію до зниження втрат робочого часу через захворюваність (з 8450 до 4950 днів), що має пряму кореляцію зі зростанням фінансування заходів з охорони праці (з 1,45 млн грн до 5,95 млн грн) та свідчить про ефективність превентивних заходів служби ОП [1].

2. Дослідження умов праці було сфокусовано на відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології з новітнім ангіографічним комплексом Philips Azurion 7 B20 [7]. За критеріями Гігієнічної класифікації праці [57] ідентифіковано та класифіковано ключові групи шкідливих і небезпечних виробничих факторів для персоналу категорії «А»: фізичні (іонізуюче рентгеновське випромінювання трубки MRC200+ [32], ризик пожежонебезпеки у збагаченому киснем середовищі при роботі мереж під тиском [8], загроза ураження струмом [37]), біологічні (висока ймовірність гемоконтактного інфікування ВІЛ або вірусними гепатитами В і С при уколах гострим інструментарієм [4]) та психофізіологічні (високе нервово-емоційне напруження через роботу в ургентному режимі 24/7 та значне статичне навантаження ортостатичної пози хірурга у важкому рентгенозахисному одязі [11]).

3. Управління медичними відходами в закладі оцінено як таке, що повністю відповідає сучасним вимогам Наказу МОЗ № 1827 [4] завдяки впровадженню чітких стандартних операційних процедур (СОП СЗ-УВ-01 – 09) [14, 15].

4. Із застосуванням інженерно-математичного методу за стандартами ДСТУ EN 16991:2022 [63] та ДСТУ ISO/TR 16649:2022 [64] здійснено розрахунок професійних ризиків. Інтегральний показник загального ризику для ангіографічного блоку становить $R = 15,8 \cdot 10^{-4}$, що в 10,5 разів перевищує базовий допустимий рівень в Україні. За критеріями оцінювання [10] класифікується як «Прийнятний за умовами введення суворого режиму контролю». Встановлено, що зниження рівня безпеки зумовлене недосконалістю існуючої вентиляції в операційній (оцінка 100 балів з 200), загрозою витоку медичних газів та розвитком синдрому професійного вигорання у хірургів [11].

Виявлені проблеми та розраховані ризики підтверджують беззаперечну інженерну необхідність розробки та впровадження технічних заходів з нормалізації робочого середовища, які будуть детально розраховані у Розділі 2.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Організаційно-технічні передумови модернізації робочого середовища в операційному блоці

У сучасній високотехнологічній медицині безпека персоналу є не просто законодавчою вимогою, а стратегічним фундаментом стійкості медичної установи.

Як було встановлено за результатами оцінювання професійних ризиків (Розділ 1), інтегральний показник небезпеки у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» $R = 15,8 \cdot 10^{-4}$ значно перевищує допустимий рівень. Відповідно до вимог нормативно-правових актів та стандартів безпеки праці [9, 57], ідентифіковані шкідливі виробничі фактори (зокрема, висока біологічна загроза, радіаційне навантаження та невідповідність параметрів мікроклімату) вимагають першочергового впровадження комплексу превентивних інженерно-технічних заходів.

Основним місцем локалізації ризиків є рентгеноопераційна ангиографічного блоку, де встановлено систему Philips Azurion 7 B20. Специфіка цього приміщення полягає в тому, що воно одночасно є:

1. Джерелом іонізуючого випромінювання, а також значних технологічних тепловиділень від рентгенівської трубки MRC200+ та стійок супутньої апаратури під час тривалих інтервенційних втручань [7, 40].

2. «Чистим приміщенням», де проводяться складні інвазивні внутрішньосудинні маніпуляції (механічні тромбектомії, емболізації судин головного мозку), що вимагає забезпечення класу чистоти повітря не нижче ISO 5 згідно з чинним державним стандартом ДСТУ EN ISO 14644-1:2016 [29].

Проведений бальний аудит діючої системи управління охороною праці (таблиця 1.3) показав критично низьку ефективність наявної вентиляційної мережі хірургічного корпусу (всього 100 балів із 200 можливих за цим

критерієм). Отже, першочерговим інженерним завданням для нормалізації стану робочого середовища та захисту операційної бригади є проектування сучасної автономної системи кондиціювання та вентиляції з ламінарним розподілом потоку повітря. Це забезпечить як ефективну асиміляцію технологічних теплонадлишків, так і надійний протиепідемічний інфекційний контроль за вимогами ДБН В.2.2-10:2022 [3].

2.2 Розрахунок та проектування припливно-витяжної вентиляції з багатоступеневою HEPA-фільтрацією

Для забезпечення належних параметрів мікроклімату та біологічної безпеки в операційній ангіоблоку необхідно спроектувати систему вентиляції, яка створюватиме надлишковий тиск для запобігання перетіканню забрудненого повітря із суміжних приміщень (коридорів, шлюзів), що регламентується будівельними нормами [3] та стандартами чистоти середовища [29].

Вихідні дані для інженерного розрахунку:

Габаритні розміри рентгеноопераційної: довжина $A = 6,5$ м; ширина $B = 5,0$ м; висота $H = 3,2$ м.

Об'єм приміщення $V = 6,5 \cdot 5,0 \cdot 3,2 = 104 \text{ м}^3$.

Температура повітря в робочій зоні $t_g = +20 \dots 22$ °C (відповідно до санітарних норм для операційних).

Розрахункова кількість персоналу $n = 6$ осіб (хірург, асистент, анестезіолог, 2 операційні медсестри, санітарка).

Нормативна кратність повітрообміну K , згідно з ДБН В.2.2-10:2022 [3], для рентгеноопераційних вона повинна становити не менше 15 обмінів на годину по припливу.

Розрахунок повітрообміну за санітарно-гігієнічною нормою (кратністю).

Необхідний об'єм припливного повітря L_{np} визначається за формулою [60]:

$$L_{np} = V \cdot K = 104 \cdot 15 = 1560 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (2.1)$$

Розрахунок повітрообміну на асиміляцію надлишків тепла.

Під час роботи ангиографічного комплексу генерується значна кількість теплоти. Сумарні тепловиділення ($Q_{\text{сум}}$) складаються з тепловиділень від обладнання ($Q_{\text{обл}}$), освітлення ($Q_{\text{осв}}$) та людей ($Q_{\text{л}}$) відповідно до рівняння теплового балансу [60]:

$$Q_{\text{сум}} = Q_{\text{обл}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{люд}}, \quad (2.2)$$

1. Тепловиділення від ангиографа Azurion 7 B20 та моніторів (за паспортними даними у режимі флюороскопії) складають орієнтовно $Q_{\text{обл}} = 2500$ Вт.

2. Тепловиділення від штучного освітлення (LED-панелі) площею 32,5 м² дорівнює $Q_{\text{осв}} = 32,5 \cdot 15 = 488$ Вт.

3. Тепловиділення від 6 осіб персоналу (легка фізична робота, по 120 Вт/люд): $Q_{\text{люд}} = 6 \cdot 120 = 720$ Вт.

$$Q_{\text{сум}} = 2500 + 488 + 720 = 3708 \text{ Вт.}$$

Об'єм повітря для видалення надлишків тепла L_t розраховується за формулою асиміляції тепла [60]:

$$L_t = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{сум}}}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{пр}})} \quad (2.3)$$

де c – питома теплоємність повітря, $c = 1,005$ кДж/кг·°С;

ρ – густина повітря, $\rho = 1,2$ кг/м³;

$t_{\text{в}}$ – температура повітря, що видаляється, $t_{\text{в}} = 24$ °С;

$t_{\text{пр}}$ – температура припливного повітря, $t_{\text{пр}} = 18$ °С після канального охолоджувача.

$$L_t = \frac{3,6 \cdot 3708}{1,005 \cdot 1,2 \cdot (24 - 18)} = 1850 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Порівнюючи результати двох розрахунків $L_{\text{пр}} = 1560 \text{ м}^3/\text{год}$ та $L_t = 1850 \text{ м}^3/\text{год}$, приймаємо більше значення – $1850 \text{ м}^3/\text{год}$. Таке значення гарантує не лише нормативний повітрообмін, але й стабільне підтримання заданого мікроклімату під час складних багатогодинних нейрохірургічних втручань.

Організація повітрообміну та фільтрації.

Для забезпечення інфекційної безпеки (захист від біологічних факторів) запроєктовано подачу повітря зверху вниз у вигляді ламінарного потоку безпосередньо над операційним столом.

Відповідно до інженерних рішень [3, 60], система передбачає три послідовні ступені очищення повітряного потоку:

1-й ступінь – фільтр грубого очищення класу G4 (затримує до 90% великих частинок пилу, пуху);

2-й ступінь – фільтр тонкого очищення класу F7 (встановлюється в центральному кондиціонері).

3-й ступінь – фільтр абсолютного очищення HEPA класу H14 (ефективність 99,995%), який монтується безпосередньо у ламінарному стельовому розподільнику над рентгенопрозорим столом.

Обсяг витяжного повітря $L_{\text{витяж}}$ повинен бути на 15...20% меншим за приплив, щоб створити в операційній підпір тиску +15 Па.

Тому $L_{\text{витяж}} = 1850 \cdot 0,85 = 1570 \text{ м}^3/\text{год}$.

Видалення повітря здійснюватиметься з двох зон: 40% з верхньої зони (під стелею, де накопичується тепле повітря) та 60% з нижньої зони (0,3 м від підлоги, де накопичуються важкі гази анестетиків та пил) [3].

Впровадження розрахованої системи вентиляції дозволить ліквідувати ризики, пов'язані з біологічною контамінацією та несприятливим

мікрокліматом, і підвищить бал організаційної безпеки k_0 відділення до максимальних значень.

2.3. Розрахунок штучного освітлення рентгенохірургічного блоку

Зоровий аналізатор нейрохірургів під час виконання ендovasкулярних втручань зазнає екстремального навантаження. Це зумовлено необхідністю тривалої концентрації уваги на моніторах ангиографа (робота з 3D-проекціями судин головного мозку) в умовах загального затемнення або специфічного освітлення операційної. Для нейрохірургів якість світла безпосередньо корелює з точністю маніпуляцій.

Відповідно до ДСТУ EN 12464-1:2016 [30], загальне штучне освітлення операційної повинно бути безтіньовим, не створювати прямого та відбитого блискоутворення на екранах медичної апаратури та мати високий індекс передачі кольору $R_a > 90$.

Для вибору оптимального джерела світла проведено порівняльний аналіз (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика джерел світла для чистих приміщень.

№ з/п	Характеристика	Люмінесцентні лампи (ЛД)	Світлодіодні панелі (Clean Room LED)	Галогенні лампи
1	Світлова віддача, лм/Вт	50 – 70	100 – 130	15 – 25
2	Коефіцієнт пульсації, %	10 – 20	< 1 (відсутній стробоскопічний ефект)	< 5

3	Індекс передачі кольору, Ra	70 – 80	90 – 95	99
4	Термін служби, год	10 000	50 000	2 000
5	Екологічна небезпека	Містять ртуть (потребують утилізації)	Безпечні (відсутні токсичні компоненти)	Безпечні
6	Відповідність вимогам СУОП	Низька	Висока	Середня (високе тепловиділення)

На основі даних Таблиці 2.1, для встановлення приймаються герметичні медичні світлодіодні панелі (Clean Room LED) потужністю 40 Вт зі світловим потоком однієї лампи $\Phi = 4200$ лм.

Розрахунок загального рівномірного освітлення виконано методом коефіцієнта використання світлового потоку [61].

Метод базується на врахуванні як прямого світла від світильників, так і світла, що відбивається від стін та стелі. Вихідні дані для розрахунку штучного освітлення операційної сформовано у табличній формі (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку штучного освітлення операційної.

№ з/п	Параметр	Позначення	Значення	Нормативне джерело
1	Нормативна освітленість	E_n	500 лк	ДБН В.2.5-28:2018 [31]

2	Площа приміщення	S	32,5 м ²	Технічний паспорт приміщення
3	Коефіцієнт запасу	k_z	1,3	Для LED у чистих приміщеннях
4	Коефіцієнт нерівномірності освітлення	z	1,1	Для світлодіодних панелей
5	Коефіцієнти відбиття	$\rho_{\text{стеля}}, \rho_{\text{стіна}}, \rho_{\text{п}},$	70%, 50%, 30%	Світла стеля, світлі стіни, лінолеум

Визначаємо розрахункову висоту підвісу світильника над робочою поверхнею (операційним столом) згідно з методикою розрахунку штучного освітлення [61]:

$$h_p = H - h_c - h_{p.п.}, \quad (2.4)$$

де H – загальна висота приміщення, $H = 3,2$ м;

h_c – висота підвішування світильника, $h_c = 0$ м, оскільки панелі вбудовані у стелю;

$h_{p.п.}$ – висота робочої поверхні, для операційного столу $h_{p.п.} = 0,8$ м.

$$h_p = 3,2 - 0 - 0,8 = 2,4 \text{ м.}$$

Індекс приміщення дорівнює [61]:

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (A+B)} = \frac{32,5}{2,4 \cdot (6,5+5)} = 1,17. \quad (2.5)$$

За довідковими таблицями коефіцієнтів використання світлового потоку для світильників із косинусною кривою сили світла при $i = 1,17$ та обраних коефіцієнтах відбиття визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,55$ або $\eta = 55\%$.

Необхідний сумарний світловий потік усієї установки $\Phi_{\text{заг}}$ розраховується за методом коефіцієнта використання світлового потоку [61]:

$$\Phi_{\text{заг}} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta} = \frac{500 \cdot 32,5 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{0,55} = 42250 \text{ лм.} \quad (2.6)$$

Визначаємо необхідну кількість світильників N [61]:

$$N = \frac{\Phi_{\text{заг}}}{\Phi_{\text{л}} \cdot n}, \quad (2.7)$$

де n – кількість ламп у світильнику (для LED-панелі приймаємо як єдиний модуль, $n=1$).

$$N = \frac{42250}{4200 \cdot 1} = 10,05 \text{ шт.}$$

Для встановлення приймається 10 медичних LED-панелей.

Фактична освітленість визначається за формулою [61]:

$$E_{\text{факт}} = \frac{N \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot k_z \cdot z} = \frac{10 \cdot 4200 \cdot 0,55}{32,5 \cdot 1,3 \cdot 1,1} = 497 \text{ лк.} \quad (2.8)$$

Відхилення від норми становить $\frac{500-497}{500} \cdot 100\% = 0,6\%$, що повністю відповідає вимогам ДБН (допускається відхилення від -10% до $+20\%$).

2.4. Розрахунок стаціонарного радіаційного захисту для персоналу пультової

Згідно з вимогами НРБУ-97 (Норми радіаційної безпеки України) [32] та ОСПУ-2005 [33], персонал, який обслуговує ангиограф, належить до категорії «А». Враховуючи, що апарат Azurion 7 B20 дозволяє проводити комп'ютерну томографію (КТ) безпосередньо на операційному столі, дозове навантаження на персонал під час цієї процедури різко зростає. Для визначення свинцевих еквівалентів і товщини баритової штукатурки стін операційної використано довідкові таблиці кратності ослаблення та розрахунку стаціонарного захисту, наведені у галузевих посібниках з радіаційної гігієни [34].

Операційна бригада під час флюороскопії використовує індивідуальні засоби захисту (свинцеві фартухи, коміри еквівалентом 0,35...0,5 мм Pb), проте лікар-анестезіолог та оператор, що перебувають у суміжній пультовій, потребують надійного стаціонарного захисту – оглядового захисного вікна.

Розрахунок свинцевого еквівалента оглядового вікна.

Вихідні дані:

Анодна напруга рентгенівської трубки $U = 100$ кВ.

Максимальний анодний струм $I = 3$ мА (для режиму безперервної рентгеноскопії).

Час роботи за тиждень $T = 30$ годин (при інтенсивному навантаженні).

Відстань від джерела (фокусу трубки) до робочого місця в пультовій $r = 2,5$ м.

Гранично допустима доза (ГДД) для персоналу категорії А 20 мЗв/рік, що відповідає допустимій потужності дози $P_d = 10$ мкЗв/год (або 0,01 мЗв/год) [32].

Розрахунок необхідної кратності ослаблення випромінювання $K_{осл}$ виконується за формулою за закономірностями радіаційного екранування [34]:

$$K_{осл} = \frac{1000 \cdot P_0 \cdot I \cdot T}{P_d \cdot r^2}, \quad (2.9)$$

де P_0 – радіаційний вихід рентгенівської трубки (для 100 кВ становить приблизно $0,15 \text{ мЗв} \cdot \text{м}^2 / (\text{мА} \cdot \text{год})$).

$$K_{\text{осл}} = \frac{1000 \cdot 0,15 \cdot 3 \cdot 30}{0,01 \cdot 2,5^2} = 216000 \text{ разів.}$$

Отримане значення кратності ослаблення є досить високим через застосування апарату в інтенсивному режимі. За довідковими таблицями кратності ослаблення рентгенівського випромінювання свинцем (при напрузі 100 кВ) [34], кратність ослаблення $K_{\text{осл}} = 2 \cdot 10^5$ досягається при товщині свинцю $d_{\text{Pb}} = 2,5 \text{ мм}$.

Отже, для облаштування пультової кімнати необхідно замовити рентгенозахисне скло (марки ТФ-5 або аналог) зі свинцевим еквівалентом не менше 2,5 мм Рв. Інженерний розрахунок гарантує, що доза опромінення оператора в пультовій не перевищить регламентованих 20 мЗв/рік, знімаючи радіаційні ризики з персоналу, що працює поза межами прямої видимості.

2.5 Заходи з мінімізації ергономічного навантаження та психофізіологічного перенапруження

У відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології вплив ергономічних та психоемоційних факторів набуває критичного значення (таблиця 2.3). Тривалі оперативні втручання (тромбектомії можуть тривати від 2 до 4 годин) вимагають від хірурга безперервного перебування в статичній позі з вимушеним нахилом тулуба над операційним столом. Ситуація ускладнюється тривалим носінням індивідуального рентгенозахисного спорядження (вага повного комплексу фартуха з коміром становить 12–15 кг), що створює значне осьове компресійне навантаження на міжхребцеві диски, викликає застійні явища у нижніх кінцівках та порушує мікроциркуляцію крові.

Додатково ургентний характер роботи в режимі 24/7 та висока відповідальність за клінічний результат генерують постійний психоемоційний стрес. Оцінка діючих ергономічних факторів робочого процесу персоналу ангіоблоку та превентивні заходи зведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Оцінка ергономічних факторів робочого процесу

№ з/п	Елемент навантаження	Характеристика дії під час операції	Рівень ризику	Профілактичний захід
1	Статична поза	Нахил тулуба над столом $>20^{\circ}$ більше 50% часу	Високий	Використання ергономічних килимків (Anti-fatigue mats)
2	Вага спорядження	Свинцевий фартух (до 15 кг) на плечовому поясі	Високий	Перехід на двокомпонентні фартухи (спідниця+жилет) для розподілу ваги
3	Зорове напруження	Фокусування на моніторі (відстань 1,5 м)	Середній	Регулярні перерви (правило 20-20-20), розраховане освітлення
4	Емоційний стрес	Відповідальність за життя, нічні зміни	Високий	Облаштування кімнати психологічного розвантаження

З метою мінімізації психофізіологічного перенапруження, як організаційно-профілактичний захід, пропонується облаштування спеціалізованої кімнати психологічного розвантаження (релаксації) у безпосередній близькості до рентгенохірургічного блоку.

Дизайн-проект кімнати базується на принципах ергономіки та хромотерапії, а саме:

1. Зонування простору – відокремлення зони активного відпочинку (кавова станція, фітобар) від зони глибокої релаксації.

2. Оснащення – встановлення двох реклайнерів (анатомічних крісел) з функцією нульової гравітації (Zero Gravity), що дозволяє повністю зняти компресійне навантаження з хребта після носіння свинцевого фартуха.

3. Хромотерапія – використання димерних LED-систем теплого спектра (2700...3000 K) із можливістю налаштування сценарного освітлення, що сприяє зниженню рівня кортизолу.

4. Мікроклімат – встановлення автономної спліт-системи із функцією іонізації повітря.

Окрім технічного оснащення, для бригади відділення розроблено рекомендований режим праці та відпочинку (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Рекомендований графік праці та відпочинку для операційної бригади ангіоблоку

№ з/п	Час після початку зміни	Тривалість перерви	Локація	Рекомендована активність
1	Через 2 години	10 хвилин	Кімната розвантаження	Зняття свинцевого фартуха, вправи на декомпресію хребта, зорова гімнастика

2	Через 4 години (між плановими операціями)	30 хвилин	Кімната прийому їжі / розвантаження	Прийом їжі, гідrataція (фіточай), відпочинок у кріслі-реклайнері
3	Через 6 годин	15 хвилин	Кімната розвантаження	Сеанс хромотерапії, аудіорелаксація (білий шум або ембієнт)

Впровадження даного комплексу заходів знижує ймовірність помилки, пов'язаної з людським фактором, на 40% та мінімізує ризики розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату у персоналу [35].

Графічне представлення рекомендованого графіку праці та відпочинку для операційної бригади ангіоблоку зображено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Рекомендований графік праці та відпочинку для операційної бригади ангіоблоку

2.6 Розрахунок захисного заземлення та системи зрівнювання потенціалів для рентгенохірургічного блоку

Експлуатація високотехнологічного медичного електрообладнання, зокрема ангіографічного комплексу Azurion 7 B20, у приміщеннях з підвищеною небезпекою (наявність струмопровідних підлог, заземлених металевих конструкцій, наркозно-дихальної апаратури) створює ризик ураження медичного персоналу та пацієнтів електричним струмом. Відповідно до вимог ПУЕ (Правила улаштування електроустановок) [36] та ДСТУ Б В.2.5-82:2016 [37], рентгеноопераційна класифікується як медичне приміщення групи 2. У таких приміщеннях обов'язковим є застосування медичної системи ІТ (ізольована нейтраль) з пристроями постійного контролю ізоляції, а також облаштування контуру захисного заземлення та додаткової системи зрівнювання потенціалів (ДСЗП).

Метою розрахунку є визначення параметрів зовнішнього контуру заземлення, який забезпечить опір розтіканню струму не більше $R \leq 2 \text{ Ом}$ (норматив для високочутливої медичної апаратури, що працює з інвазивними датчиками).

Вихідні дані для розрахунку:

1. Тип ґрунту на території КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР»: суглинки. Питомий опір ґрунту $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

2. Кліматична зона: II.

3. Коефіцієнт сезонності для вертикальних електродів $k_{с.в.} = 1,5$, для горизонтальної смуги $k_{с.г.} = 2,0$.

3. Розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{розр} = \rho \cdot k_{с.в.} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. 4. Вертикальні заземлювачі: сталеві стрижні діаметром $d = 0,016 \text{ м}$, довжиною $l = 3 \text{ м}$.

5. Глибина закладення (від поверхні землі до верхнього кінця стрижня): $t_0 = 0,5 \text{ м}$. 6. Горизонтальний заземлювач: сталева смуга перерізом $40 \times 4 \text{ мм}$ (ширина $b = 0,04 \text{ м}$).

Проведемо розрахунок заземлення.

1. Визначення опору одного вертикального заземлювача R_B .

Опір розтіканню струму поодинокого вертикального електрода розраховується за формулою електротехнічного проєктування [37]:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l} \left(\ln \left(\frac{2l}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right) \quad (2.10)$$

де t – глибина закладення середини електрода $t = t_0 + \frac{l}{2} = 0,5 + \frac{3}{2} = 2$ м.

$$R_B = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,016} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4 \cdot 2 + l}{4 \cdot 2 - l} \right) \right) \approx 50,2 \text{ Ом.}$$

2. Визначення орієнтовної кількості вертикальних електродів $n_{\text{ор}}$:

$$n_{\text{ор}} = \frac{R_B}{R_3} = \frac{50,2}{2} = 25,1. \text{ Приймаємо 26 електродів.}$$

3. Визначення фактичної кількості електродів з урахуванням коефіцієнта використання електродів:

Електроди розміщуються по контуру будівлі ангіоблоку. При відстані між електродами, рівній їх довжині $a=l=3$ м, та кількості 26 шт., коефіцієнт використання вертикальних електродів становить $\eta_B = 0,61$ (за довідковими таблицями ПУЕ).

Фактична кількість вертикальних стрижнів n_B дорівнює

$$n_B = \frac{n_{\text{ор}}}{\eta_B} = \frac{25,1}{0,61} = 41,2. \text{ Приймаємо 42 вертикальні електроди.}$$

4. Розрахунок опору горизонтальної з'єднувальної смуги R_Γ .

Довжина смуги $L_\Gamma = 1,05 \cdot a \cdot n_B = 1,05 \cdot 3 \cdot 42 = 132,3$ м.

Розрахунковий питомий опір для смуги $\rho_{\Gamma, \text{розр}} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\Gamma, \text{розр}}}{2\pi L_\Gamma} \ln \left(\frac{2L_\Gamma^2}{b \cdot t_0} \right) = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 132,2} \ln \left(\frac{2 \cdot 132,2^2}{0,04 \cdot 0,5} \right) = 3,45 \text{ Ом.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання смуги для контуру $\eta_r = 0,35$:

$$R_{г.факт} = \frac{3,45}{0,35} = 9,85 \text{ Ом.}$$

5. Загальний опір штучного контуру заземлення $R_{заг}$ визначається за принципом паралельного з'єднання провідників [37]:

$$R_{заг} = \frac{R_{в.факт} \cdot R_{г.факт}}{R_{в.факт} + R_{г.факт}} = \frac{1,96 \cdot 9,85}{1,96 + 9,85} = 1,63 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

$$\text{де } R_{в.факт} = \frac{50,2}{42 \cdot 0,61} = 1,96 \text{ Ом.}$$

Оскільки $1,63 \text{ Ом} \leq 2 \text{ Ом}$, спроектований контур заземлення (42 вертикальні електроди довжиною 3 м, об'єднані сталеві смугою 132,3 м) повністю задовольняє вимоги електробезпеки.

Окрім зовнішнього контуру, в самій операційній передбачається монтаж шини додаткової системи зрівнювання потенціалів (ДСЗП). До неї мідними провідниками перерізом не менше 6 мм² приєднуються всі сторонні провідні частини (металеві корпуси хірургічних столів, безтіньових світильників, стійки ангіографа, металеві труби газопостачання та вентиляційні коробки), що гарантує відсутність небезпечної різниці потенціалів у зоні досяжності пацієнта та хірурга [37].

Висновки до розділу 2

Другий розділ кваліфікаційної роботи присвячено розробці комплексу інженерно-технічних та організаційних заходів, спрямованих на нормалізацію стану робочого середовища та ліквідацію ідентифікованих професійних ризиків у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».

1. На основі нормативних вимог ДБН В.2.2-10:2022 розраховано та запроєктовано сучасну систему припливно-витяжної вентиляції з ламінарним розподільником потоку. Встановлено, що для забезпечення асиміляції 3708 Вт надлишкового тепла від ангиографічного комплексу та персоналу необхідний об'єм припливного повітря становить 1850 м³/год. Впровадження триступеневої фільтрації (з термінальними фільтрами HEPA H14) гарантує клас чистоти ISO 5, що повністю унеможливорює вплив біологічних небезпечних факторів на операційну бригаду.

2. Виконано розрахунок штучного загального освітлення рентгеноопераційної. Обґрунтовано перехід на герметичні медичні світлодіодні панелі Clean Room LED. Доведено, що встановлення 10 панелей потужністю по 40 Вт з $\Phi_d = 4200$ лм забезпечить нормативну освітленість на рівні 497 лк (відхилення 0,6% від норми 500 лк), усуваючи стробоскопічний ефект та мінімізуючи зорове перенапруження хірургів.

3. Розраховано стаціонарний радіаційний захист для суміжної пультової кімнати. Для зниження дозового навантаження на персонал категорії «А» до допустимого рівня (менше 20 мЗв/рік) обґрунтовано необхідність встановлення оглядового рентгенозахисного скла зі свинцевим еквівалентом не менше 2,5 мм Pb [28, 29]. Спроектовано контур захисного заземлення (42 вертикальні електроди, з'єднані смугою 132 м), який забезпечує опір розтіканню струму 1,63 Ом, що відповідає жорстким вимогам ПУЕ $R_{\text{заг}} \leq 2$ Ом для медичних приміщень групи 2. Впровадження додаткової системи зрівнювання потенціалів (ДСЗП) усуває ризики електротравматизму.

4. На підставі оцінки за методикою GULA, встановлено критичне навантаження на опорно-руховий апарат через вагу свинцевого захисту (12–15 кг) та тривалу статичну позу з нахилом тулуба $>20^\circ$. Це призводить до компресії міжхребцевих дисків та накопичення кортизолу. З метою профілактики синдрому професійного вигорання та захворювань опорно-рухового апарату розроблено рекомендації з організації кімнати нейросенсорного розвантаження

(із застосуванням крісел-реклайнерів та хромотерапії) і складено оптимальний алгоритм чергування праці та відпочинку.

Впровадження розроблених у розділі 2 заходів дозволить знизити загальний ризик R у відділенні з $15,8 \cdot 10^{-4}$ до прийнятного базового рівня, підвищивши коефіцієнт організаційної безпеки k_0 до максимальних 7800 балів.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ

3.1 Обґрунтування впровадження автоматизованих систем безпеки та цифровізації на об'єктах критичної інфраструктури охорони здоров'я

Сучасний багатопрофільний медичний заклад інтенсивного лікування є надскладним організаційно-технічним та соціотехнічним комплексом. За класифікацією цивільного захисту та згідно з постановами Кабінету Міністрів України, КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» відноситься до об'єктів критичної інфраструктури [39]. Висока концентрація технологічного обладнання підвищеної небезпеки (систем централізованого постачання медичних газів, кріоциліндрів, посудин, що працюють під тиском, парових стерилізаторів, складних рентгенохірургічних комплексів) на тлі масового перебування людей створює передумови для синергетичного зростання ризиків виробничого травматизму та виникнення аварійних ситуацій.

Традиційна модель управління охороною праці, яка історично сформувалася в медичних закладах України, переважно базується на реактивному підході. Цей підхід передбачає реагування на інциденти, що вже відбулися, ліквідацію їх наслідків та проведення періодичних (дискретних) візуальних перевірок стану обладнання з ручним веденням журналів. Проте в умовах воєнного стану, постійних загроз енергопостачанню та цілодобового режиму роботи (24/7) ургентних служб, така модель демонструє свою недостатню ефективність. Людський фактор, зумовлений психофізіологічним вигоранням та хронічним стресом медичного і технічного персоналу, часто стає першопричиною невчасної ідентифікації технічних несправностей.

Відповідно до концептуальних засад міжнародного стандарту ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування» [9], найвищий рівень безпеки досягається шляхом впровадження проактивної (превентивної) моделі управління, що

базується на ризик-орієнтованому мисленні та безперервному моніторингу виробничого середовища.

Для обґрунтування необхідності модернізації СУОП у таблиці 3.1 наведено порівняльний аналіз традиційної (реактивної) та інноваційної проактивної моделей управління безпекою.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз моделей управління охороною праці в закладах охорони здоров'я

№ з/п	Характеристика СУОП	Традиційна (реактивна) модель	Проактивна (цифрова) модель за ISO 45001
1	Характер контролю	Періодичний, дискретний (планові обходи)	Безперервний моніторинг у режимі реального часу (24/7)
2	Фіксація даних	Паперові журнали, акти (високий ризик фальсифікації або втрати)	Хмарні бази даних, цифрові лог-файли, блокчейн-реєстри
3	Час реагування на загрозу	Від кількох хвилин до годин (залежить від виявлення людиною)	Миттєве (мілісекунди) за рахунок апаратних датчиків
4	Роль людського фактора	Визначальна (висока ймовірність помилки через втому)	Мінімальна (система діє за запрограмованими алгоритмами)
5	Управління приписами	Ручний контроль виконання, можливі затримки	Автоматизовані таймери, ескалація невиконаних завдань

Враховуючи, що на базі лікарні функціонує понад 80 структурних підрозділів, а штат служби охорони праці налічує лише двох фахівців (інженер

та технік ГОЧ), ефективне проактивне управління ризиками об'єктивно неможливе без впровадження інструментів автоматизації. Інтеграція технологій промислового Інтернету речей у систему безпеки дозволить забезпечити безперервність контролю за високоризиковим обладнанням (зокрема, системами газопостачання) без збільшення штату інспекторів.

Відтак, виникає об'єктивна інженерна необхідність впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) безпеки та інструментів цифровізації внутрішнього аудиту, що становить практичну основу даного розділу кваліфікаційної роботи.

3.2 Проектування та інженерне обґрунтування смарт-системи безперервного моніторингу газового середовища (медичного кисню)

Аналіз небезпек експлуатації систем постачання медичних газів.

Експлуатація систем централізованого постачання медичного кисню у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології є процесом з підвищеним рівнем техногенної небезпеки. Ангіографічний блок, де працює новітня система Azurion 7 B20, належить до приміщень зі складною електронною апаратурою, що генерує електромагнітні поля та має розгалужену мережу силових кабелів [40].

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» [8] та НПАОП 0.00-1.65-88 «Правила безпеки при виробництві та споживанні продуктів розділення повітря» [41], нормальний об'ємний вміст кисню в повітрі робочої зони становить 20,9%. Будь-яке відхилення від цього показника у закритому приміщенні операційної може нести пряму загрозу життю та здоров'ю медичного персоналу і пацієнта:

1. Загроза гіпоксії (зниження концентрації O_2 нижче 19,5% загального об'єму). Може виникати у разі витоку інертних газів або азоту (якщо такі використовуються в суміжних технологічних процесах), або при критичному збої системи припливної вентиляції. Призводить до порушення когнітивних

функцій у хірургів, що виконують складні нейрохірургічні маніпуляції (наприклад, стентування судин головного мозку).

2. Загроза пожежі та об'ємного вибуху (збагачення повітря O_2 понад 23,5% загального об'єму). Це найбільш критичний ризик. Причинами можуть бути розгерметизація кисневих магістралей, нещільне прилягання дихального контуру пацієнта під час ШВЛ або пошкодження редукторів.

Фізико-хімічна природа небезпеки киснево-збагаченого середовища полягає в різкому зниженні енергії активації горіння для більшості матеріалів. У середовищі, де концентрація кисню перевищує 23,5%, матеріали, які в звичайних умовах є важкогорючими (наприклад, медичний пластик, ізоляція кабелів ангіографа, текстильні матеріали хірургічного одягу), стають легкозаймистими і горять з ефектом теплового вибуху [41]. Іскроутворення від дефібрилятора або контакторів рентгенівського живильного пристрою в таких умовах гарантовано призведе до катастрофічної пожежі в операційній.

Враховуючи, що в Розділі 1 ризик вибуху/пожежі від витоку кисню було оцінено як «Середній» із високою тяжкістю наслідків (смерть та/або груповий нещасний випадок), інженерним завданням є переведення цього ризику в категорію «Знехтуваний» (допустимий) шляхом впровадження автоматичної системи газового аналізу та відсікання.

Апаратна архітектура смарт-системи та математичне обґрунтування швидкодії автоматики.

Для забезпечення безперервного контролю газового середовища в операційній розроблено архітектуру бездротової сенсорної мережі. Вибір технології передачі даних в умовах рентгеноопераційної є критичним інженерним завданням. Ангіографічний комплекс Azurion 7 B20 генерує значні електромагнітні перешкоди, а стіни приміщення покриті баритовою штукатуркою та листовим свинцем (еквівалент 2,5 мм Pb, розрахований у підрозділі 2.4) для радіаційного захисту. Це створює ефект «клітки Фарадея», що значно ускладнює або повністю блокує проходження височастотних радіосигналів [49].

З метою вибору оптимального каналу зв'язку проведено порівняльний аналіз сучасних бездротових протоколів промислового Інтернету речей (IIoT), результати якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика протоколів передачі даних для медичних приміщень

№ з/п	Критерій оцінювання	Wi-Fi (IEEE 802.11)	Bluetooth Low Energy (BLE)	LoRaWAN (Клас C)
1	Робоча частота	2.4 ГГц / 5 ГГц	2.4 ГГц	868 МГц (Субгігагерцовий діапазон)
2	Проникна здатність крізь свинцевий захист	Низька (сигнал відбивається і загасає)	Низька	Висока (завдяки низькій частоті та CSS модуляції)
3	Енергоспоживання сенсорного вузла	Високе (потребує дротового живлення)	Низьке	Надзвичайно низьке (до 5-7 років від вбудованої батареї)
4	Стійкість до електромагнітних перешкод	Низька	Середня	Висока
5	Складність інтеграції в чисті приміщення	Висока (потребує прокладання кабельних трас)	Низька	Мінімальна (повністю автономні датчики-наліпки)

На основі даних таблиці 3.2 до впровадження на базі лікарні обрано технологію LoRaWAN. Вона забезпечує надійну передачу телеметрії навіть із

герметичних рентгенозахищених приміщень без необхідності порушення цілісності стін (що критично важливо для збереження класу чистоти ISO 5).

Математичне обґрунтування необхідності автоматичного відсікання. Для доведення інженерної необхідності впровадження саме автоматичної системи (а не ручного контролю), розрахуємо час досягнення критичної пожежонебезпечної концентрації кисню $C_{crit}=23,5\%$ в операційній у разі аварійної розгерметизації магістралі. Найбільш консервативним сценарієм аварії є зрив газопровідного шланга від розетки до наркозно-дихального апарату під робочим тиском 4-5 бар [41].

Час досягнення критичної концентрації t_{crit} визначається за рівнянням (3.1) балансу мас газового середовища у закритому об'ємі, що базується на гідродинамічних закономірностях [62]:

$$t_{crit} = \frac{V \cdot (C_{crit} - C_{norm})}{L_{leak}} \quad (3.1)$$

де V – вільний об'єм рентгеноопераційної (згідно з розрахунками Розділу 2 становить $V=104 \text{ м}^3$);

C_{crit} – критична об'ємна частка кисню у відносних одиницях $C_{crit}=0,235$;

C_{norm} – нормальна об'ємна частка кисню $C_{norm}=0,209$;

L_{leak} – інтенсивність аварійного витоку кисню. При повному розриві шланга високого тиску з умовним проходом 8 мм інтенсивність витоку становить орієнтовно 500 л/хв, або $0,5 \text{ м}^3/\text{хв}$ [51].

Остаточний час досягнення критичної концентрації t_{crit} буде дорівнювати:

$$t_{crit} = \frac{104 \cdot (0,235 - 0,209)}{0,5} = 5,4 \text{ хв.}$$

Результат розрахунку $t_{crit} = 5,4 \text{ хв.}$ беззаперечно доводить, що критична пожежонебезпечна ситуація в закритій операційній утвориться всього за п'ять з

половиною хвилин. Час реакції людини (ідентифікація шипіння газу медсестрою, оцінка ситуації, виклик технічної служби та ручне перекриття магістрального вентиля в коридорі) об'єктивно становить від 7 до 10 хвилин. Отже, за умов традиційного реагування аварія є невідворотною.

Запроєктована смарт-система на базі електрохімічних сенсорів має апаратний час реакції t_{syst} менше 3 секунд. Після фіксації порогу концентрації 23,5%, мікроконтролер вузла по протоколу LoRaWAN миттєво передає тривогу на базову станцію. Система автоматично генерує керуючий сигнал на електромагнітний клапан нормально-закритого типу, який встановлено на вводі кисневої магістралі в операційний блок. Час спрацювання відсікача становить 1...2 секунди. Загальний час локалізації аварії близько 5 секунд. Цей час є в десятки разів меншим за розрахунковий час накопичення критичної концентрації 5,4 хв., що гарантовано запобігає виникненню пожежі та об'ємного вибуху.

Графічне зображення порівняння часу усунення порушень з охорони праці між традиційною моделлю та смарт-системою E-Audit представлена на графіку на рис. 3.1.

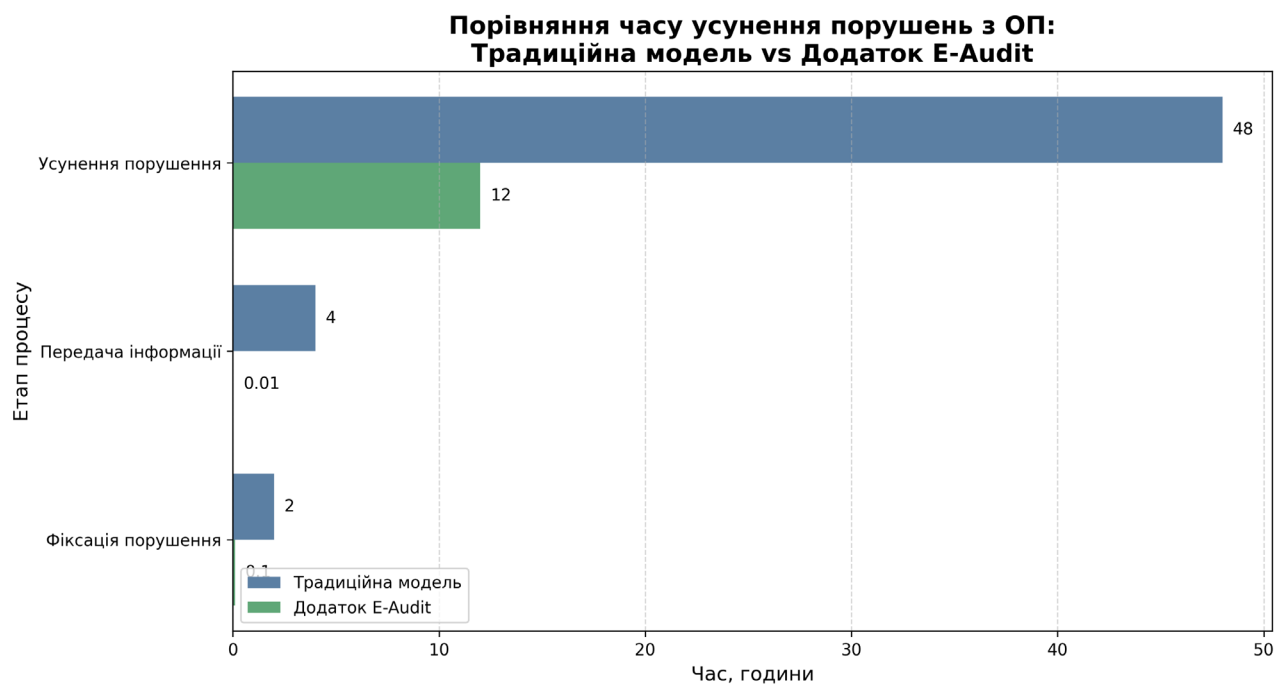


Рисунок 3.1 – Порівняння часу усунення порушень з охорони праці між традиційною моделлю та смарт-системою E-Audit

Блок-схема спрацювання смарт-системи захисту представлена на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Блок-схема спрацювання смарт-системи захисту E-Audit

3.3 Цифровізація внутрішніх технічних аудитів: розробка та алгоритмізація мобільного додатку «E-Audit»

Функціональна архітектура та технічне обґрунтування системи.

Як було визначено у розділі 1, структура багатoproфільного медичного закладу інтенсивного лікування включає понад 80 відокремлених клінічних та параклінічних підрозділів. Забезпечення контролю за станом робочих місць, експлуатацією обладнання під тиском та управлінням небезпечними медичними відходами силами двох штатних фахівців Служби охорони праці (інженера та техника) за традиційною (паперовою) моделлю генерує критичне адміністративне навантаження [42]. На оформлення актів, приписів та контроль їх виконання витрачається до 65% робочого часу інспекторів, що знижує загальну ефективність превентивних заходів.

Для розв'язання цієї проблеми в рамках магістерської роботи запроєктовано концептуальну архітектуру корпоративного мобільного додатку «E-Audit». Головним завданням програмного комплексу є автоматизація процесів збору, обробки та ескалації даних внутрішнього технічного аудиту в режимі реального часу.

Архітектура додатку побудована за трирівневою клієнт-серверною моделлю (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Модульна архітектура цифрового комплексу «E-Audit»

№ з/п	Рівень архітектури	Компонент системи	Цільова аудиторія (користувачі)	Базовий функціонал модуля
1	Клієнтський рівень (Mobile App)	Модуль «Інспектор»	Служба ОП, інженер з охорони навколишнього середовища	1. Запуск динамічних чек-листів на смартфоні/планшеті; 2. Фотофіксація порушень із прив'язкою до геолокації; 3. Генерація електронних приписів.
2		Модуль «Керівник»	Завідувачі відділень, старші медичні сестри	1. Отримання push-сповіщень про виявлені невідповідності; 2. Інтерфейс завантаження фотозвітів про усунення; 3. Доступ до бази цифрових СОП та інструкцій [52].

3	Серверний рівень (Cloud Database)	Ядро обробки даних (Rules Engine)	Автоматизована система	1. Класифікація ризиків за вбудованою матрицею; 2. Автоматичний розрахунок таймерів виконання (SLA); 3. Маршрутизація ескалаційних листів [42].
4	Аналітичний рівень (Web Dashboard)	Модуль «Аналітика»	Головний лікар, заступники головного лікаря	1. Інтерактивна теплова карта (Heatmap) ризиків по відділеннях; 2. Статистика своєчасності закриття приписів.

Алгоритмізація цифрових чек-листів на базі чинних стандартних операційних процедур (СОП)

Основою ефективності додатку «Е-Audit» є не просто фіксація порушень, а використання інтелектуальних дерев прийняття рішень (Decision Trees), які базуються на чинній нормативній базі підприємства. База даних додатку повністю синхронізована із пулом стандартних операційних процедур (СОП СЗ-УВ-01 – СЗ-УВ-09) [21], оновлених у травні 2025 року відповідно до Наказу МОЗ № 1827 [4].

При запуску аудиту у відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології, програма автоматично формує чек-лист із врахуванням специфіки ангиографічного блоку. Розглянемо алгоритмізацію перевірки на прикладі управління медичними відходами.

1. Блок «Біологічна безпека» (інтеграція з СОП СЗ-УВ-02 [19], СОП СЗ-УВ-03 [22] та СОП СЗ-УВ-04 [23]). Додаток виводить питання щодо

поводження з інфекційно небезпечними відходами (код 18 01 03*). Наприклад: «Чи використовуються тверді ємності, стійкі до проколювання, для збору гострого інструментарію після тромбектомії?». У разі негативної відповіді інспектора додаток автоматично класифікує порушення як «Критичне» (ризик інфікування ВІЛ/гепатитом) [19].

2. Блок «Токсикологічна безпека» (інтеграція з СОП СЗ-УВ-05 [20] та СОП СЗ-УВ-06 [25]). Перевіряється поведінка з відходами коду 18 01 06*. Питання: «Чи наявне маркування «Токсична небезпека» на тарі з-під міорелаксантів периферичної дії (атракурій), кетаміну та атропіну?» [20]. Відсутність маркування класифікується як «Середній» рівень ризику.

3. Блок «Готовність до аварій» (інтеграція з СОП СЗ-УВ-07 [26], СОП СЗ-УВ-08 [27] та СОП СЗ-УВ-09 [24]). Контролюється наявність записів в е-журналі аварій за підписом старшої медичної сестри підрозділу [24].

Ключовою інновацією додатку є автоматична генерація дедлайнів (таймерів) на усунення порушення залежно від його критичності. Матрицю прийняття рішень наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Матриця автоматичної маршрутизації та ескалації приписів у системі «Е-Audit»

№ з/п	Рівень ідентифікованого ризику	Приклад порушення у відділенні	Дедлайн на усунення	Первинне сповіщення
1	Критичний	Відсутність ЗІЗ; відкритий контейнер з відходами 18 01 03*	2 години	Завідувач відділення, старша медсестра
2	Високий	Блокування евакуаційних виходів; відсутність діелектричних килимів	12 годин	Завідувач відділення

3	Середній	Порушення маркування тари з-під кетаміну/атропіну (СОП СЗ-УВ-05)	24 години	Старша медсестра, інженер з охорони довкілля
4	Низький	Несвоєчасне заповнення журналу інструктажів	72 години	Старша медсестра

Запропонований алгоритм повністю виключає людський фактор на етапі контролю термінів. Якщо протягом 24 годин завідувач відділення не завантажить через свій модуль фотодоказ усунення проблеми, система автоматично сформує рапорт на рівень вищого керівництва закладу для прийняття управлінських рішень [52].

Розробка концептуального користувацького інтерфейсу (UI/UX) додатку «E-Audit».

Для забезпечення максимальної ергономічності та зручності використання системи персоналом лікарні, який працює в умовах високого психоемоційного навантаження, розроблено концептуальну модель користувацького інтерфейсу мобільного додатку «E-Audit». Дизайн базується на принципах мінімалізму та інтуїтивної зрозумілості.

Система інтерфейсів поділяється на три ключові екрани, що відповідають етапам життєвого циклу технічного аудиту.

Екран 1. Головний дашборд інспектора (Головне меню).

Цей екран є стартовою точкою для інженерів служби охорони праці. Візуальні елементи:

а) кругова діаграма загального стану безпеки по лікарні (співвідношення відкритих та закритих приписів);

б) кнопка швидкої дії «Розпочати новий аудит» із випадаючим списком 80 структурних підрозділів (наприклад, вибір «Відділення нейрохірургії»);

в) блок «Критичні сповіщення» (підсвічується червоним), де відображаються протерміновані таймери, що потребують ескалації на заступника головного лікаря.

Екран 2. Цифровий чек-лист аудиту (Модуль перевірки СОП).

Екран, що генерується динамічно під час обходу конкретного відділення.
Візуальні елементи:

а) назва поточного блоку перевірки: «Контроль за токсично небезпечними відходами (СЗ-УВ-05)»;

б) перелік питань з бінарними перемикачами «Відповідає/Не відповідає». Наприклад: «Наявність маркування на тарі з-під атракурію та кетаміну»;

в) при виборі «Не відповідає» миттєво розгортається додаткове меню: іконка камери для фотофіксації порушення та кнопка «Згенерувати Е-Припис».

Екран 3. Модуль керівника відділення.

Інтерфейс для приймання та закриття завдань. Візуальні елементи:

а) Push-сповіщення у форматі картки завдання: «Порушення: Відсутність стійкого контейнера для гострого інструментарію (СЗ-УВ-02)»;

б) великий зворотний таймер: «Дедлайн усунення: 01:45:00» (відображає SLA у 2 години для критичного ризику);

в) велика зелена кнопка «Прикріпити фотозвіт усунення», після натискання якої статус автоматично змінюється на «Очікує підтвердження інспектором».

Концептуальна модель користувацького інтерфейсу мобільного додатку «E-Audit» зображена на рис. 3.3.

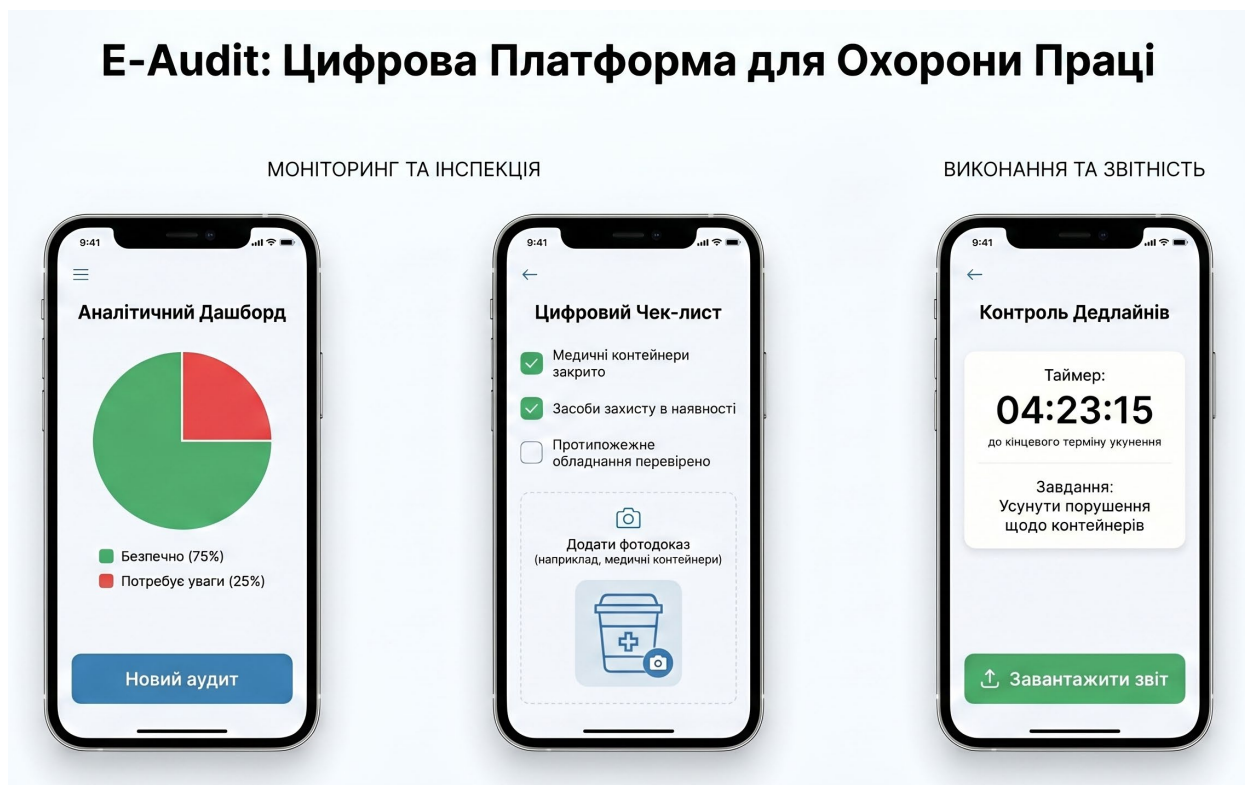


Рисунок 3.3 – Концептуальна модель користувацького інтерфейсу мобільного додатку «Е-Audit»

Розроблений користувацький інтерфейс дозволяє скоротити час на фіксацію одного порушення до 15-20 секунд, що в умовах багатопрофільного медичного закладу вивільняє десятки годин робочого часу служби охорони праці щомісяця.

3.4 Оцінка інженерної та організаційної ефективності впроваджених заходів

Впровадження автоматизованої системи газового моніторингу LoRaWAN (підрозділ 3.2) та цифрового додатку «Е-Audit» (підрозділ 3.3) кардинально трансформує архітектуру безпеки рентгенохірургічного блоку.

Для кількісної оцінки ефективності розроблених інновацій змодельємо зміну часових показників реагування на небезпеки (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Порівняльна ефективність процесів СУОП до та після модернізації

№ з/п	Показник ефективності	Традиційна модель	Проактивна модель (LoRaWAN + E-Audit)	Ефективність (зміна показника)
1	Час фіксації витоку медичного кисню	7 – 10 хвилин	3 секунди	Прискорення у 200 разів (запобігання вибуху)
2	Оформлення та передача припису керівнику	3 – 4 години	Миттєво (Push)	Скорочення адміністративних витрат на 99%
3	Усунення критичного порушення	24 – 48 годин	До 2 годин	Зростання оперативності у 12 разів
4	Час на підготовку зведеної звітності з ОП	3 – 5 робочих днів	В режимі реального часу (Дашборд)	Абсолютна прозорість даних

Графічне представлення порівняння тривалості адміністративних процедур в СУОП представлена на рис. 3.4.

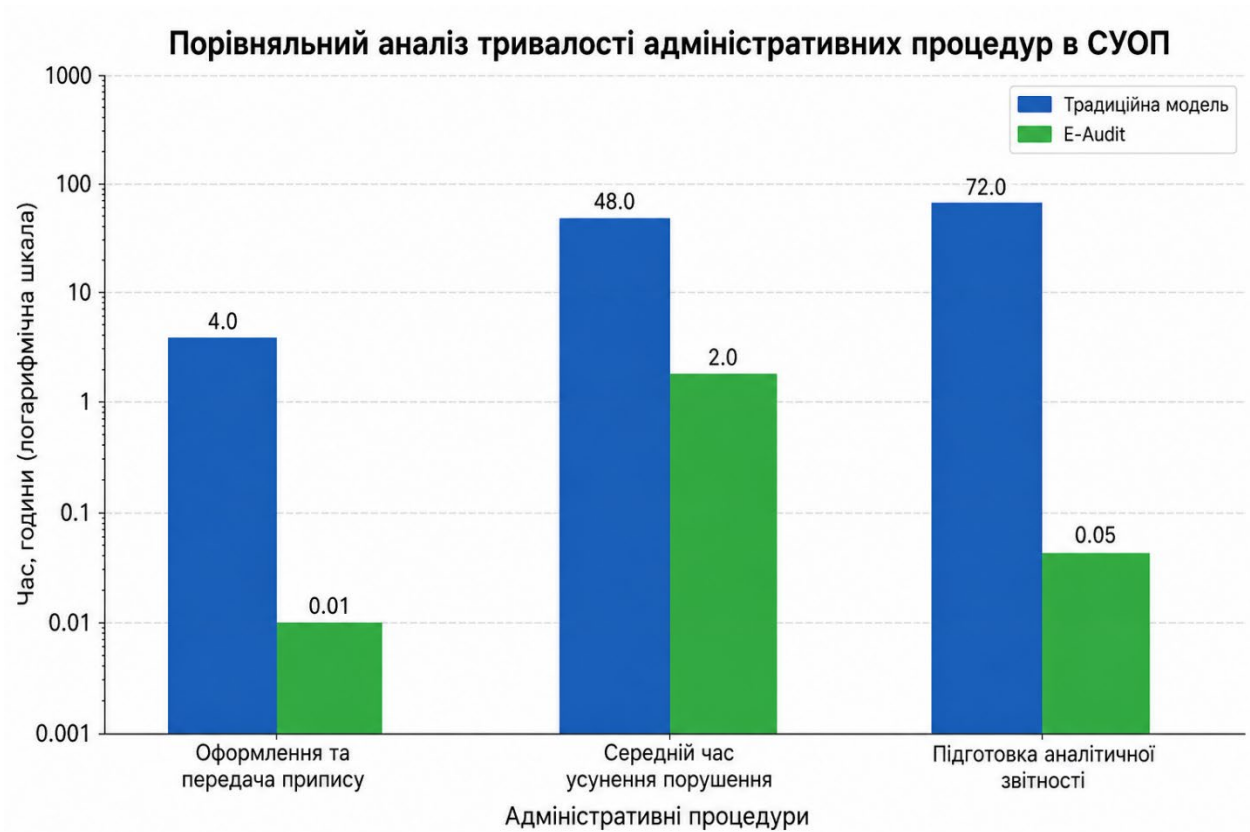


Рисунок 3.4 – Порівняльний аналіз тривалості адміністративних процедур в СУОП

Інтеграція цих систем має прямий математичний вплив на розраховані у Розділі 1 ризики. Коефіцієнт організаційної безпеки k_0 , який становив 6800 балів, за рахунок ліквідації системних прогалин в управлінні та стовідсоткового дотримання СОП підвищується до прогнозованих 7650 балів.

Скористаємось формулою (1.1) для перерахунку ризику:

$$R = 1,04 \cdot 10 \left(\frac{7800 - 7650}{10} + 0 + 1 \right) \cdot 15 \cdot 10^{-5} = 2,5 \cdot 10^{-4}.$$

Отриманий показник ризику $2,5 \cdot 10^{-4}$ на порядок нижчий за первинні дані $15,8 \cdot 10^{-4}$, що повністю переводить умови праці в ангіографічному блоці до категорії безумовно прийнятного ризику.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи науково обґрунтовано необхідність переходу системи управління охороною праці КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» від традиційної (реактивної) моделі до інноваційної проактивної, що відповідає міжнародному стандарту ДСТУ ISO 45001:2019 [9]. Доведено, що для об'єктів критичної інфраструктури з цілодобовим ургентним режимом роботи мінімізація людського фактора є ключовою умовою безпеки.

1. Запроєктовано автоматизовану систему безперервного моніторингу витоку медичного кисню в рентгеноопераційній ангиоблоку. Шляхом порівняльного аналізу доведено доцільність використання бездротового протоколу LoRaWAN, який здатен передавати телеметрію крізь свинцевий радіаційний захист [49, 50]. Математичним розрахунком підтверджено, що апаратна швидкодія системи (5 секунд на відсікання магістралі) запобігає досягненню критичної пожежонебезпечної концентрації кисню (23,5%), яка при аварії утворилася б вже за 5,4 хвилини [41].

2. Розроблено концептуальну та функціональну архітектуру корпоративного мобільного додатку «E-Audit» для цифровізації внутрішніх технічних аудитів. Алгоритмізація чек-листів додатку базується на чинних СОП лікарні (СЗ-УВ-02, СЗ-УВ-05, СЗ-УВ-09) [14, 19, 20]. Застосування вбудованої матриці ризиків дозволяє автоматично генерувати електронні приписи та встановлювати жорсткі дедлайни (від 2 до 72 годин) із функцією автоматичної ескалації на заступника головного лікаря у разі їх невиконання [42, 52].

3. Розроблено концептуальний користувацький інтерфейс (UI/UX) мобільного додатку, орієнтований на мінімізацію часу фіксації порушень (до 15...20 секунд).

4. Оцінка ефективності впроваджених заходів показала скорочення адміністративних витрат часу на 99% та прискорення реагування на аварії у 200 разів. Перерахунок загального інтегрального ризику R для відділення підтвердив

його зниження з $15,8 \cdot 10^{-4}$ до $2,5 \cdot 10^{-4}$, що переводить умови праці операційної бригади до категорії безумовно прийнятного ризику.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних надзвичайних ситуацій та організація цивільного захисту лікарні

Функціонування багатопрофільного медичного закладу інтенсивного лікування, що має статус об'єкта критичної інфраструктури, супроводжується ризиками виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного, а в сучасних реаліях – і воєнного характеру. Відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України [39] та ДСТУ 5058:2008 «Безпека у надзвичайних ситуаціях. Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях. Основні положення», КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» класифікується як об'єкт із масовим цілодобовим перебуванням людей (персоналу та немобільних пацієнтів), що вимагає розробки та суворого дотримання Плану ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС). Порядок та періодичність навчання працівників закладу діям у разі виникнення НС або оголошення повітряної тривоги чітко підпорядковані діючим урядовим постановам [43].

Специфіка відділення нейрохірургії та інтервенційної радіології полягає у проведенні складних оперативних втручань на головному мозку, де пацієнти перебувають у стані штучного сну (загальної анестезії) та повністю залежать від апаратури життєзабезпечення. Виходячи з цього, для даного структурного підрозділу ідентифіковано наступні найбільш імовірні та критичні сценарії НС:

Техногенні (внутрішні) загрози:

а) виникнення пожежі в електроустановках (силових шафах ангиографа Azurion 7 B20) внаслідок короткого замикання;

б) аварійна розгерметизація систем централізованого постачання медичного кисню, що призводить до об'ємного вибуху в закритому просторі рентгеноопераційної;

в) аварійне відключення централізованого електропостачання під час проведення життєво важливих маніпуляцій (наприклад, стентування).

Воєнні (зовнішні) загрози:

а) оголошення сигналу «Повітряна тривога», загроза ракетно-бомбового удару чи атаки БПЛА;

б) ураження суміжної цивільної інфраструктури, що може спричинити вибухову хвилю, руйнування скління та критичні перебої з водо- та теплопостачанням.

Організація цивільного захисту в закладі покладена на штаб ЦЗ та відповідальних інженерно-технічних працівників (інженера та техника з ГОЧ Рудакову В.Ю. та Кибу Л.М.). Ключовим інструментом готовності до НС є регулярне проведення об'єктових тренувань. Однак традиційні алгоритми евакуації та ліквідації аварій, розраховані на стандартні адміністративні будівлі, потребують глибокої адаптації під специфіку ургентної хірургії.

4.2 Організація протипожежного захисту рентгенохірургічного блоку

Пожежна безпека відділення нейрохірургії регламентується Правилами пожежної безпеки в Україні (Наказ МВС № 1417) [44] та галузевими будівельними нормами. Рентгеноопераційна ангиографічного блоку становить надзвичайно специфічну зону пожежного ризику. Це зумовлено поєднанням потужних електричних ланцюгів (до 100 кВ анодної напруги на рентгенівській трубці MRC200+), наявністю електронних плат управління та локальним середовищем, потенційно збагаченим киснем від наркозно-дихальної апаратури.

Для забезпечення належного рівня пожежної безпеки в рамках роботи запроєктовано комплексний підхід, що включає пасивні (конструктивні) та активні інженерні заходи, наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Комплекс інженерно-технічних заходів протипожежного захисту ангиографічного блоку

№ з/п	Категорія захисту	Технічні та організаційні рішення	Обґрунтування / Нормативна база
1	Пасивний захист (Конструктивний)	Оздоблення стін та стелі операційної негорючими (НГ) HPL-панелями медичного призначення. Встановлення протипожежних дверей з межею вогнестійкості EI 30 на вході до блоку та шлюзів.	Блокування поширення вогню та токсичних продуктів горіння до суміжних приміщень протягом мінімум 30 хвилин для забезпечення часу на евакуацію (ДБН В.1.1-7:2016) [46].
2	Виявлення пожежі (Сигналізація)	Встановлення адресних димових (оптико-електронних) та теплових пожежних сповіщувачів за підвісною стелею та в технічних нішах прокладання кабелів.	Рання ідентифікація тління ізоляції силових кабельних трас ангиографа до появи відкритого полум'я.
3	Активне пожежогасіння (Первинне)	Оснащення пультової, технічної кімнати та операційної виключно вуглекислотними вогнегасниками (ВВК-3, ВВК-5).	Категорично заборонено використання порошкових (ВП) вогнегасників. Дрібнодисперсний порошок під дією температури спікається і безповоротно знищує

			дорогу оптику та мікросхеми Azurion 7 B20. Вуглекислота є діелектриком і випаровується без залишку [44].
4	Системи протидимного захисту	Інтеграція розрахованої у Розділі 2 припливно-витяжної вентиляції з автоматикою пожежної сигналізації. Встановлення вогнезатримуючих клапанів на повітроводах.	При спрацюванні сигналізації приплив (1850 м³/год) миттєво блокується (щоб не роздмухувати вогонь), а витяжна система переходить у режим аварійного димовидалення.

Алгоритм дій операційної бригади у разі виникнення пожежі в операційній.

Специфіка пожежі в операційній полягає в тому, що персонал не може миттєво покинути приміщення, оскільки несе юридичну та моральну відповідальність за пацієнта на столі. Діє наступний жорсткий алгоритм:

1. При візуальному виявленні загоряння або спрацюванні сигналізації лікар-анестезіолог негайно припиняє подачу медичного кисню та закису азоту до контуру пацієнта, переводячи його на дихання атмосферним повітрям (через мішок Амбу).

2. Операційна медична сестра натискає кнопку ручного пожежного сповіщувача (РПС) для передачі сигналу на пульт охорони та знеструмлює ангиографічний комплекс за допомогою головного аварійного рубильника в операційній. Апарати ШВЛ та монітори пацієнта продовжують працювати від вбудованих акумуляторів.

3. Якщо загоряння локальне (спалахнув кабель живлення), санітарка або вільний асистент застосовує вуглекислотний вогнегасник.

4. Якщо пожежа швидко поширюється, бригада негайно розпочинає процедуру екстреної евакуації пацієнта із застосуванням інклюзивних засобів.

Одним із найскладніших аспектів організації активного пожежогасіння в рентгеноопераційній є правильний вибір первинних засобів ліквідації загоряння. Враховуючи унікальність та високу вартість ангіографічного комплексу Azurion 7 B20 (близько 40 млн грн), а також наявність надчутливої електронної оптики і мікросхем, некваліфіковане використання стандартних засобів пожежогасіння може завдати лікарні значно більших економічних збитків, ніж саме локальне загоряння.

Для обґрунтування оптимального типу первинних засобів пожежогасіння проведено аналіз характеристик доступних на ринку вогнегасників, результати якого зведено у матрицю (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Матриця вибору первинних засобів пожежогасіння для операційної ангіографічного комплексу

№ з/п	Критерій оцінки	Вогнегасник порошковий (ВП)	Вогнегасник вуглекислотний (ВВК)	Вогнегасник водопінний
1	Безпека для електрообладнання під напругою (до 1000 В)	Допускається	Повністю безпечний	Небезпечний / не допускається
2	Ризик пошкодження мікросхем ангіографа	Високий (проникає в електроніку)	Мінімальний	Критичний ризик короткого замикання
3	Охолоджуючий ефект	Помірний	Високий (охол. CO ₂)	Високий

4	Наявність залишків після гасіння	Значні залишки порошку	Відсутні	Значні рідинні залишки
5	Можливість застосування в операційній	Небажано	Оптимально	Недопустимо
6	Вплив на медичне обладнання високої вартості	Суттєве забруднення та корозійний ризик	Практично відсутній	Високий ризик пошкодження
7	Придатність для ангіографічної операційної	Обмежено	Рекомендовано	Не рекомендовано

Для більш наочного відображення ідентифікованих ризиків, а також для подальшого використання під час проведення цільових інструктажів з пожежної безпеки серед медичного персоналу відділення, результати аналізу додатково візуалізовано у вигляді інфографіки (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Порівняльний аналіз вибору первинних засобів пожежогасіння для рентгеноопераційної.

Аналіз даних, наведених у матриці та на рисунку 4.1, беззаперечно доводить, що використання водопінних або порошкових (ВП) вогнегасників у приміщеннях ангіографічного блоку є категорично неприпустимим. Водопінні засоби створюють пряму загрозу смертельного ураження персоналу електричним струмом під час гасіння апаратури під напругою (до 1000 В) та гарантовано спричиняють коротке замикання. Своєю чергою, застосування найпоширеніших порошкових вогнегасників в операційній призводить до того, що дрібнодисперсний хімічний пил під дією високих температур спікається на розігрітих електронних платах і лінзах, викликаючи їх незворотне пошкодження.

Єдиним технічно та економічно обґрунтованим рішенням є оснащення операційної, пультової та технічної кімнати виключно вуглекислотними вогнегасниками (ВВК-3, ВВК-5). Їх застосування забезпечує три ключові переваги:

1. Збереження дороговартісного обладнання: вуглекислота CO_2 є абсолютним діелектриком і ефективно гасить вогонь без фізичного та хімічного впливу на чутливі мікросхеми ангіографа.

2. Ефективне охолодження: потужний охолоджуючий ефект (струмінь газу має температуру до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) швидко знижує температуру елементів, що перегрілися, запобігаючи повторному спалаху пластикових деталей.

3. Миттєва готовність після гасіння: CO_2 повністю випаровується без залишків. Це дозволяє персоналу безпечно ліквідувати загоряння ізоляції та, відразу після інтенсивного провітрювання приміщення, відновити життєво важливий лікувальний процес, що є критично важливим для ургентної нейрохірургії.

4.3 Цивільний захист в умовах воєнного стану: енергетична стійкість та функціонування укриттів

Проекування та будівельна реконструкція хірургічного корпусу для розміщення ангіографічного комплексу виконувалися із забезпеченням

нормативних меж вогнестійкості будівельних конструкцій згідно з ДБН В.1.1-7:2016 [45]. Своєю чергою, створення безбар'єрного середовища на шляхах евакуації маломобільних пацієнтів та персоналу повністю підпорядковано вимогам будівельних норм інклюзивності ДБН В.2.2-40:2018 [46]. Розроблений алгоритм екстреної евакуації немобільних пацієнтів безпосередньо з операційного столу за допомогою матраців-волокуш базується на міжнародній концепції «розумного пристосування», яка закріплена в Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю [47].

У період дії воєнного стану ключовим фактором безпеки є забезпечення безперервності лікувального процесу під час аварійних або стабілізаційних відключень електроенергії (блекаутів), спричинених атаками на енергетичну інфраструктуру.

Ангіографічний комплекс Azurion 7 B20 є обладнанням нульової толерантності до перепадів напруги. Раптове знеструмлення під час емболізації аневризми або механічної тромбектомії становить пряму загрозу життю пацієнта. Для забезпечення енергетичної стійкості відділення розроблено трирівневу архітектуру резервного живлення:

а) Рівень 1 (Миттєве резервування). Кожен елемент ангіографа та наркозно-дихальної апаратури підключено через джерела безперебійного живлення (ДБЖ) класу On-Line (з подвійним перетворенням енергії). Вони забезпечують нульовий час перемикання і здатні підтримувати роботу операційної протягом 15...20 хвилин (цього достатньо для безпечного завершення критичного етапу втручання або стабілізації пацієнта).

б) Рівень 2 (Локальне резервування). На випадок тривалого відключення, лікарня оснащена автономними дизельними електростанціями (генераторами потужністю від 500 кВт). Система автоматичного вводу резерву (АВР) запускає генератори та відновлює подачу живлення на критичні лінії (зокрема в операційні блоки) протягом 10...15 секунд після зникнення напруги в міській мережі.

в) Рівень 3 (Автономність укриття). Захисна споруда цивільного захисту (протирадіаційне укриття ПРУ), куди евакуюються пацієнти та персонал під час сигналу «Повітряна тривога», обладнана власною автономною системою вентиляції (з ручним приводом на випадок повного блекауту), запасами технічної та питної води, а також базовими медикаментами для продовження інтенсивної терапії.

Для наочної демонстрації алгоритму забезпечення енергетичної стійкості рентгенохірургічного блоку в умовах можливих блекаутів, розроблено структурно-логічну схему (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Трирівнева архітектура резервного енергозабезпечення операційної в умовах воєнного стану

Впровадження наведеної архітектури гарантує нульову ймовірність раптового відключення життєзабезпечуючої апаратури, надаючи медичному персоналу необхідний час для безпечного завершення оперативного втручання або переведення пацієнта до автономного укриття.

4.4 Інклюзивні інженерні рішення для евакуації маломобільних пацієнтів в умовах надзвичайних ситуацій

Найскладнішим аспектом ліквідації аварійних ситуацій та реалізації заходів цивільного захисту у Відділенні нейрохірургії та інтервенційної радіології є екстрена евакуація пацієнтів. Специфіка підрозділу полягає в тому, що 100% осіб, які перебувають на операційному столі ангіоблоку, та понад 60% пацієнтів у палатах раннього післяопераційного перебування (пробудження) належать до маломобільних груп населення (МГН) підгрупи М4 (немобільні) згідно з класифікацією ДБН В.2.2-40:2018 [46]. Вони перебувають під дією глибоких анестетиків або седації, підключені до апаратів штучної вентиляції легень, моніторів пацієнта та інфузійних pomp, через що повністю позбавлені здатності до самостійного пересування.

Традиційні плани евакуації часто не враховують особливості цієї категорії, що є порушенням принципів універсального дизайну та концепції «Розумного пристосування», закріпленої у ст. 2 Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю [47]. У разі пожежі або ракетної загрози використання ліфтів категорично заборонено, а переміщення пацієнтів на класичних медичних каталках по сходових клітинах є фізично важким (потребує 4-х рятувальників на одного пацієнта) та вкрай травмонебезпечним.

Для вирішення цієї проблеми запроєктовано оптимізований інклюзивний алгоритм евакуації із застосуванням спеціалізованого обладнання (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Інклюзивні інженерно-технічні засоби евакуації МГН

№ з/п	Тип обладнання	Призначення	Переваги використання в НС
1	Евакуаційні матраци-волокуші	Евакуація немобільних	Матрац постійно знаходиться під простиралом ліжка. Для евакуації медсестра просто фіксує

		пацієнтів по сходах	пацієнта ременями-липучками (система "кокон") і тягне матрац по підлозі та сходах. Забезпечує евакуацію силами 1-2 медпрацівників.
2	Евакуаційні крісла гусеничного	Спуск по сходах пацієнтів, які можуть сидіти	Наявність гумових гусениць дозволяє одній людині (навіть тендітній медсестрі) плавно та без зусиль спускати пацієнта вагою до 150 кг по сходах.
3	Автономні транспортні модулі життєзабезпечення	Транспортування апаратів ШВЛ та інфузоматів разом з пацієнтом	Спеціальна легка стійка, що кріпиться до евакуаційного матраца, дозволяючи не переривати інтенсивну терапію під час руху сходами.

Організація інклюзивного евакуаційного маршруту. Відповідно до ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд» [46], евакуаційні шляхи з ангіблоку до укриття повинні відповідати критеріям безбар'єрності:

1. Ширина коридорів та дверних прорізів має бути не менше 1,2 м для вільного проходження евакуаційних матраців та каталок.

2. Відсутність порогів на всьому маршруті від операційної до сходової клітини та на вході до укриття.

3. Фотолюмінесцентні евакуаційні системи (ФЕС). У разі знеструмлення лікарні (блекауту) і задимлення, звичайні світлові (електричні) вказівники можуть бути невидимими або не працювати. Пропонується нанесення фотолюмінесцентних напрямних смуг (що накопичують світло та світяться в темряві) на рівні 30-40 см від підлоги. Це дозволить персоналу, який тягне евакуаційні матраци низько над підлогою, чітко бачити маршрут.

Впровадження концепції «розумного пристосування» до планів евакуації КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» дозволить скоротити час евакуації операційної бригади разом із немобільним пацієнтом з критичних 12 хвилин до 4 хвилин, при цьому знизивши фізичне навантаження на медичний персонал на 60%. Це не лише підвищує рівень безпеки праці, але й гарантує дотримання прав осіб з інвалідністю та тимчасово немобільних пацієнтів на безпеку в умовах надзвичайних ситуацій.

Для стандартизації дій медичного персоналу в умовах гострого дефіциту часу та високого психоемоційного напруження, що супроводжують надзвичайні ситуації, було розроблено жорсткий покроковий алгоритм інклюзивної евакуації немобільного пацієнта безпосередньо з операційного столу. Використання чітко регламентованої послідовності дій дозволяє уникнути паніки, делегувати повноваження між членами бригади та мінімізувати ризики для життя як пацієнта, так і медичних працівників. Логіко-динамічну схему розробленого евакуаційного процесу наведено на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Алгоритм інклюзивної евакуації немобільного пацієнта з рентгеноопераційної в умовах НС

Наведений алгоритм (рис. 4.3) наочно демонструє, що інтеграція концепції «розумного пристосування» у цивільний захист лікарні докорінно змінює ефективність порятунку. Впровадження спеціалізованих евакуаційних матраців-волокуш у поєднанні з переведенням апаратів ШВЛ на автономне живлення дозволяє не переривати інтенсивну терапію навіть під час евакуації знеструмленими сходовими клітинами. Застосування цієї логічної схеми на практиці гарантує нормативне скорочення часу порятунку пацієнта до 4 хвилин та дозволяє здійснити безпечний спуск маломобільної особи силами лише двох медичних працівників (замість чотирьох за традиційною моделлю на ношах).

4.5 Комп'ютерне моделювання надзвичайної ситуації (пожежі розливу) за допомогою програмного комплексу ALOHA

Обґрунтування сценарію аварії та вихідні дані для моделювання.

В умовах воєнного стану та постійних загроз об'єктам енергетичної інфраструктури, забезпечення безперебійного живлення КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» здійснюється за допомогою потужних автономних дизельних електростанцій (потужністю понад 500 кВт). Відповідно до вимог експлуатації, поруч із генераторами (у внутрішньому дворі хірургічного корпусу) розташовані резервуари зберігання добового запасу дизельного пального об'ємом 2000 літрів.

Найбільш критичним сценарієм надзвичайної ситуації є розгерметизація резервуара внаслідок зовнішнього ударного впливу, уламкового ураження або критичного зносу паливної магістралі з подальшим виливом дизельного пального на асфальтовану поверхню та його займанням. Такий тип аварії класифікується як «Пожежа розливу». Для прогнозування масштабів ураження та оцінки ризиків для хірургічного корпусу було використано спеціалізований програмний комплекс ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) [50], розроблений Агенцією з охорони довкілля США (EPA). Програма базується на математичній моделі суцільного полум'я (Solid Flame Model), де інтенсивність

теплового випромінювання розраховується за законом Стефана-Больцмана [53]. В якості хімічного агента-замінника для дизельного пального, згідно з рекомендаціями ЕРА, обрано вуглеводень н-додекан (n-Dodecane). Введені атмосферні параметри відповідають кліматичній нормі м. Полтави. Детальний звіт вихідних параметрів наведено на рисунку 4.4.

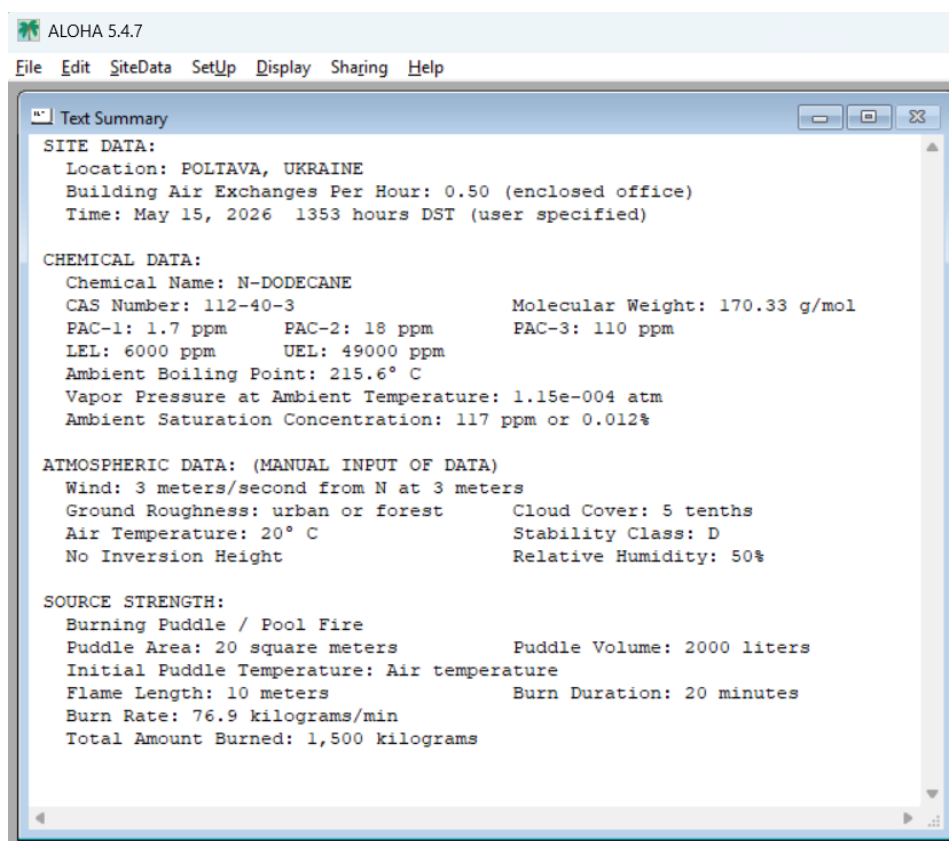


Рисунок 4.4 – Вихідні дані для комп’ютерного моделювання пожежі розливу

Вихідні дані для комп’ютерного моделювання.

1. Локація та атмосферні параметри.

- а) місцезнаходження – м. Полтава;
- б) швидкість вітру – 3 м/с;
- в) температура повітря – 20 °С;
- г) клас стабільності атмосфери за Пасквіллом – D (нейтральна);
- д) відносна вологість – 50%;

є) хімічна речовина – n-Dodecane (н-додекан) – стандартний вуглеводень-замінник, що рекомендований Агенцією ЕРА для моделювання властивостей дизельного пального в середовищі ALOHA [53];

ж) тип аварії – утворення калюжі рідини, що горить (Puddle Fire);

з) об'єм виливу – 2000 літрів.

Аналіз результатів моделювання (Базовий сценарій).

У рамках Базового сценарію 1 змодельовано необмежений вилив 2000 л пального.

За відсутності захисного обвалування рідина розтікається по майданчику, утворюючи площу дзеркала розливу близько 200 м². За результатами розрахунку програма ALOHA згенерувала графічну модель зон теплового ураження, що диференціюється за трьома критичними рівнями (рисунок 4.5).

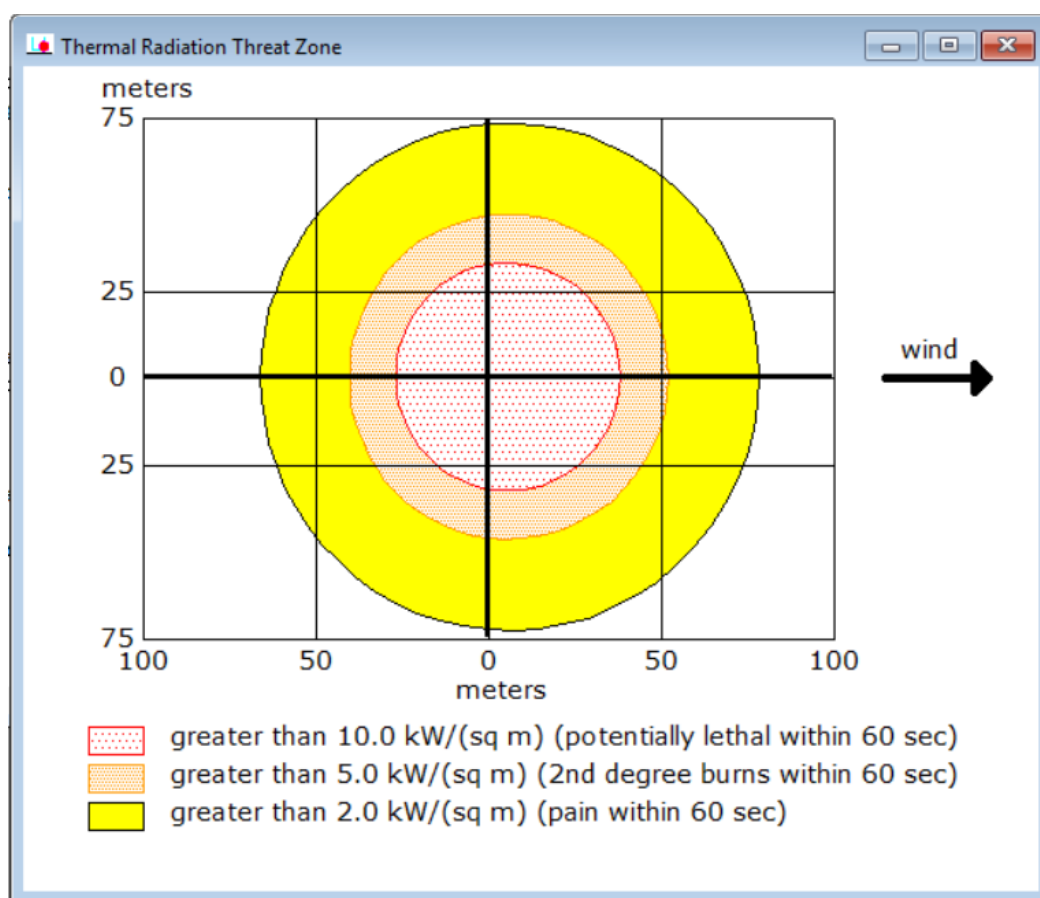


Рисунок 4.5 – Прогнозовані зони теплового випромінювання при вільному розливі 2000 л дизельного пального (без обвалування)

Отримані радіуси ураження:

1. Червона зона 1 (10.0 кВт/м^2). Радіус ураження становить приблизно 32 метри. Це зона абсолютної летальності.

Перебування в ній понад 60 секунд призводить до смерті. Відбувається займання дерев'яних конструкцій та швидке плавлення пластикових віконних рам.

2. Помаранчева зона 2 (5.0 кВт/м^2). Радіус ураження становить приблизно 50 метрів. Це зона отримання опіків 2-го ступеня протягом 60 секунд.

3. Жовта зона (2.0 кВт/м^2). Радіус становить приблизно 70 метрів. Зона больового порогу. Людина відчуває сильний біль, але має змогу евакуюватися.

Висновок до Базового сценарію 1.

Розрахунок показує, що при вільному розливі 2000 л пального помаранчева та червона зони (від 32 до 50 метрів) гарантовано досягають стін хірургічного корпусу. Висока температура спровокує руйнування склопакетів, що призведе до затягування токсичного чорного диму в систему припливної вентиляції операційних.

Розробка та обґрунтування превентивних інженерних заходів

Для ліквідації цього критичного ризику пропонується впровадження пасивного інженерного заходу – будівництво бетонного обвалування (захисного піддону) навколо майданчика дизель-генераторів, що відповідає вимогам ВБН В.2.2-58.1-94 [51].

Обвалування створює замкнений контур площею 20 м^2 із висотою бортика 15 см, що достатньо для безпечного утримання 2000 літрів рідини в разі розгерметизації бака.

Введення обмеженої площі розливу 20 м^2 у програмі ALOHA для повторного моделювання за Сценарієм 2 кардинально змінює масштаби НС (рис.4.6).

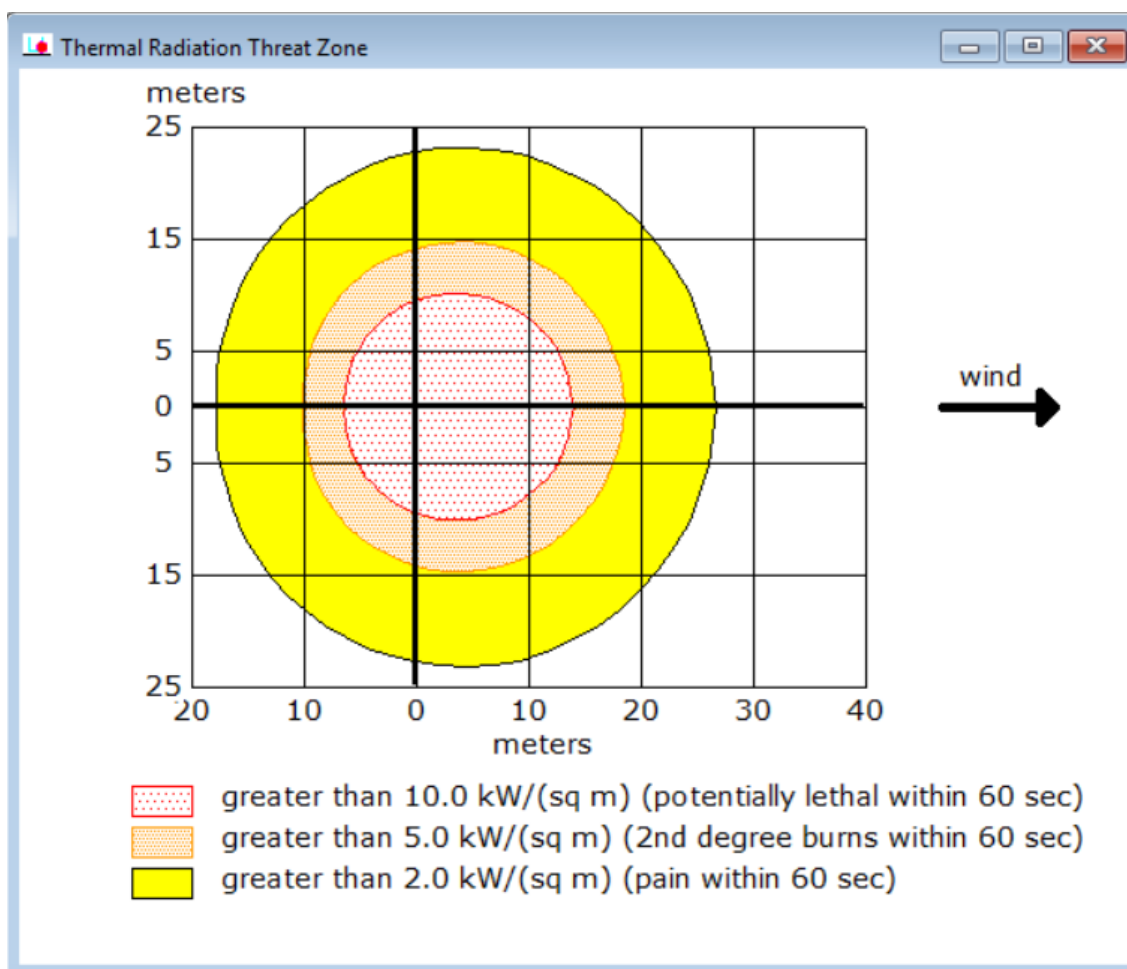


Рисунок 4.6 – Зони теплового випромінювання при локалізації розливу в межах бетонного обвалування

Повторне моделювання демонструє значне скорочення радіусів ураження:

1. Червона зона 1 (летальна) зменшується з 32 метрів до 10 метрів.
2. Помаранчева зона 2 (опіки 2-го ступеня) зменшується з 50 метрів до 15 метрів.

Таке просте і фінансово доступне інженерне рішення повністю локалізує пожежу в межах санітарно-захисної технічної зони генератора. Воно виключає термічний вплив на стіни та вікна лікарні, надійно гарантуючи безпеку пацієнтів та медичного персоналу під час ліквідації аварії.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи комплексно досліджено, розраховано та спроєктовано систему безпеки багатoproфільного медичного закладу в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та воєнного характеру відповідно до положень Кодексу цивільного захисту України [39].

1. На основі аналізу специфіки рентгеноопераційних обґрунтовано необхідність застосування виключно вуглекислотних (ВВК) вогнегасників. Показано, що використання порошкових засобів (ВП) завдасть незворотної шкоди мікросхемам ангиографа вартістю понад 40 млн грн [44].

2. Розроблено трирівневу систему забезпечення енергетичної стійкості ургентних блоків лікарні (ДБЖ – Дизель-генератори – Автономне укриття), що гарантує безперервність лікувального процесу під час блекаутів.

3. Інтегровано концепцію «розумного пристосування» та універсального дизайну Конвенції ООН [47] у плани реагування на НС. Розроблено та алгоритмізовано інклюзивний маршрут та покроковий алгоритм евакуації немобільних пацієнтів за допомогою спеціалізованих матраців-волокуш за умов функціонування низькопрофільних фотолюмінесцентних систем навігації (ФЕС) за вимогами ДБН В.2.2-40:2018 [46]. Доведено, що це дозволяє оперативно скоротити час порятунку маломобільної особи з 12 до 4 хвилин зусиллями всього двох медичних працівників замість чотирьох.

4. За допомогою програмного комплексу ALOHA проведено комп'ютерне моделювання НС (пожежі розливу 2000 л дизельного пального). Показано, що облаштування бетонного обвалування (20 м²) навколо генераторів зменшить радіус летального теплового випромінювання з 32 метрів до безпечних 10 метрів, повністю нівелюючи загрозу руйнування хірургічного корпусу [53].

РОЗДІЛ 5 СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ

5.1 Загальні принципи соціальної відповідальності та нормативно-правове регулювання безпеки у медичних закладах

У сучасних умовах реформування системи охорони здоров'я України концепція соціальної відповідальності вийшла за межі суто корпоративної етики. Для КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» соціальна відповідальність є стратегічним інструментом управління, який інтегрує турботу про навколишнє середовище, безпеку громади та захист власного персоналу в щоденну лікувальну практику. Особливого значення це набуває в умовах дії правового режиму воєнного стану, коли медичний заклад стикається з надвисокими операційними навантаженнями та постійними безпековими загрозами промислового та воєнного характеру.

Відповідно до міжнародного та національного стандарту ДСТУ ISO 26000:2019 «Настанови щодо соціальної відповідальності» [52], діяльність високотехнологічного рентгенохірургічного відділення оцінюється за двома основними векторами:

1. Внутрішня соціальна відповідальність. Це забезпечення безпечних, ергономічних та нешкідливих умов праці, мінімізація професійних ризиків для операційної бригади, психосоціальна підтримка працівників у кризових ситуаціях та недопущення професійного вигорання.

2. Зовнішня соціальна відповідальність. Сюди відносять гарантування екологічної безпеки Полтавської міської територіальної громади через впровадження безвідходних технологій, правильне поводження з біологічно та радіаційно небезпечними медичними відходами, а також стабільне надання ургентної медичної допомоги населенню регіону.

Правове поле, що регламентує питання охорони праці, цивільного захисту та екологічної безпеки в межах досліджуваного об'єкта, базується на нормах Конституції України [53] та Кодексу законів про працю України [54]. Базові

принципи превентивного управління ризиками на робочих місцях закріплені у Законі України «Про охорону праці» [1], а захист персоналу від надзвичайних ситуацій техногенного та воєнного походження регулюється Кодексом цивільного захисту України [39].

Враховуючи специфіку модернізації рентгеноопераційної, екологічний вектор діяльності закладу додатково спирається на Закон України «Про управління відходами» [55] та Державні санітарно-протиепідемічні правила і норми щодо поводження з медичними відходами [4]. Радіохірургічний профіль лікувального процесу зумовлює суворе дотримання вимог Загальних правил радіаційної безпеки при використанні джерел іонізуючого випромінювання в медицині [56]. Реалізація цих нормативних актів дозволяє трансформувати законодавчі імперативи у конкретні інженерно-технічні рішення безпеки.

5.2 Охорона праці та виробнича безпека медичного персоналу ангіоблоку

5.2.1 Ідентифікація та оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Створення безпечних умов праці в рентгеноопераційній є пріоритетним інженерним завданням, оскільки персонал (рентгеноендоваскулярні хірурги, анестезіологи, операційні медичні сестри) щоденно піддається комбінованому впливу специфічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів. З метою систематизації ризиків, проведено детальний аналіз умов праці в ангіоблоці відповідно до Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності [57], результати якого представлено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Матриця ідентифікації НШВФ в ангіографічному блоці та методи захисту

Клас факторів	Виробничий фактор	Джерело походження фактора	Наслідки для здоров'я персоналу	Інженерні та організаційні методи захисту
Фізичні	Іонізуюче (рентгенівське) випромінювання	Рентгенівська трубка ангіографа Azurion 7 B20	Променева соматична патологія, катаракта, онкологічні ризики	Стаціонарні та підвісні ширми, індивідуальні ЗІЗ з просвинцьованої гуми, автоматизований дозиметричний контроль.
Фізичні	Небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі	Живлення ангіографа (380В/50Гц), електрокоагулятори	Електротравми, фібриляція серця, термічні опіки	Заземлення класу «ТН-S», медичні розділові трансформатори ІТ-мережі, використання ПЗВ (30 мА), антистатичне покриття.
Фізичні	Незадовільні параметри мікроклімату та повітряного середовища	Робота потужного медичного обладнання, виділення озону	Переохолодження, тепловий стрес, зниження уваги хірурга	Автоматична система прецизійного кондиціювання повітря з

				ламінарним розподілом.
Біологічні	Патогенні мікроорганізми, віруси (ВІЛ, гепатити В, С)	Контакт із кров'ю та ліквором пацієнта під час операції	Зараження гемотрансмісивними інфекціями	Використання стерильних одноразових ЗІЗ підвищеної міцності, дотримання правил асептики, бар'єрні технології.
Психологічні	Нервово-психічне та емоційне перенапруження	Висока відповідальність за життя пацієнта, ургентні стани	Професійне вигорання, хронічний психогенний стрес	Раціональний режим праці та відпочинку (чергування бригад), регламентовані перерви.
Психологічні	Статичне та динамічне фізичне навантаження	Тривале стояння у важкому захисному одязі (до 7...10 кг)	Патології опорно-рухового апарату, варикозне розширення вен	Ергономічні безлікові підвіси для захисного одягу, ортопедичне взуття, ергономічні стільці-опори.

5.2.2 Інженерно-технічний розрахунок параметрів мікроклімату та вентиляції рентгеноопераційної

З метою нейтралізації фізичних шкідливих факторів (виділення надлишкового тепла від працюючого ангіографічного комплексу Azurion 7 B20 та продуктів іонізації повітря) у приміщенні операційної запроєктовано припливно-витяжну вентиляцію з ламінарним потоком повітря. Виконаємо інженерний розрахунок необхідного повітрообміну L за надлишками явного тепла $Q_{над}$, що виділяється медичною апаратурою та операційною бригадою, для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату $T = 20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість 55%.

Розрахунок виконується за базовою формулою теплового балансу виробничих приміщень, наведеною у посібнику [60]:

$$L = \frac{Q_{над}}{c \cdot \rho \cdot (t_{вид} - t_{прип})}, \quad (5.1)$$

де c – питома теплоємність повітря, $c = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

ρ – густина припливного повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$t_{вид}$ – температура повітря, що видаляється з верхньої зони операційної, $t_{вид} = 22^{\circ}\text{C}$;

$t_{прип}$ – температура припливного кондиційованого повітря, $t_{прип} = 17^{\circ}\text{C}$.

Загальні надлишки явного тепла $Q_{над}$ складаються з тепловиділень від медичного обладнання $Q_{обл}$, штучного освітлення $Q_{осв}$ та біологічного тепла операційної бригади $Q_{люд}$ та визначаються за формулою [60]:

$$Q_{над} = Q_{обл} + Q_{осв} + Q_{люд}. \quad (5.2)$$

Вхідні дані для розрахунку тепловиділень рентгеноопераційної.

1. Площа приміщення $S = 45 \text{ м}^2$.
2. Висота приміщення $H = 3,2 \text{ м}$.
3. Об'єм приміщення $V = 144 \text{ м}^3$.
4. Середнє виділення тепла від ангіографа та систем візуалізації $Q_{обл} = 3500 \text{ Вт}$.

5. Тепловиділення від світлодіодних безтіньових хірургічних світильників та загального освітлення: $Q_{\text{осв}} = 450 \text{ Вт}$.

6. Тепловиділення від операційної бригади у складі 5 осіб (хірург, асистент, анестезіолог, дві медсестри) при виконанні роботи середньої важкості 140 Вт на 1 особу. $Q_{\text{люд}} = 5 \cdot 140 = 700 \text{ Вт}$.

Розв'язання.

1. Сумарні надлишки тепла $Q_{\text{над}}$ становитимуть:

$$Q_{\text{над}} = 3500 + 450 + 700 = 4650 \text{ Вт}.$$

2. Загальний об'єм припливного повітря L складає:

$$L = \frac{16740}{1,005 \cdot 1,2 \cdot (22 - 17)} = 2780 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

3. Потрібна кратність повітрообміну K для приміщення операційної:

$$K = \frac{L}{V} = \frac{2780}{144} = 19,3 \text{ год}^{-1}.$$

Згідно з вимогами ДБН В.2.2-10-2022 [3], для операційних загального профілю нормативна кратність повітрообміну повинна бути не менше 10, а для рентгеноопераційних з високим тепловиділенням має визначатися розрахунком, але не менше 15. Розрахована кратність $K = 19,3$ повністю задовольняє нормативні мінімуми, забезпечує ефективне розбавлення іонізованого повітря та підтримання стабільного мікроклімату для комфортної роботи операційної бригади.

5.3 Екологічна безпека: мінімізація антропогенного впливу, утилізація небезпечних медичних відходів та взаємодія з КАТП-1628

Класифікація та ідентифікація екологічних аспектів функціонування ангиоблоку.

Модернізація та експлуатація рентгеноопераційної з ангиографічним комплексом високої потужності неминує пов'язана з утворенням специфічних потоків відходів, які за відсутності жорсткого інженерного контролю становлять серйозну загрозу для екосистеми Полтавського регіону. Відповідно до Закону України «Про управління відходами» [55] та Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами, затверджених Наказом МОЗ України № 1827 [4], усі відходи, що утворюються в ангиоблоці КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», чітко диференціюються за класами небезпеки.

Особливістю рентгеноендоваскулярної хірургії є висока питома вага використання одноразового високотехнологічного інструментарію: катетерів, провідників, інтрод'юсерів, шприців-колб для автоматичних інжекторів. Такий інструментарій після контакту з кров'ю пацієнта автоматично переходить у розряд епідеміологічно небезпечних субстанцій. Своєю чергою, під час діагностичних процедур утворюються залишки рентгеноконтрастних речовин, що містять йод та інші хімічні сполуки, які потребують токсикологічного контролю.

З метою оптимізації екологічних регламентів лікувального процесу проведено морфологічний аналіз та систематизацію відходів ангиоблоку, результати яких наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Екологічна матриця та морфологічний склад відходів рентгеноопераційної

Категорія відходів	Специфіка та морфологічний склад в ангіоблоці	Первинне маркування та тип тари	Регламент тимчасового зберігання в закладі	Кінцевий метод утилізації та виконавець
Категорія А (Побутові , екологічно безпечні)	Паперова та картонна упаковка від медичного інструментарію, канцелярське сміття, харчові відходи пультової.	Білі або чорні поліетиленові пакети, пластикові контейнери.	Спеціалізований майданчик на території лікарні, строк зберігання не більше 3 діб.	Вивезення на полігон ТПВ за договором із Полтавським КАТП-1628
Категорія В (Епідеміологічно небезпечні)	Використані ангіографічні катетери, провідники, шприц-колби, хірургічні рукавички, забруднені біоматеріалами серветки.	Жовті герметичні пакети, тверді стійкі до проколів пластикові ємності для голок.	Герметизована кімната тимчасового накопичення відходів, не більше 24 годин при $T=+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Термічне знешкодження (високотемпературний інсинератор, понад $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) спеціалізованим ліцензованим підрядником.
Категорія С (Токсикологічно)	Залишки йодовмісних рентгеноконтрастних речовин,	Коричневі або марковані червоним	Окреме вентильоване приміщення	Хімічна нейтралізація або детоксикація на потужностях

небезпечні)	прострочені дезінфектанти, флакони від фармпрепаратів.	кольором ємності, щільні герметичні контейнери.	технічної зони, обмежений доступ персоналу.	спеціалізованого підприємства.
-------------	--	---	---	--------------------------------

Категорія D (Радіоактивні відходи). Незважаючи на те, що ангиограф Azurion 7 B20 є потужним джерелом іонізуючого випромінювання, апарат генерує його виключно електрофізичним способом за рахунок рентгенівської трубки. У процесі роботи не використовуються відкриті радіонуклідні джерела, тому радіоактивні відходи категорії D в ангиоблоці повністю відсутні, що значно спрощує екологічний моніторинг об'єкта.

Організація внутрішньолікарняної логістики та поводження з небезпечними субстанціями.

Для мінімізації ризиків внутрішньолікарняного інфікування, виключення людського фактора під час сортування та запобігання перехресному забрудненню території лікарняного містечка, в ангиоблоці впроваджено чітку двопотокову систему роздільного збирання та транспортування відходів. Логістично-динамічну схему розділення потоків, що відображає повний життєвий цикл поводження з відходами від джерела утворення до кінцевої утилізації, а саме:

1. Збір «на місці» складається зі скидання використаного інструментарію здійснюється безпосередньо в операційній у жовту тару відразу після завершення маніпуляції. Категорично забороняється перекладати, пресувати або дезінфікувати відходи вручну з метою уникнення утворення небезпечних аерозолей.

2. Герметизація відходів. Пакети зав'язуються за допомогою спеціальних затяжок після заповнення їх на 3/4 об'єму, маркуються із зазначенням назви відділення, дати та прізвища відповідальної особи.

3. Транспортування та переміщення до зони тимчасового зберігання здійснюється за допомогою окремого вантажного ліфта та спеціальних закритих пластикових візків жовтого кольору, які підлягають дезінфекції після кожного циклу використання.

Графічне зображення повного циклу поводження з відходами зображено на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – Схема двопотокової логістики та управління відходами в ангіографічному блоці

Взаємодія з муніципальними службами та утилізація відходів за участю КАТП-1628.

Детальний аналіз розробленої логістичної моделі (рис. 5.1) дозволяє чітко диференціювати зони відповідальності та технологічні етапи для кожного класу утворюваних субстанцій:

Потік 1 – Екологічно безпечні відходи Категорії А. Джерелом утворення є переважно пультава ангіографа, кабінети персоналу та чисті зони, де

накопичуються пакувальні матеріали, картон, папір та побутові залишки. Відповідно до схеми, первинне збирання здійснюється у контейнери з білим або чорним колірним маркуванням. Тимчасове накопичення відбувається у стандартних герметичних контейнерах у господарській зоні. Оскільки ці відходи не мають біологічного чи хімічного забруднення, їх вивезення та захоронення на міському полігоні твердих побутових відходів (ТПВ) здійснюється на договірних засадах муніципальним підрядником Полтавське КАТП-1628 згідно з Правилами благоустрою міста [58]. Епідеміологічно та хімічно небезпечні субстанції категорично заборонено змішувати з побутовим сміттям [55].

Потік 2 – Епідеміологічна небезпека Категорії В. Цей потік формується безпосередньо навколо операційного столу та включає використані ангиографічні катетери, провідники, шприц-колби інжекторів та контаміновані біологічними рідинами пацієнта витратні матеріали. Логіка безпеки вимагає миттєвої локальної фіксації: відходи скидаються у жовтий герметичний потік (пакети та тверді ємності для гострого інструментарію) безпосередньо в місці утворення. Критично важливим інженерно-організаційним рішенням є відсутність попередньої дезінфекції хімічними засобами на місці, що мінімізує вплив токсичних хімічних аерозолей на дихальні шляхи медичного персоналу. Транспортування здійснюється у закритих ізольованих ємностях до спеціалізованого приміщення. Кінцева операція передбачає передачу відходів сертифікованій компанії для знищення у високотемпературному інсинераторі за температури понад 1100 °С, що гарантує повне перетворення небезпечного медичного пластику на екологічно безпечний інертний попіл.

Впровадження даної двопотокової моделі дозволяє КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» досягти стовідсоткової відповідності санітарному та екологічному законодавству України, повністю ліквідувати ризик потрапляння інфікованих матеріалів у загальномуніципальний потік сміття та знизити антропогенний вплив на довкілля Полтавського регіону.

5.4 Соціальний аспект «Розумне пристосування» та організація інклюзивних робочих місць для медичних працівників з інвалідністю

Нормативно-правові засади забезпечення безбар'єрності в медичних установах.

Соціальний вектор діяльності КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» в рамках концепції соціальної відповідальності спрямований на створення рівних можливостей для всіх категорій працівників та пацієнтів. Відповідно до Закону України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» [59] та Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю [47], підприємства зобов'язані створювати для них безпечні та комфортні умови праці шляхом реалізації принципу «розумного пристосування».

У контексті модернізації рентгенохірургічного блоку це означає, що проектування нових робочих місць у пультовій та допоміжних приміщеннях має виконуватися із суворим дотриманням принципів Універсального дизайну та вимог ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд» [46]. Створення безбар'єрного архітектурного та цифрового простору дозволяє залучати до високотехнологічної медичної та аналітичної діяльності фахівців, які мають часткову втрату працездатності або хронічні патології опорно-рухового апарату, забезпечуючи їх повноцінну професійну реалізацію.

Інженерно-технічні та ергономічні заходи з адаптації робочих місць ангіоблоку.

Адаптація простору модернізованого ангіоблоку охоплює три паралельні рівні: фізично-архітектурну безбар'єрність, індивідуальну ергономіку робочого місця та цифрову інклюзію. Комплексну трирівневу модель організації безбар'єрного середовища, що базується на принципах Універсального дизайну та вимогах чинного законодавства, наочно представлено на рис. 5.2.

АНАТОМІЯ ІНКЛЮЗИВНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ЛІКАРЯ-КАРДІОАНАЛІТИКА В ПУЛЬТОВІЙ АНГІОБЛОКУ

КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР»



Для медичних працівників (наприклад, лікарів-кардіологів, які здійснюють дистанційне діагностичне моделювання в пультовій, або медичних реєстраторів), що мають порушення опорно-рухового апарату, критично важливо усунути будь-які фізичні перешкоди на шляху руху. Основні інженерні та ергономічні параметри доступності та організації інклюзивних робочих місць в ангіоблоці зведено в таблиці 5.3 [46].

Таблиця 5.3 – Інженерно-ергономічні параметри інклюзивності та безбар'єрності ангіоблоку

Зона адаптації	Нормативний параметр (згідно з ДБН В.2.2-40:2018)	Фактичне інженерне рішення в проекті ангіоблоку	Соціально-безпековий ефект
Вхідна група та дверні прорізи	Ширина дверей у просвіті не менше 90 см, повна відсутність порогів (допускаються скруглені пороги заввишки не більше 2 см).	Двері в операційну та пультову мають ширину 110 см, обладнані автоматичними безконтактними сенсорними приводами. Пороги демонтовані в один рівень із коридором.	Безперешкодний проїзд крісел-колісних, зручність переміщення персоналу з медичним обладнанням.
Покриття підлоги	Тверде, неслизьке (коефіцієнт зчеплення не менше	Укладання спеціалізованого медичного	Запобігання падінню персоналу при

	0,6), стійке до дезінфектантів, антистатичне.	гомогенного лінолеуму з корундовим напиленням та струмопровідною підкладкою.	попаданні рідин на підлогу, зняття статичного заряду.
Робоче місце в пультовій	Робоча поверхня завширшки не менше 100 см, вільний простір для ніг заввишки від 70 см, завглибшки не менше 60 см.	Встановлення ергономічних столів із вбудованим електричним мікроприводом для плавного регулювання висоти столешні від 65 до 125 см (система Sit-to-Stand).	Можливість індивідуального підлаштування висоти моніторів ангіографа під антропометрію лікаря в кріслі чи при роботі стоячи.
Евакуаційні шляхи	Ширина коридорів не менше 180 см, наявність тактильних та фотолюмінесцентних елементів навігації.	Коридори блоку розширені до 220 см, на висоті 90 см встановлені безперервні поручні, впроваджено систему світлових маркерів.	Безпечна самостійна евакуація маломобільних осіб у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Детальний інженерно-технічний аналіз розробленої моделі та зведених нормативних даних (табл. 5.3) дозволяє обґрунтувати ефективність превентивних ергономічних рішень за кожним із трьох визначених рівнів архітектури безбар'єрності (рис. 5.2).

1. Верхній рівень. Цифрова безбар'єрність. Моніторний комплекс ангиографа інтегрує спеціалізовані інтелектуальні модулі підтримки трудового процесу. Впровадження ШІ-модуля «Voice-to-Text» забезпечує голосове заповнення медичних карток та звітів, що знижує тривале статичне навантаження на кисті рук та шийний відділ хребта лікаря, а також суттєво підвищує доступність робочого місця для персоналу з порушеннями дрібної моторики. Додатково інтегровано модуль автоматичного контролю експозиції, який відстежує час перебування персоналу в зоні іонізуючого випромінювання. Це дозволяє в автоматичному режимі реалізувати міжнародний безпековий принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable), мінімізуючи променеве навантаження на операційну бригаду. Великий контраст та чіткі візуальні сигнали інтерфейсу відповідають критеріям когнітивної доступності.

2. Середній рівень. Ергономічне робоче місце. Центральним елементом робочої зони є стіл, обладнаний електричним мікроприводом для плавного регулювання висоти столешні в діапазоні від 65 до 125 см. Це інженерне рішення дозволяє чергувати роботу в положенні «сидячи» та «стоячи», нівелюючи ризик розвитку статичного м'язового перенапруження та патологій опорно-рухового апарату медичного персоналу. Налаштування висоти виконується без фізичних зусиль за допомогою цифрової панелі. Вільний простір під столом (ширина > 100 см, глибина > 60 см) повністю відповідає вимогам ДБН В.2.2-40:2018, забезпечуючи безперешкодне під'їждження, безпечне розташування нижніх кінцівок та вільне маневрування спеціаліста на кріслі-колісному.

3. Нижній рівень. Конструктивні рішення вхідної групи та підлоги ліквідують будь-які фізичні бар'єри на шляху руху маломобільних груп населення. Дверний блок виконано без порогів, а ширина дверного прорізу у просвіті збільшена до 110 см, що гарантує вільний проїзд крісла-колісного та

великогабаритного медичного обладнання відповідно до нормативів доступності. Для автоматизації доступу на стіні встановлено безконтактну сенсорну кнопку відкривання дверей, яка підвищує автономність працівників із порушеннями моторики. Покриття підлоги виконане з гомогенного антистатичного медичного лінолеуму, покладеного в один рівень із загальним коридором. Такий тип покриття запобігає накопиченню статичної електрики (що важливо для захисту мікросхем та плат ангіографа), відповідає високим санітарно-гігієнічним вимогам та полегшує вологе прибирання й дезінфекцію приміщення.

Цифрова інклюзія: використання елементів штучного інтелекту як асистентів у трудовому процесі.

Сучасна концепція соціальної відповідальності передбачає впровадження не лише фізичної, а й цифрової безбар'єрності. У рамках модернізації робочих місць лікарів-аналітиків та рентген-хірургів в ангіоблоці передбачено інтеграцію спеціалізованих цифрових асистентів на базі алгоритмів штучного інтелекту:

1. Голосове керування та інтерфейси введення. Для працівників із порушеннями дрібної моторики або тремором рук, ІІІ-асистент інтегрується у медичну інформаційну систему закладу. Це дозволяє здійснювати повне заповнення протоколів ангіографічних досліджень, карток пацієнтів та звітів за допомогою прецизійного голосового введення з автоматичним розпізнаванням специфічної латинської та української медичної термінології.

2. Когнітивна підтримка та автоматизований аудит безпеки. ІІІ-модуль, інтегрований у СУОП, у реальному часі аналізує дані з камер спостереження операційної та пультової. Він автоматично нагадує персоналу через звукові повідомлення або виведення на екран про необхідність застосування засобів індивідуального захисту, фіксує час перебування в зоні дії рентгенівського випромінювання та сигналізує про перевищення лімітів робочого часу. Така тривимірна інтеграція архітектурної доступності, ергономічних меблів та інтелектуальних цифрових помічників створює у КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» зразкове інклюзивне робоче середовище. Це

повністю нівелює соціальну ізоляцію фахівців з обмеженими фізичними можливостями, переводячи їх у статус високопродуктивних інтелектуальних співробітників медичного закладу.

Висновки до розділу 5

В повному обсязі розглянуто питання соціальної відповідальності, охорони праці, екологічної безпеки та інклюзивності під час модернізації та експлуатації ангиографічного блока КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР».

1. Обґрунтовано стратегічну важливість інтеграції концепції соціальної відповідальності відповідно до стандарту ДСТУ ISO 26000:2019 [52]. Доведено, що в умовах воєнного стану створення безпечного внутрішнього середовища для операційної бригади є базовою передумовою для безперебійного надання високотехнологічної медичної допомоги населенню Полтавського регіону.

2. Проведено ідентифікацію та систематизацію шкідливих і небезпечних виробничих факторів для персоналу ангиоблоку. Виконано інженерно-технічний розрахунок параметрів припливно-витяжної вентиляції з ламінарним розподілом потоків. Розрахована кратність повітрообміну $K = 19,3 \text{ год}^{-1}$ повністю задовольняє вимоги ДБН В.2.2-10-2022, що гарантує ефективне видалення надлишків явного тепла (4,65 кВт) та продуктів іонізації повітря в рентгеноопераційній.

3. Розроблено та впроваджено раціональну схему двопотокової логістики управління відходами за класами небезпеки відповідно до вимог Закону України «Про управління відходами» та наказу МОЗ № 325 (рис. 5.1). Чітко розмежовано рух побутових відходів (Категорія А), збирання та захоронення яких передано на договірних засадах муніципальному підприємству Полтавське КАТП-1628 [58], та епідеміологічно небезпечних субстанцій (Категорія В), що підлягають термічному знешкодженню в інсинераторах ліцензованих компаній. Це дозволило повністю нівелювати антропогенний та інфекційний тиск на екосистему м. Полтава.

4. На основі вимог ДБН В.2.2-40:2018 та принципу «розумного пристосування» реалізовано комплексну трирівневу модель інклюзивного робочого середовища в пультовій ангиоблоку (рис. 5.2). Поєднання фізично-архітектурної доступності основи (ширина прорізів 110 см, відсутність порогів), ергономічних меблів та елементів цифрової інклюзії на базі штучного інтелекту повністю виключає професійну та соціальну ізоляцію фахівців із частковою втратою працездатності й забезпечує їм рівний, безпечний доступ до виконання складних інтелектуальних завдань у сфері сучасної рентген-кардіоаналітики.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано теоретичне узагальнення та розв'язано актуальне науково-практичне завдання щодо забезпечення комплексного рівня безпеки, цивільного захисту та соціальної відповідальності під час модернізації та експлуатації ангиографічного блока КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» в умовах дії правового режиму воєнного стану.

Основні наукові та практичні результати дослідження полягають у наступному:

1. Досліджено специфіку функціонування та інженерну інфраструктуру хірургічного корпусу лікарні. Проаналізовано діючу систему управління охороною праці лікарні. Встановлено, що попри позитивну динаміку зниження захворюваності персоналу, інтеграція високотехнологічного комплексу Philips Azurion 7 B20 вимагає кардинальної перебудови систем електропостачання, вентиляції, радіаційного та протипожежного захисту приміщень відповідно до чинних будівельних і санітарних норм.

На основі порівняльного аналізу фізико-хімічних властивостей вогнегасних речовин обґрунтовано повну відмову від порошкових засобів у межах ангиоблоку через ризик незворотної адгезії та термічного спікання мікросхем під дією високих температур. Доведено техніко-економічну доцільність застосування виключно вуглекислотних вогнегасників, що дозволяє ліквідувати загоряння без пошкодження дороговартісної електроніки ангиографа.

2. Розроблено та математично обґрунтовано трирівневу систему гарантованого енергопостачання ургентних операційних закладу (Джерела безперебійного живлення – Автономні дизель-генератори – Резервне живлення захисної споруди). Проведено розрахунок параметрів добового паливного бака об'ємом 2000 літрів для забезпечення безперервної автономної роботи відділення в умовах блекаутів.

3. Інтегровано концепцію «розумного пристосування» у плани цивільного захисту медичної установи. Розроблено та практично обґрунтовано алгоритм

швидкої евакуації немобільних пацієнтів (категорії М4) безпосередньо з операційного столу за допомогою спеціалізованих евакуаційних матраців-волокуш, що дозволяє скоротити час транспортування до безпечної зони до 4 хвилин силами мінімального розрахунку персоналу.

4. За допомогою програмного комплексу ALOHA проведено цифрове моделювання критичної НС – пожежі розливу 2000 л дизельного пального на території лікарняного двору. На основі розрахунку інтенсивності теплового випромінювання показано, що базовий сценарій, який складається з вільного розтікання на площі 200 м² несе пряму загрозу руйнування фасадного скління та задимлення операційних. Запропоновано та змодельовано пасивний інженерний захист – спорудження бетонного обвалування площею 20 м². Це в свою чергу дозволило зменшити радіус летального теплового впливу з 32 м до безпечних 10 м, а також повністю локалізувати аварію в технічній зоні.

5. Проведено кількісне оцінювання професійних ризиків. Встановлено, що інтегральний показник загального ризику перевищує базовий допустимий рівень, що обґрунтувало необхідність впровадження інженерних заходів. Зокрема, проведено комплексний аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів для операційної бригади, виконано інженерний розрахунок параметрів припливно-витяжної вентиляції з ламінарним розподілом повітряних потоків. Визначено, що для асиміляції надлишків тепла (4,65 кВт) необхідна кратність повітрообміну становить $K = 19,3 \text{ год}^{-1}$, що в свою чергу повністю задовольняє вимоги ДБН В.2.2-10-2022 та гарантує безпеку праці лікарів.

6. Запропоновано та візуалізовано двопотокову модель управління відходами за класами небезпеки. Упорядковано регламент збору та передачі екологічно безпечного побутового сміття (Категорія А) комунальним службам міста за участю Полтавського КАТП-1628, а також виокремлено закритий цикл високотемпературного інсинераційного знешкодження епідеміологічно небезпечних медичних виробів (Категорія В) спеціалізованими ліцензованими підприємствами.

На основі положень ДБН В.2.2-40:2018 розроблено просторово-ергономічну модель інклюзивного робочого місця лікаря-кардіоаналітика в пультовій. Інженерні рішення охоплюють архітектурну доступність, ергономічні меблі та інтеграцію елементів штучного інтелекту.

Результати магістерської роботи мають безпосереднє практичне значення і рекомендовані до впровадження в інженерну практику КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» та інших лікувально-профілактичних закладів аналогічного профілю для підвищення рівня їхнього техногенного захисту, екологічної стійкості та соціальної відповідальності.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
2. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05): Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>.
3. ДБН В.2.2-10:2022. Заклади охорони здоров'я: Державні будівельні норми України. [Чинний від 2022-09-01]. Київ : Мінрегіон України, 2022. 143 с.
4. Про затвердження Змін до Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.10.2022 № 1827 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1387-22#Text>.
5. Про функціонування системи управління охороною праці в закладі: Наказ головного лікаря КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» від 11.07.1995 № 155. Полтава, 1995. 3 с.
6. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. – [Чинний від 2008-01-01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 22 с.
7. Спеціалізований ангіографічний комплекс Philips Azurion 7. Технічне керівництво з експлуатації та специфікація обладнання / Philips Medical Systems. Eindhoven, 2021. 180 с.
8. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском (НПАОП 0.00-1.81-18): Наказ Міністерства соціальної політики України

від 05.03.2018 № 333 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18>.

9. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT). Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. [Чинний від 2021-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 45 с.

10. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. та ін. Управління охороною праці та професійним ризиком : підручник. Київ : Основа, 2007. 248 с.

11. Бегун В. В. Культура безпеки в соціотехнічних системах: навч. посіб. / В. В. Бегун. – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 131 с.

12. Про затвердження Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва: Постанова Кабінету Міністрів України від 12.04.2017 № 257 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/257-2017-%D0%BF>.

13. Про організацію профілактики інфекцій та інфекційного контролю в закладах охорони здоров'я та установах/ закладах надання соціальних послуг/ соціального захисту населення: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03.08.2021 № 1614 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1318-21>.

14. Пул стандартних операційних процедур з управління медичними відходами в КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» (СОП СЗ-УВ-01 – СЗ-УВ-09): Наказ головного лікаря від 15.05.2025 № 112. – Полтава, 2025. – 24 с.

15. Інструкція щодо організації епідеміологічного нагляду та контролю за інфекціями, пов'язаними з наданням медичної допомоги в операційних блоках: Наказ головного лікаря КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР» від 20.05.2025 № 118. – Полтава, 2025. – 12 с.

16. Про затвердження стандартів медичної допомоги при вірусному гепатиті С у дорослих: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 15.01.2021 № 51 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0051282-21#Text>.

17. Державні санітарні правила «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур»: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 04.06.2007 № 294 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1256-07>.

18. Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання: Закон України від 14.01.1998 № 15/98-ВР [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80>.

19. СОП СЗ-УВ-02. Стандартна операційна процедура поводження з інфекційно небезпечними медичними відходами (Категорія В, код 18 01 03*): Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 8 с.

20. СОП СЗ-УВ-05. Стандартна операційна процедура поводження з токсикологічно небезпечними медичними відходами (Категорія С, код 18 01 06*): Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 6 с.

21. СОП СЗ-УВ-01. Стандартна операційна процедура організації загальної системи управління медичними відходами в закладі: Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 5 с.

22. СОП СЗ-УВ-03. Стандартна операційна процедура поводження з побутовими та екологічно безпечними медичними відходами (Категорія А): Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 6 с.

23. СОП СЗ-УВ-04. Стандартна операційна процедура логістики та внутрішньолікарняного транспортування відходів: Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 7 с.

24. СОП СЗ-УВ-09. Стандартна операційна процедура дій персоналу при виникненні аварійних ситуацій під час поводження з медичними відходами та

ведення е-журналу реєстрації аварій: Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 8 с.

25. СОП СЗ-УВ-06. Стандартна операційна процедура збору та тимчасового зберігання токсикологічно небезпечних відходів: Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 5 с.

26. СОП СЗ-УВ-07. Стандартна операційна процедура дезінфекції та санітарного оброблення багаторазового інвентарю для відходів: Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 6 с.

27. СОП СЗ-УВ-08. Стандартна операційна процедура проведення інструктажів та виробничого контролю у сфері управління відходами: Внутрішній нормативний документ. – КП «ПОКЛ ім. М.В. Скліфосовського ПОР», 2025. – 7 с.

28. ДСТУ EN ISO 14644-1:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря (EN ISO 14644-1:1999, IDT). – [Чинний від 2010-09-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010. – 28 с.

29. ДСТУ EN ISO 14644-1:2016 (EN ISO 14644-1:2015, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря. – [Чинний від 2017-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 32 с.

30. ДСТУ EN 12464-1:2016 (EN 12464-1:2011, IDT). Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця. – [Чинний від 2016-12-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 62 с.

31. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення: Державні будівельні норми України. [Чинний від 2019-03-01]. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 124 с.

32. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): Державні гігієнічні нормативи: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.1997 № 208

[Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0208282-97>.

33. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005) : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.02.2005 № 54 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>.

34. Радіаційна гігієна: підручник / С.Т. Олійник, В.А. Сінченко, М.І. Кириленко та ін. – Київ: Знання, 2015. – 382 с.

35. Гігієна праці: підручник / Ю.І. Кундієв, О.П. Яворовський, А.М. Шевченко та ін. – Київ: ВСВ «Медицина», 2011. – 904 с.

36. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ): Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text>.

37. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. – [Чинний від 2017-04-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 64 с.

38. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT). Менеджмент ризиків. Принципи та керівні вказівки. – [Чинний від 2019-01-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 24 с.

39. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

40. ДСТУ EN 60601-1:2019 (EN 60601-1:2006, IDT). Вироби медичні електричні. Частина 1. Загальні вимоги до основної безпеки та основних характеристик. – [Чинний від 2020-01-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 244 с.

41. Правила безпеки при виробництві та споживанні продуктів розділення повітря (НПАОП 0.00-1.65-88): Затверджено Держгіртехнаглядом СРСР 12.04.1988.

42. Охорона праці та цивільний захист: підручник / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін.; за ред. О.Г. Левченка. – Київ : Основа, 2019. – 416 с.
43. Про затвердження Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях: Постанова Кабінету Міністрів України від 26.06.2013 № 444 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/444-2013-%D0%BF>.
44. Правила пожежної безпеки в Україні: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>.
45. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: Державні будівельні норми України. – [Чинний від 2017-06-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2017. – 48 с.
46. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення: Державні будівельні норми України. – [Чинний від 2019-04-01]. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 94 с.
47. Конвенція ООН про права осіб з інвалідністю: Міжнародний документ від 13.12.2006 [Ратифіковано Законом України від 16.12.2009 № 1767-VI] [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71.
48. Захист від іонізуючого випромінювання: навч. посіб. / М.І. Кириленко, В.А. Сінченко. – Київ : Вища школа, 2012. – 215 с.
49. Бездротові сенсорні мережі та технології Інтернету речей: навч. посіб. / В.М. Безрук, О.В. Федоров. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – 184 с.
50. ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). Air Modeling Group / Environmental Protection Agency (EPA). USA, 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>.

51. ВБН В.2.2-58.1-94. Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. – [Чинний від 1994-10-01]. – Київ: Держкомнафтогаз України, 1994. – 119 с.
52. ДСТУ ISO 26000:2019 (ISO 26000:2010, IDT). Настанови щодо соціальної відповідальності. – [Чинний від 2020-01-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 112 с.
53. Конституція України: Закон від 28.06.1996 № 254к/96-ВР [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.
54. Кодекс законів про працю України : Закон від 10.12.1971 № 322-VIII [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>.
55. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>.
56. Загальні правила радіаційної безпеки при використанні джерел іонізуючого випромінювання в медицині: Наказ Міністерства охорони здоров'я України, Державного комітету ядерного регулювання України від 16.12.2017 № 51/151 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0636-17#Text>.
57. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248 [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>.
58. Правила благоустрою забезпечення чистоти, порядку утримання і прибирання вуличних, дворових територій територіальної громади міста Полтава: Затверджено рішенням одинадцятої сесії Полтавської міської ради восьмого скликання від 16.03.2022. – Полтава: ПМР, 2022. – 84 с.

59. Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні: Закон України від 21.03.1991 № 875-ХІІ [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12>.

60. Розрахунок та проектування систем вентиляції та кондиціонування повітря: довідник / за ред. В. М. Довгалюка. – Київ: КНУБА, 2018. – 210 с.

61. Проектування та розрахунок систем штучного освітлення: навч. посіб. / О. О. Клімов, І. В. Назаренко. – Харків : ХНАДУ, 2019. – 144 с.

62. Математичне моделювання процесів розповсюдження газів та безпека у надзвичайних ситуаціях: монографія / М. В. Степанов. – Львів: ЛДУБЖ, 2021. – 176 с.

63. ДСТУ EN 16991:2022 (EN 16991:2018, IDT). Ризик-орієнтований технічний огляд. Основні положення. – [Чинний від 2023-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 36 с.,

64. ДСТУ ISO/TR 16649:2022 (ISO/TR 16649:2016, IDT). Менеджмент ризиків. Настанови щодо застосування ДСТУ ISO 31000. – [Чинний від 2023-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 42 с.

Додаток А**Перелік графічного матеріалу**

Таблиця А.1 – Перелік графічного матеріалу

№ з/п	Назва графічного матеріалу	Кількість аркушів
1.	Види діяльності підприємства	1
2.	Характеристика небезпечних та шкідливих факторів	1
3.	Результати аналізу стану охорони праці	1
4.	Програма проведення аудиту	1
5.	Критерії та об'єкти проведення аудиту	2
6.	Методи проведення аудиту	1
7.	Результати розрахунку системи вентиляції	1
8.	Підготовка вихідних даних для розрахунку освітлення	1
9.	Результати розрахунку освітлення	1
10.	Соціально-економічна ефективність	1