

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

МАТУХНО ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 544.454:[656.085.6:519.853]

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ГАЗОНАФТОПЕРЕРОБНИХ
ОБ'ЄКТІВ (НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ) ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЯХ
З ВИБУХАМИ ХМАР ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ**

Спеціальність 21.02.03 – цивільний захист

21 – національна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті цивільного захисту України Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Чуб Ігор Андрійович,
Національний університет цивільного захисту
України,
начальник кафедри пожежної профілактики в
населених пунктах.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Беліков Анатолій Серафимович,
Придніпровська державна академія
будівництва і архітектури,
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності;

доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Коритченко Костянтин Володимирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри загальної електротехніки.

Захист відбудеться « 30 » _____ 01 _____ 20 19 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.707.04 при Національному університеті цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 64.707.04 за електронною адресою: http://nuczu.edu.ua/ukr/science/y_sps/d6470704/.

Автореферат розіслано « 27 » _____ 12 _____ 20 18 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.Ю. Колосков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Газонафтопереробні підприємства (ГНПП) є одними з найбільш небезпечних виробничих об'єктів промисловості України, на яких утворюються, використовуються, переробляються, зберігаються, транспортуються у великій кількості небезпечні речовини, і, як правило, вони розташовуються поблизу великих населених пунктів. Надзвичайні ситуації (НС) на цих об'єктах характеризуються великими об'ємами викидів вибухонебезпечних речовин, утворенням хмар газоповітряних сумішей (ГПС), вибухами та пожежами, які приводять до руйнування або пошкодження будівель, споруд, технологічних установок.

Зростаюче в останні роки число НС, пов'язаних з вибухами, на газонафтопереробних підприємствах в Україні обумовлено, з одного боку, прогресуючим зношуванням основних фондів підприємств та, з іншого боку, зменшенням кількості коштів, що виділяються на розвиток систем техногенної безпеки об'єктів. Для подолання ситуації, що склалася, необхідно: по-перше, забезпечити прийнятний рівень вибухонебезпеки об'єктів, по-друге – передбачити зниження ступеня впливу наслідків можливого вибуху. Ситуація ускладнюється тим, що існуюча структура нормативної бази України в галузі техногенної безпеки не дозволяє достовірно оцінити рівень вибухонебезпеки ГНПП.

У зв'язку з цим особливої важливості набуває задача аналізу та усунення недоліків наявних методів кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки об'єктів газонафтопереробної галузі та розробка методів його зниження на основі математичного моделювання НС на газонафтопереробних підприємствах України та комплексного аналізу їх кількісних характеристик.

Одним із заходів, спрямованих на попередження розвитку НС на газонафтопереробних підприємствах, є поділ технологічної схеми на окремі технологічні блоки, який реалізується на етапі проектування. Але при існуючих принципах розміщення технологічного обладнання даний захід є неефективним, оскільки вибух всередині технологічного блоку хмари ГПС, яка виникла внаслідок НС з руйнуванням обладнання, призводить до появи вражаючих факторів критичної величини. У зв'язку з цим при розробці генеральних планів ГНПП необхідним є такий підхід до розміщення технологічного обладнання в блоці, при застосуванні якого зводиться до мінімуму вплив вражаючих факторів на сусіднє обладнання в разі виникнення НС.

Таким чином, розробка кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з вибухом хмари ГПС та методу мінімізації цього рівня шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі пожежної профілактики в населених пунктах НУЦЗ України у відповідності до Загальнодержавної

цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012-2016 роки (Розпорядження КМУ від 27 квітня 2011 року № 368-р) у рамках науково-дослідної роботи «Підвищення пожежовибухобезпеки об'єктів з можливими викидами хмар газоповітряних сумішей» (№ ДР 0117U002004), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка кількісної оцінки та методу мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства (на етапі проектування) в умовах можливої надзвичайної ситуації з вибухом дрейфуючої хмари газоповітряної суміші шляхом оптимізації розміщення вибухонебезпечного технологічного обладнання.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були поставлені та розв'язані наступні наукові задачі:

1. Проведено аналіз літературних джерел щодо моделей та методів визначення та зниження рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС.

2. Визначено структуру критерію кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС з урахуванням особливостей забудови території, режиму вибуху, впливу вибуху на обладнання блоку та характеристик вибухонебезпечних речовин.

3. Побудовано математичну модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС та проаналізовано її особливості.

4. Доведено еквівалентність задачі мінімізації наслідків НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС у технологічному блоці ГНПП та оптимізаційної задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП.

5. Розроблено метод розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання блоку.

6. Виконано практичну реалізацію методу мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС на прикладі оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання модельного технологічного блоку та типової абсорбційно-газофракціонуючої установки (АГФУ).

Об'єкт дослідження – вибухонебезпека технологічного блоку ГНПП, на якому можливі НС з вибухами дрейфуючих хмар ГПС.

Предмет дослідження – методи зниження рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування), в якому можливі НС з вибухами дрейфуючих хмар ГПС.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених наукових задач в

дисертаційному дослідженні використовувалися кількісні методи визначення параметрів вибуху, методи математичного моделювання впливу вибуху на сусідні об'єкти технологічного блоку, для розробки критерію кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС використовувалися теорія ймовірностей та теорія надійності, для розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС застосовувалися оптимізаційні методи теорії геометричного проектування та нелінійного математичного програмування.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – розробку кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах можливої НС з вибухом дрейфуючої хмари ГПС та методу мінімізації цього рівня шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання блоку.

При виконанні дисертації отримано нові наукові результати:

1. Вперше розроблено математичну модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства (на етапі проектування) в умовах надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші з урахуванням її дрейфу.

2. Вдосконалено кількісний критерій оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства (на етапі проектування) в умовах надзвичайної ситуації з вибухом дрейфуючої хмари газоповітряної суміші шляхом урахування характеристик вибухонебезпечних речовин, режиму вибуху, впливу вибуху на обладнання блоку та особливостей забудови території.

3. Отримав подальший розвиток метод мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства (на етапі проектування) в умовах надзвичайної ситуації з вибухом дрейфуючої хмари газоповітряної суміші за рахунок оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання блоку, що дозволило знизити рівень вибухонебезпеки типової абсорбційно-газофракціонуючої установки ГНПП на 64,3 % без порушень технологічного процесу.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком конструктивних засобів розв'язання задач зниження вибухонебезпеки технологічних блоків ГНПП в умовах НС з вибухами дрейфуючих хмар ГПС шляхом оптимізації розміщення вибухонебезпечного обладнання блоку.

Математична модель та метод оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання технологічного блоку можуть використовуватися науково-дослідними, проектно-конструкторськими організаціями на етапах побудови генеральних планів підприємств газонафтопереробної галузі України, що дозволить мінімізувати рівень їх

вибухонебезпеки та знизити ймовірність руйнування обладнання в умовах НС з вибухами дрейфуючих хмар ГПС.

Застосування запропонованого в роботі кількісного критерію для оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП дозволить підвищити точність його визначення шляхом врахування дрейфу хмари ГПС, зниження концентрації вибухонебезпечної речовини у хмарі завдяки процесу розсіювання, а також характеристик вибухонебезпечних речовин, режиму вибуху та особливостей забудови території.

Результати роботи можуть бути використані при складанні планів ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) ГНПП для визначення параметрів НС з вибухами дрейфуючих хмар ГПС та кількісної оцінки впливу вибуху на технологічне обладнання, установки, будівлі та споруди підприємства.

Математична модель та метод мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП можуть застосовуватися при розв'язанні задачі мінімізації наслідків НС з вибухом хмари ГПС у технологічному блоці ГНПП.

Основні результати дисертаційного дослідження були впроваджені на Гнідинцівському газопереробному заводі (м. Варва Чернігівської області) при складанні проекту абсорбційно-газофракціонуючої установки, в підрозділах Управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій в Чернігівській області при розробці ПЛАС об'єктів газонафтопереробки та в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені в роботах [1–15]. В наукових роботах [1–7, 9–13], що опубліковані у співавторстві, особисто здобувачу належать: в роботі [1] – аналіз останніх публікацій, проведення розрахунків, аналіз отриманих результатів; в роботах [2, 6] – математична модель оптимізаційної задачі розміщення, загальна схема методу; в роботах [3, 13] – загальна схема та алгоритмічна реалізація методу розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку; в роботах [4, 12] – методика прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом газоповітряної хмари, розрахунок параметрів вибуху; в роботі [5, 9] – математична модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки об'єкту нафтопереробного підприємства, на якому можливо виникнення надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші; в роботах [7, 10, 11] – розробка структури інтегрального критерію кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки об'єкту, проведення розрахунків.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика)» (Харків 2014) [6]; 17 Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського

простору» (Київ, 2015) [7]; Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (Харків, 2015) [8]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки» (Харків, 2015) [9]; X Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (Мінськ, 2016) [10]; I Міжнародній науково-практичній конференції «Забезпечення промислової та цивільної безпеки в Україні та світі» (Луцьк, 2016) [11]; Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки «Fire Safety Issues» (Харків, 2016) [12]; 19 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (Київ, 2017) [13]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Пожежна безпека: проблеми та перспективи» (Харків, 2018) [14]; Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 2018) [15], наукових семінарах НУЦЗ України (2015-2018).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць: 5 статей у наукових фахових виданнях України (з них 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science та 2 статті у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus і Ulrich's Periodicals) та 10 тез доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота загальним обсягом 196 сторінок складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 139 найменувань і 2 додатків, містить 33 рисунки, з них 1 рисунок на окремій сторінці та 29 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми та сформульовано мету дисертаційної роботи, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено наукову новизну та розкрито теоретичне і практичне значення отриманих результатів, а також напрями їхнього впровадження, проаналізовано рівень відображення результатів дисертаційної роботи в публікаціях та їх апробація на наукових конференціях.

У **першому розділі** дисертаційної роботи проаналізовано наявні в науковій літературі публікації з тематики дослідження. Питання вибухів хмар ГПС на промислових об'єктах, методів оцінки і зниження рівня вибухонебезпеки розглядалися в роботах українських та закордонних вчених Ковальова Є.М., Тляшевої Р.Р., Солодовникова А.В., Белікова А.С., Коритченка К.В., Налиська М.М., Van der Berg A.C., Lee J.H. та ін.

Проаналізовано статистичні дані щодо вибухів, які сталися на підприємствах з переробки вуглеводневої сировини різних країн. Аналіз показав, що кількість НС, які супроводжуються вибухами, має тенденцію до зростання. Виникнення НС найчастіше відбувається в результаті розгерметизації технологічних установок в результаті їх руйнування або з інших причин з викидом вибухонебезпечної речовини в газоподібній фазі, утворенням хмари ГПС та її подальшим вибухом.

Аналіз можливих наслідків НС свідчить, що вибухи на відкритих майданчиках ГНПП найбільш небезпечні внаслідок розгалуженості мережі технологічних комунікацій, великої щільності насичення території технологічним обладнанням та високий вміст в установках вибухонебезпечних речовин.

Проведено аналіз особливостей техногенних НС з вибухами хмар ГПС на ГНПП, розглянуто типові схеми аналізу ймовірних моделей виникнення та розвитку НС з розгерметизацією обладнання, викидом вибухонебезпечної речовини, формуванням хмари ГПС та її вибухом, проаналізовано стадії і характеристики розвитку НС з викидом вибухонебезпечної речовини.

На рис. 1 наведено схему виникнення та розвитку НС з вибухом хмари ГПС.

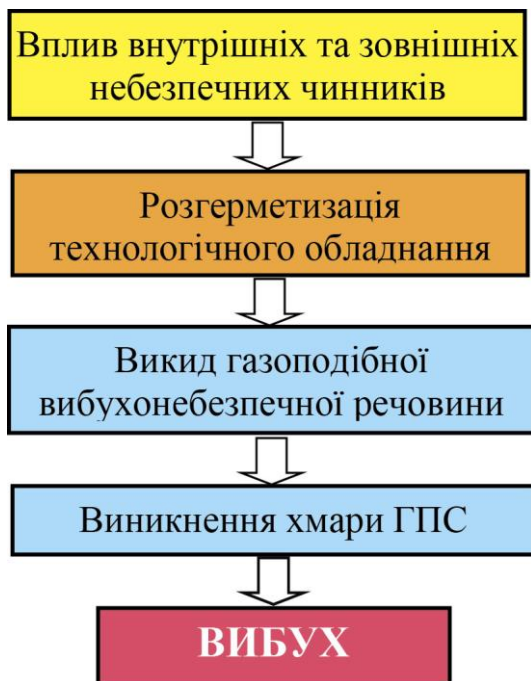


Рисунок 1 – Схема виникнення та розвитку НС з вибухом хмари ГПС

Аналіз особливостей техногенних НС з вибухами хмар ГПС на ГНПП показав, що майже у 96% випадків вибухове перетворення відбувається за дефлаграційним механізмом, для більшості вибухонебезпечних речовин детонація не реалізується ніколи. Найбільш часто спостерігаються НС з вибухами хмар ГПС, що мають маси від 1000 кг до 10000 кг (32,9%) і від 10000 до 100000 кг (32,8%).

Менша кількість вибухів доводиться на хмари ГПС з малими і дуже великими масами. Найбільша ймовірність вибуху хмари ГПС спостерігається в перші 60 секунд її існування, потім зменшується у 1,5 рази і залишається на цьому рівні аж до 30 хвилин.

Для найбільшої частки хмар ГПС, що утворилися в результаті НС з розгерметизацією технологічного обладнання ГНПП (63,2%), довжина дрейфу до вибухового перетворення не перевищує 100 м.

У два рази менша кількість хмар ГПС (34,5%) встигає до вибуху переміститися на відстань від 100 м до 1000 м, величина дрейфу, що перевищує 1 км, майже не спостерігається (2,3%).

Проведено аналіз стану нормативно-правової бази в сфері промислової безпеки України і зарубіжних країн, зокрема з питань забезпечення вибухобезпеки потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО), у тому числі ГНПП, та розробки методів і засобів кількісної оцінки і мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічних блоків ГНПП на етапі проектування в умовах НС з вибухами хмар ГПС. Результати аналізу свідчать, що, незважаючи на гостру практичну потребу, майже відсутні затверджені методики кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки ПНО.

На основі вивчення літературних джерел проведено аналітичний огляд сучасного стану з розробкою методів зниження рівня вибухопожежонебезпеки ПНО, зокрема ГНПП. За результатами огляду було встановлено, що в Україні відсутні затверджені методики мінімізації рівня вибухонебезпеки промислових об'єктів, на яких можливі викиди газоподібних вибухонебезпечних речовин. Таке становище вкрай ускладнює процес проектування ГНПП та їх технологічних блоків та створює необхідність у пошуку нових рішень для розв'язання цих питань.

У **другому розділі** дисертаційної роботи була здійснена постановка оптимізаційної задачі зниження рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з утворенням і вибухом хмари ГПС шляхом раціонального розміщення вибухонебезпечного технологічного обладнання. Розміщення здійснюється з урахуванням режиму вибуху, характеристик вибухонебезпечних речовин, впливу вибуху на сусіднє обладнання, а також можливості дрейфу хмари ГПС під дією вітру.

Нехай є деяка замкнута область $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}^2$ (технологічний блок), що містить I об'єктів (технологічних апаратів) S_i , $i=1, 2, \dots, I$, які мають задану просторову форму та геометричні характеристики. В області $\mathfrak{R}$ можуть бути присутніми нерухомі зони заборон T_k ($k=1, 2, \dots, K$). У цьому випадку розміщення об'єктів S_i допускається в деякій підобласті Ω області $\mathfrak{R}$:

$$\Omega = (\mathfrak{R} \setminus \bigcup_{k=1}^K T_k).$$

Зв'яжемо область розміщення Ω з нерухомою системою координат XOY , а кожен об'єкт S_i – з рухомою системою координат $X_iO_iY_i$. Місце розташування множини I об'єктів S_i в області Ω визначається вектором Z

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_I) = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_I, y_I), \quad Z \in \mathbb{R}^{2I},$$

де $z_i = (x_i, y_i)$ – параметри положення рухомої системи координат $X_iO_iY_i$ (параметри розміщення) відносно нерухомої системи координат XOY .

Для кількісної характеристики рівня вибухонебезпеки технологічного

блоку $\mathfrak{R}$ в дисертації пропонується інтегральний критерій Λ , який має вигляд:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i \Lambda_i, \quad (1)$$

де Λ_i – частковий критерій, який кількісно характеризує рівень вибухонебезпеки об'єкту S_i (i -го технологічного апарату); λ_i – вагова функція об'єкту S_i , що моделює ступінь впливу вибуху хмари ГПС, яка утворилася при НС на ньому, на сусідні об'єкти $i=1, 2, \dots, I$.

У цьому випадку оптимізаційна задача мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку має вигляд:
знайти

$$\min_W \Lambda = \min_W \left(\sum_{i=1}^I \lambda_i \Lambda_i \right), \quad (2)$$

де W – область допустимих розв'язків задачі.

Для обчислення величини часткового критерію Λ_i у дисертації пропонується використання наступної формули:

$$\Lambda_i = E_B^i \cdot Q_{\text{НС}}^{\text{in}} \cdot Q_B^{\text{in}} \cdot q_{iv}, \quad n \in \{1, 2, \dots, 5\}, \quad v \in \{1, 2\}, \quad (3)$$

де E_B^i – величина відносного енергетичного потенціалу вибухонебезпеки об'єкта (технологічного апарату) S_i ; $Q_{\text{НС}}^{\text{in}}$ – ймовірність виникнення НС з викидом вибухонебезпечної речовини та виникненням хмари ГПС на i -му технологічному апараті n -го типу; Q_B^{in} – ймовірність вибухового перетворення хмари ГПС, яка виникла при НС на i -му технологічному апараті n -го типу, q_{iv} – ймовірність реалізації сценарію вибухового перетворення.

Значення ймовірності в (3) визначається в результаті обробки статистичних даних щодо розподілу НС вказаного характеру для технологічних апаратів одного типу, які функціонують у приблизно однакових умовах.

Вагові функції λ_i визначаються за формулою:

$$\lambda_i = 1 + \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} k_{ij}, \quad (4)$$

де J – кількість одиниць технологічного обладнання (об'єктів S_j), що було повністю зруйновано або пошкоджено в результаті вибуху хмари ГПС, яка виникла при НС на об'єкті S_i ; k_{ij} – коефіцієнт, який залежить від ступеню

пошкодження об'єкта S_j від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i ; α_{ij} – коефіцієнт, що враховує ступінь впливу ударної хвилі від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i , на інші об'єкти.

Коефіцієнти k_{ij} обчислюються наступним чином:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } L_{ij} \leq R_i^{100}, \\ p_{ij}, & \text{якщо } R_i^0 \geq L_{ij} \geq R_i^{100}, \\ 0, & \text{якщо } L_{ij} \geq R_i^0, \end{cases} \quad (5)$$

де R_i^{100} – радіус зони повних (100%) руйнувань від вибуху хмари ГПС, що утворилася при НС на об'єкті S_i , м; R_i^0 – радіус безпечної зони від вибуху хмари ГПС при НС на об'єкті S_i , м; L_{ij} – відстань між центром об'єкта S_j та епіцентром вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i ; p_{ij} – ймовірність повного руйнування об'єкта S_j від вибуху хмари ГПС при НС на об'єкті S_i .

Усередині зони руйнування – площі з межею, яка визначається радіусом R_i^0 – виділяється кілька зон, що характеризуються різним ступенем ушкоджень будівель і технологічних установок.

Обчислення радіусів зон ураження виконується за формулою:

$$R_i = \frac{KW_i^{1/3}}{\left(1 + \left(\frac{3180}{W_i}\right)^2\right)^{1/6}}, \quad (6)$$

де W_i – тротилловий еквівалент вибуху хмари ГПС, кг; K – безрозмірний коефіцієнт, значення якого визначає межу відповідної зони ураження.

Для об'єкта S_j , що знаходиться від епіцентру вибуху хмари ГПС на відстані L_{ij} , яка задовольняє умові $R_i^0 \geq L_{ij} \geq R_i^{100}$, значення коефіцієнтів k_{ij} дорівнюють ймовірностям p_{ij} повного його руйнування від вибуху хмари ГПС при НС на об'єкті S_i та обчислюються на основі параметрів вибуху та відстані L_{ij} з використанням пробіт-функції:

$$k_{ij} = p_{ij} = f [Pr_2(\Delta P, I_B, L_{ij})], \quad (7)$$

де ΔP – надлишковий тиск вибуху, Па; I_B – імпульс хвилі тиску, Па·с;

Пробіт-функція Pr_2 , яка визначає оцінку ймовірності повного руйнування у результаті вибуху промислових будівель, споруд та зовнішнього технологічного обладнання (залишки яких підлягають зносу), має вигляд:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln [(40000/\Delta P_{ij})^{7,4} + (460/I_{ij})^{11,3}]. \quad (8)$$

Після визначення пробіт-функцій знаходяться ймовірності p_{ij} .

Коефіцієнти α_{ij} впливу ударної хвилі вибуху хмари ГПС, що утворилася при НС на об'єкті S_i , на сусідні технологічні об'єкти обчислюються з наступних міркувань:

1). Для об'єктів у формі паралелепіпеду

– при найбільш небезпечній орієнтації стіни об'єкту S_j по нормалі до напрямку розповсюдження ударної хвилі вибуху $\alpha_{ij}^{\max}=1,1$;

– при найбільш безпечній орієнтації стіни об'єкту S_j під кутом $\theta=45^\circ$ до напрямку розповсюдження ударної хвилі вибуху $\alpha_{ij}^{\min}=0,9$;

– для інших значень кута θ величина α_{ij} має проміжні значення.

2). Для об'єктів сферичної та циліндричної форми

– значення коефіцієнту α_{ij} не залежить від кута θ та дорівнює $\alpha_{ij}=1,0$.

Для зниження впливу вибуху на технологічний об'єкт S_j необхідно визначити його орієнтацію по відношенню до джерела найбільшої вибухонебезпеки з урахуванням можливості одночасного вибуху на кількох технологічних об'єктах. Для вирішення цієї науково-практичної задачі в дисертації введено поняття «енергетичного центру вибухонебезпеки технологічного блоку» (ЕЦ), координати ($X_{\text{ЕЦ}}$, $Y_{\text{ЕЦ}}$) якого обчислюються за наступними формулами:

$$X_{\text{ЕЦ}} = \frac{\sum_{i=1}^I x_{ei} E_{ix}}{\sum_{i=1}^I E_{ix}}; \quad Y_{\text{ЕЦ}} = \frac{\sum_{i=1}^I y_{ei} E_{ix}}{\sum_{i=1}^I E_{ix}}, \quad (9)$$

де (x_{ei} , y_{ei}) – координати епіцентру вибуху хмари ГПС при НС на S_i .

При визначенні найбільш безпечної орієнтації об'єкту S_i , який має форму паралелепіпеду, відносно дії можливого вибуху його необхідно повернути на кут γ , щоб він розмістився під кутом $\theta \approx 45^\circ$ до напрямку вектору, що з'єднує центр S_i з ЕЦ.

Область W допустимих розв'язків оптимізаційної задачі (2) містить систему геометричних та технологічних обмежень: $W = W_G \cup W_T$.

Геометричні обмеження W_G :

- умови взаємного неперетину зон об'єктів S_i та S_j ;
- умови неперетину зон S_i з областями заборони T_k ;
- умови розміщення зон S_i в межах території технологічного блоку.

Технологічні обмеження W_T :

- обмеження на допустимі відстані між об'єктами S_i та S_j блоку;
- обмеження на допустиму довжину лінійного технологічного обладнання (ЛТО), яке зв'язує об'єкти S_i та S_j блоку;
- обмеження на допустиму відстань між об'єктами S_i та об'єктами інженерної інфраструктури підприємства.

Для формалізації геометричних обмежень оптимізаційної задачі (2) в роботі використано поняття Φ -функції двох геометричних об'єктів:

$$\Phi_{S_{ij}}(x_i, y_i, x_j, y_j) > 0, \quad (10)$$

$$\Phi_{Z_{in}}(x_i, y_i, x_n, y_n) > 0. \quad (11)$$

$$\Phi_{i0}(x_i, y_i, m_0) = 0, \quad (12)$$

де Φ -функція $\Phi_{S_{ij}}$ (10) описує умови попарного неперетину об'єктів S_i і S_j , блоку; Φ -функція $\Phi_{Z_{in}}$ (11) – умови неперетину об'єктів S_i блоку з областями заборони; Φ -функція Φ_{i0} (12) – умови приналежності об'єктів S_i межах блоку, m_0 – геометричні характеристики границі блоку.

Оптимізаційна задача (2) у остаточному вигляді зводиться до пошуку

$$\min_W \Lambda = \min_W \left(\sum_{i=1}^I \Lambda_i \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} k_{ij} \right), \quad (13)$$

де область W формується системою обмежень $W = W_G \cup W_T$.

Таким чином, оптимізаційна задача (13) мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку є еквівалентною до задачі пошуку оптимального розміщення обладнання, при цьому $\Lambda = \Lambda(Z)$.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи було розроблено чисельний метод розв'язку оптимізаційної задачі (13) шляхом раціонального розміщення вибухонебезпечного технологічного обладнання. Загальна схема методу розв'язку оптимізаційної задачі складається з п'яти етапів.

Етап 1. Визначення початкового варіанту розміщення об'єктів.

Етап 2. Визначення для початкового варіанту розміщення параметрів НС з вибухом хмари ГПС для кожного з множини об'єктів, а також характеристик впливу вибуху хмари ГПС на i -му об'єкті на інші об'єкти.

Етап 3. Розрахунок коефіцієнтів k_{ij} , α_{ij} та часткових критеріїв Λ_i для об'єктів S_i ($i=1, 2, \dots, I$), а також інтегрального критерію Λ .

Етап 4. Визначення вектору розміщення об'єктів, що відповідає локальному мінімуму цільового критерію оптимізаційної задачі.

Етап 5. Перебір локальних мінімумів для множини заданих орієнтацій блоку відносно сторін світу з визначенням вектору розміщення об'єктів, який відповідає мінімуму цільового критерію Λ .

В дисертації в якості початкового варіанту розміщення (**Етап 1**) використовуються типові варіанти компонування технологічних блоків.

Розрахунок початкових даних для оптимізації (**Етап 2**) містить:

– **Визначення характеристик хмари ГПС, яка виникла внаслідок НС на об'єкті S_i ($i=1, 2, \dots, I$), а саме:** розрахунок маси вибухонебезпечної речовини, яка виходить з пошкодженого обладнання при НС на об'єкті S_i та утворює хмару ГПС; розрахунок початкових характеристик хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i .

– **Розрахунок характеристик динаміки хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i ($i=1, 2, \dots, I$), а саме:** моделювання дрейфу хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i ; розрахунок концентраційного поля вибухонебезпечної речовини в хмарі ГПС; розрахунок маси вибухонебезпечної речовини хмари ГПС, що приймає участь у вибуху; визначення координат епіцентру вибуху хмари ГПС.

– **Розрахунок характеристик вибуху хмари ГПС, яка виникла внаслідок НС на об'єкті S_i ($i=1, 2, \dots, I$), а саме:** визначення величин надлишкового тиску ΔP_{ij} і імпульсу I_{ij} в повітряній ударній хвилі від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i , для всіх інших об'єктів блоку; визначення параметрів зон ураження від вибуху хмари ГПС, що виникла при НС на об'єкті S_i ; визначення оцінки ймовірності p_{ij} повного руйнування інших об'єктів блоку у результаті вибуху на об'єкті S_i ; визначення енергетичного центру вибухонебезпеки технологічного блоку.

Розрахунок коефіцієнтів k_{ij} , α_{ij} та часткових критеріїв Λ_i для об'єктів S_i ($i=1, 2, \dots, I$), а також інтегрального критерію Λ (**Етап 3**) виконується згідно формул (1), (3)-(8).

Для розв'язання оптимізаційної задачі (13) при заданій орієнтації блоку відносно сторін світу (**Етап 4**) у дисертації пропонується наближений метод, що базується на використанні схеми методу мінімізації за групами змінних. Змінні являють собою координати полюса об'єкта S_i , що розміщується.

Схема алгоритму методу наведена на рисунку 2. На рисунку наступним чином позначено: p – номер ітерації, кожна ітерація складається з $(I + M)$ кроків, де I – число об'єктів, M – число об'єктів прямокутної форми, для яких можливий поворот; $z_k^p = (x_k^p, y_k^p)$ – вектор параметрів розміщення об'єкта S_k на p -ій ітерації; $Z^p = (z_1^p, z_2^p, \dots, z_I^p)$ – вектор координат полюсів об'єктів на p -ій ітерації.

Об'єкт, який першим змінює параметри розміщення, має найбільший руйнівний вплив на сусідні об'єкти вибуху хмари ГПС, що утворилася при НС на ньому.

При формуванні області W_k^p допустимих параметрів розміщення рухомого об'єкта S_k на p -ій ітерації (крок 2) виділяються всі обмеження, що накладаються на параметри розміщення рухомого об'єкта S_k , а саме:



Рисунок 2 – Схема алгоритму методу розв'язання оптимізаційної задачі (13)

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{Sij} (x_k, y_k, x_j, y_j) > 0, \\ \Phi_{Zin} (x_k, y_k, x_n, y_n) > 0, \\ \Phi_{i0} (x_k, y_k, m_0) = 0, \\ (x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 = r_{kj}, \\ (x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 \leq r_{kj}, \\ l_{kj}^t \leq L_{kj}^t, \\ d_k^q \leq D_k^q, \\ j = \overline{1, I-1}, \quad j \neq k, \quad t = \overline{1, T}, \quad q = \overline{1, Q}, \quad n = \overline{1, N}, \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (14) \\ (15) \\ (16) \\ (17) \\ (18) \\ (19) \\ (20) \end{array}$$

де l_{ij}^t – довжина лінійного технологічного обладнання (ЛТО) між S_i і S_j , м;
 L_{ij}^t – допустима довжина ЛТО між S_i та S_j , м; T – кількість видів ЛТО між S_i
та S_j ; d_i^q – відстань між S_i та об'єктами інженерної інфраструктури
підприємства, м; D_i^q – допустима відстань між S_i та об'єктами інженерної
інфраструктури підприємства, м; Q – кількість об'єктів інженерної
інфраструктури підприємства.

В якості напрямку g_k^p зсуву об'єкта S_k в роботі обирається вектор,
спрямований з точки ЕЦ до полюса об'єкта S_k . Величина кроку δ_k^p зсуву
об'єкта S_k в даному дослідженні є постійною і рівною

$$\delta_k^p = \varepsilon d_k^p, \quad (21)$$

де d_k^p – довжина вектора, що з'єднує точки ЕЦ і полюса рухомого об'єкта S_k ;
 ε – певна константа, $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Нові параметри z_k^{p+1} розміщення об'єкта S_k мають вигляд:

$$z_k^{p+1} = z_k^p + \delta_k^p g_k^p, \quad (22)$$

або в проекціях на координатні осі

$$x_k^{p+1} = x_k^p + \delta_k^p g_{kx}^p, \quad y_k^{p+1} = y_k^p + \delta_k^p g_{ky}^p. \quad (23)$$

Для розміщення об'єктів, яке відповідає вектору z^{p+1} , визначаються
координати $(x_{ЕЦ}^{p+1}, y_{ЕЦ}^{p+1})$ точки енергетичного центру вибухонебезпеки
технологічного блоку за формулою (9), а також кути повороту об'єктів у
формі паралелепіпеду для мінімізації впливу на них ударної хвилі вибуху.

Після повороту всіх об'єктів p -та ітерація закінчується. Величина

цільової функції Λ^S , отримана на s -ій (останній) ітерації, досить добре наближається до величини локального мінімуму задачі (13). Зміна орієнтації блоку відносно сторін світу (тобто відносно напрямку найбільш ймовірного напрямку вітру) дозволяє отримати інші локальні мінімуми оптимізаційної задачі та організувати їх перебір з визначенням найкращого

$$\Lambda^{\min} = \Lambda(Z^{\min}) = \min \{ \Lambda^{f-\min} \}, f = 1, 2, \dots, F.$$

В даному дисертаційному дослідженні розглядається вісім варіантів орієнтації технологічного блоку, а саме: північ, північний схід, схід, південний схід, південь, південний захід, захід, північний захід.

У **четвертому розділі** дисертації виконано числову реалізацію методу мінімізації вибухонебезпеки технологічного блоку в умовах вибуху хмари ГПС за рахунок оптимального розміщення обладнання. Реалізацію методу проведено для модельного прикладу технологічного блоку, а також для типової абсорбційно-газофракціонуючої установки (АГФУ) ГНПП.

Технологічний блок має у своєму складі 4 об'єкти – S_1, S_2, S_3, S_4 , а саме: об'єкт S_1 – технологічна ємність сферичної форми з газоподібним пропаном (8 т); технологічні апарати S_2, S_3 блоку – ємності з н-бутаном, які мають форму прямого кругового циліндру (по 3 т); об'єкт S_4 – будівля операторної, має форму прямокутного паралелепіпеду. На об'єктах S_1, S_2, S_3 блоку може статися НС з повною розгерметизацією технологічного обладнання, викидом газоподібних вибухонебезпечних речовин та утворенням хмар ГПС.

План початкового розміщення об'єктів та відповідних зон R_i^{100} вибухів хмар ГПС (вибух на 10 с) у межах блоку представлено на рисунку 3.

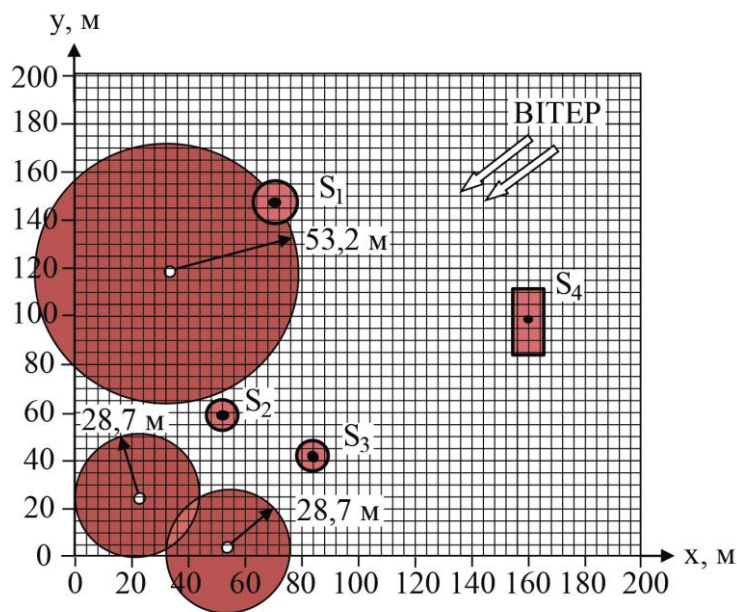


Рисунок 3 – Початкове розміщення об'єктів в межах технологічного блоку

Початкові характеристики хмар ГПС, які утворилися в результаті НС на об'єктах S_i ($i=1, 2, 3$) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Початкові характеристики хмар ГПС, які утворилися в результаті НС на об'єктах S_i ($i=1, 2, 3$)

Номер об'єкту, i	M_{xi} , кг	ρ_i^0 , кг/м ³	R_i^0 , м	V_i^0 , м ³
1	8000	0,146	23,9	54609
2	3000	0,497	11,3	6036
3	3000	0,497	11,3	6036

На основі визначених даних розраховано концентраційне поле дрейфуючих хмар ГПС (рис. 4) на десятій секунді після їх виникнення.

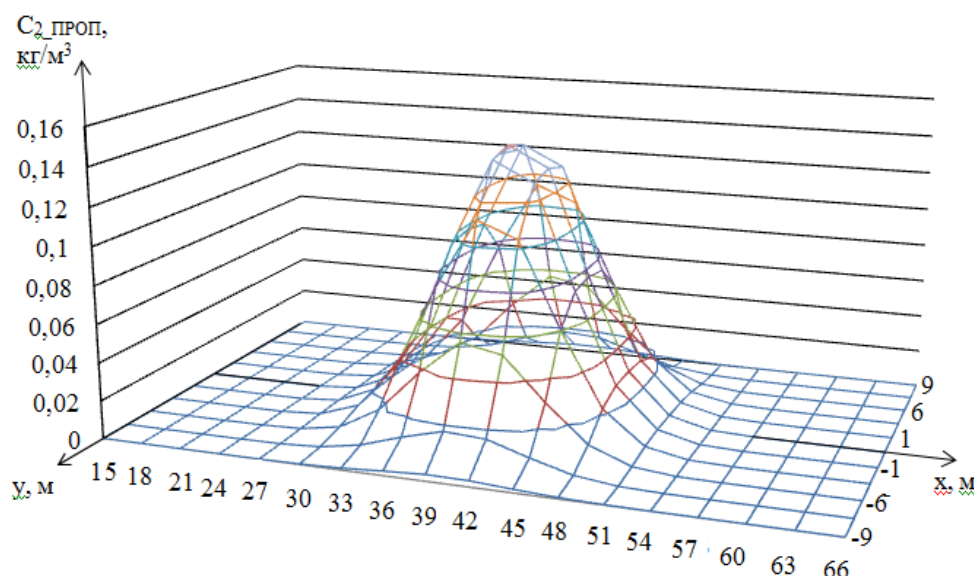


Рисунок 4 – Розподіл концентрації пропану $C_{2_проп}(x, y, z, t)$ у хмарі на висоті $z = 1$ м у момент $t_1 = 10$ секунд після НС

Маса хмари ГПС, що приймає участь у вибуху, визначається як:

$$M_{vi} = \frac{4}{3} \int_{x_1}^{x_2} \int_0^{y_2} \int_0^{z_1} c_{vi}(x, y, z, t) dx dy dz, \quad (24)$$

де x_2 відповідає максимуму концентрації вибухонебезпечної речовини у хмарі при заданій величині z ; x_1 – координата, для якої $C(x_1) = C_{нкмпп}$.

На рис. 5 наведено зони R_i^{100} для оптимального розміщення об'єктів в межах блоку для північно-східного вітру швидкістю 4 м/с.

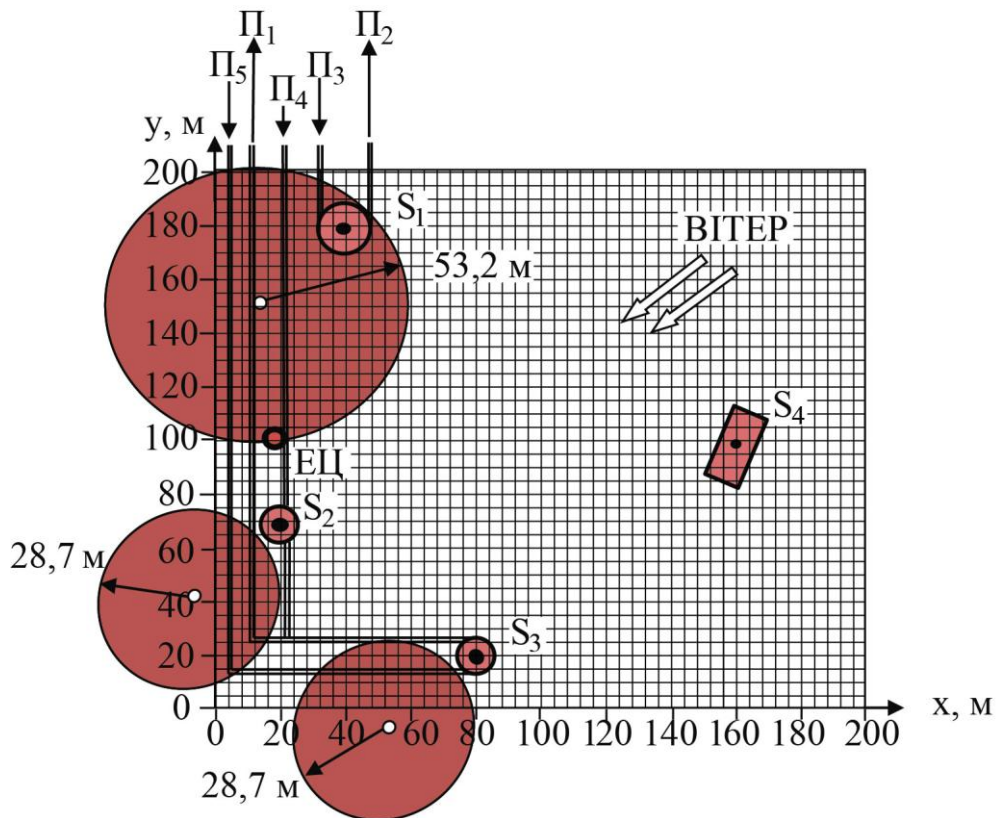


Рисунок 5 – Оптимальне розміщення об'єктів в межах блоку

Розміщення зон R_i^{100} для початкового та оптимального варіантів розміщення об'єктів в межах типового блоку АГФУ наведено на рисунках 6 та 7 відповідно.

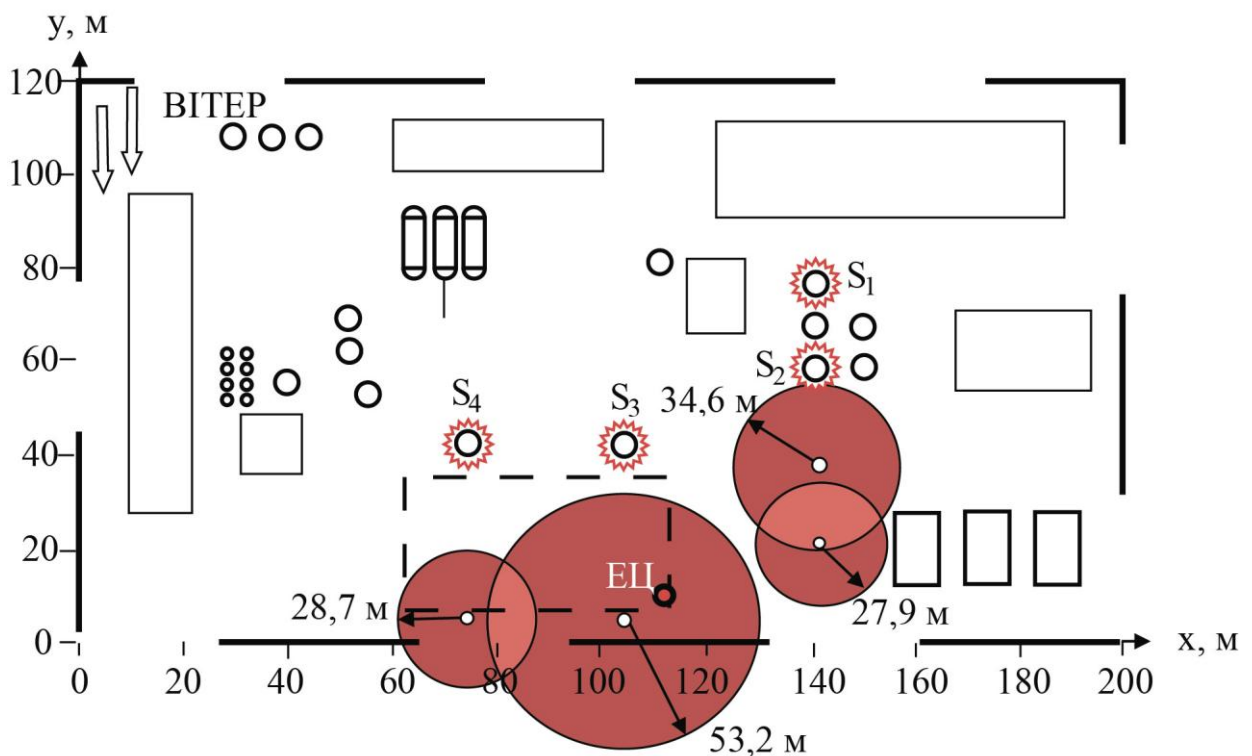


Рисунок 6 – Початкове розміщення об'єктів в межах АГФУ

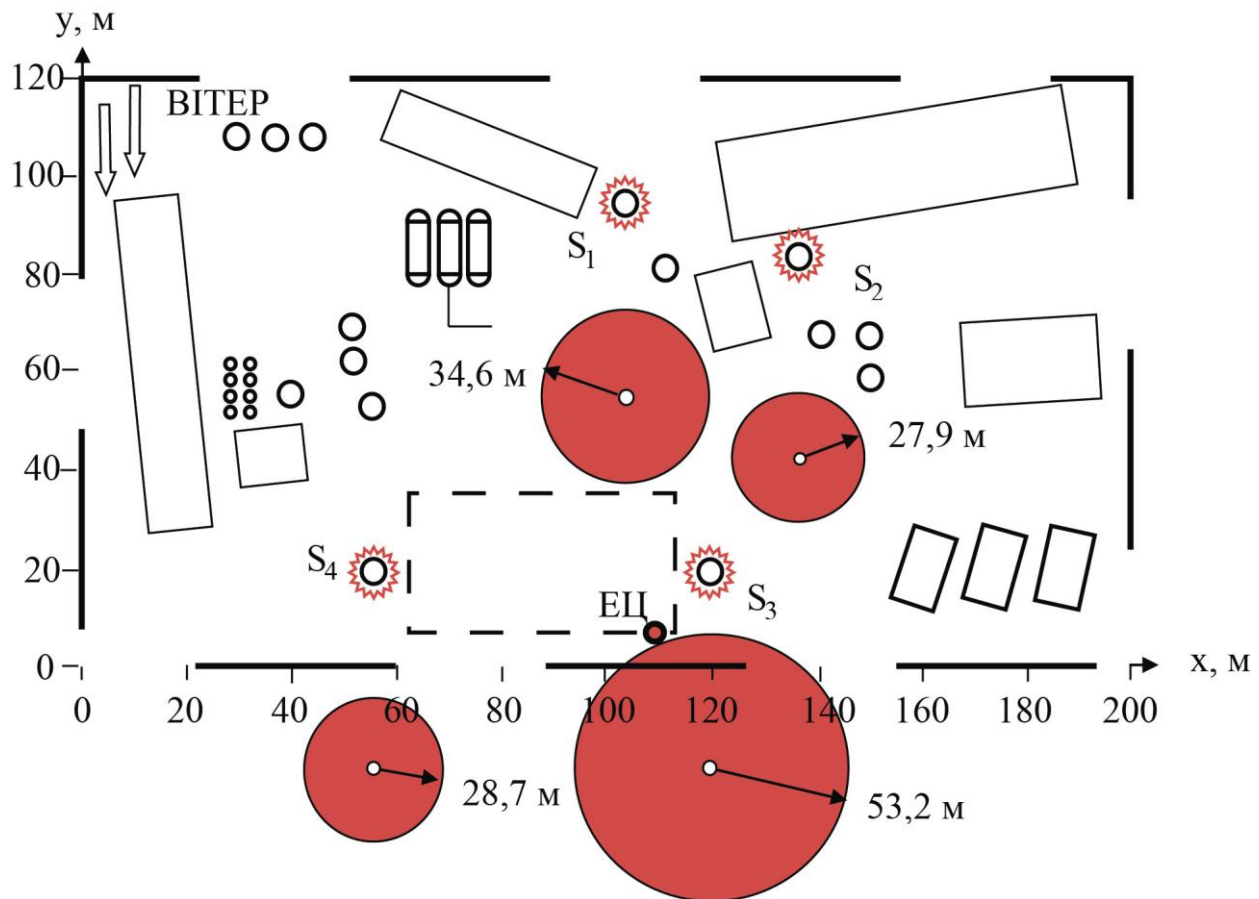


Рисунок 7 – Оптимальне розміщення об'єктів в межах АГФУ

Величина інтегрального критерію Λ вибухонебезпеки модельного технологічного блоку для початкового варіанту розміщення об'єктів (рис. 3) складає $\Lambda_{\text{НАЧ}} = 0,00280$, а для оптимального варіанту розміщення (рис. 7) $\Lambda_{\text{ОПТ}} = 0,00198$. Таким чином, застосування розробленого методу мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання дозволило знизити цей рівень на 29 %.

Інтегральний критерій Λ вибухонебезпеки АГФУ для початкового варіанту розміщення об'єктів (рис. 6) складає $\Lambda_{\text{НАЧ}} = 0,034631$, а для оптимального розміщення (рис. 7) він дорівнює $\Lambda_{\text{ОПТ}} = 0,01235$, що відповідає зниженню рівня вибухонебезпеки АГФУ на 64,3 %.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу у галузі цивільного захисту – розробку кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з вибухом хмари ГПС та методу мінімізації цього рівня шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання.

За підсумками виконаної наукової роботи зроблено наступні висновки.

1. На основі вивчення літературних джерел проведено аналітичний

огляд сучасного стану проблеми кількісної оцінки та мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухом хмари ГПС. Аналіз даних показав, що:

- виникнення НС найчастіше відбувається в результаті розгерметизації технологічних установок з викидом вибухонебезпечної речовини в газоподібній фазі і утворенням хмари ГПС;

- методики, які викладені в нормативних документах, не дозволяють реально оцінювати рівень вибухонебезпеки газонафтопереробного об'єкта і можуть бути використані тільки для орієнтовної оцінки верхньої межі можливого рівня вибухонебезпеки;

- найбільш перспективним методом мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічних блоків ГНПП (на етапі проектування) в умовах НС з вибухами хмар ГПС є оптимізація розміщення вибухонебезпечних апаратів блоку.

2. Розроблено інтегральний та часткові критерії оцінки вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з утворенням і вибухом хмари ГПС з врахуванням режиму вибуху, характеристик вибухонебезпечних речовин та особливостей забудови території.

3. Здійснена постановка оптимізаційної задачі зниження рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з утворенням і вибухом хмари ГПС шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного технологічного обладнання в межах блоку при заданій орієнтації блоку відносно напрямку найбільш ймовірного приземного вітру з урахуванням можливості дрейфу хмари ГПС під дією вітру. Досліджено функцію мети оптимізаційної задачі, в якості якої виступає інтегральний критерій оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку, та систему обмежень, яка в загальному випадку включає умови геометричного і технологічного характеру. Проведена формалізація геометричних обмежень оптимізаційної задачі на базі Ф-функцій.

4. Доведено еквівалентність моделі оптимізаційної задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП при НС з вибухом хмари ГПС та оптимізаційної задачі мінімізації наслідків НС з вибухом хмари ГПС у межах технологічного блоку ГНПП.

5. Розроблено чисельний метод розв'язання оптимізаційної задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку ГНПП в умовах НС з вибухом хмари ГПС, яка виникла в наслідок руйнування обладнання блоку. Метод дозволяє знайти локальний мінімум функції мети оптимізаційної задачі при заданій орієнтації блоку відносно напрямку найбільш ймовірного приземного вітру та організувати їх перебір з визначенням варіанту, що відповідає найменшому значенню функції мети. При цьому, розроблений метод визначає одночасно і розв'язок задачі мінімізації наслідків НС з вибухом хмари ГПС у межах технологічного блоку ГНПП. Метод оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання технологічного блоку може використовуватися науково-дослідними, проектно-конструкторськими організаціями на етапах побудови генеральних планів

підприємств газонафтопереробної галузі України, що дозволить мінімізувати рівень їх вибухонебезпеки та знизити ймовірність руйнування обладнання в умовах надзвичайних ситуацій з вибухами дрейфуючих хмар газоповітряної суміші.

6. Виконано реалізацію методу мінімізації вибухонебезпеки технологічного блоку в умовах вибуху хмари ГПС за рахунок оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання для модельного прикладу технологічного блоку та типової абсорбційно-газофракціонуючої установки. Застосування розробленого в роботі методу дозволило знизити рівень вибухонебезпеки для модельного прикладу на 29 %, а для АГФУ – на 64,3 % без порушень технологічного процесу.

Основні результати дисертаційного дослідження були впроваджені на Гнідинцівському газопереробному заводі (м. Варва Чернігівської області) при складанні проекту абсорбційно-газофракціонуючої установки, в підрозділах Управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій в Чернігівській області при розробці ПЛАС об'єктів газонафтопереробки та в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Чуб І.А., Новожилова М.В., Матухно В.В. Моделювання надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. №3 (42). С. 71-77. (Стаття у міжнародній наукометричній базі Web of Science).

Здобувачу особисто належить аналіз останніх публікацій, проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів.

2. Чуб І.А., Матухно В.В. Метод мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку шляхом раціонального розміщення обладнання. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2017. Вип. 26. С. 196-202. (Стаття у міжнародній наукометричній базі Index Copernicus та Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить математична модель оптимізаційної задачі розміщення та загальна схема методу.

3. Чуб І.А., Матухно В.В. Мінімізація рівня вибухонебезпеки технологічного блоку в умовах вибуху хмари газоповітряної суміші. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2018. Вип. 27. С. 160-168. (Стаття у міжнародній наукометричній базі Index Copernicus та Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить загальна схема та алгоритмічна реалізація методу розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку.

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. Чуб І.А., Матухно В.В. Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2016. Вип. 23. С. 186-191. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить методика прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом газоповітряної хмари та розрахунок параметрів вибуху.

5. Чуб І.А., Матухно В.В. Модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки об'єктів з вибухами хмар газоповітряних сумішей. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2016. Вип. 24. С. 137-142. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить математична модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки об'єкту нафтопереробного підприємства, на якому можливо виникнення надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Чуб І.А., Матухно В.В. Размещения пожароопасных объектов с минимизацией негативного экологического влияния аэрозольных выбросов пожара. *Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): зб. матеріалів Всеукр. наук.-тех. конф. Ч. 2, м. Харків, НУЦЗУ, 12 березня 2014 р. Харків, 2014. С. 193-195. (Форма участі – очна).*

Здобувачу особисто належить математична модель оптимізаційної задачі розміщення та загальна схема методу.

7. Чуб І.А., Матухно В.В. Розробка критерію кількісної оцінки рівня пожежовибухонебезпеки потенційно небезпечного об'єкту. *Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору: матеріали 17 Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників, м. Київ, ІДУЦЗ, 22-23 вересня 2015 р. Київ, 2015. С. 430-433. (Форма участі – заочна).*

Здобувачу особисто належить розробка структури інтегрального критерію кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки об'єкту та проведення розрахунків.

8. Матухно В.В. Підвищення пожежовибухонебезпеки нафтопереробного комплексу за рахунок оптимального розміщення установок з можливими вибухами газоповітряних сумішей. *Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: зб. матеріалів III Всеукр. наук.-практ. конф., м. Харків, НУЦЗУ, 1-2 жовтня 2015 р. Харків, 2015. С. 151-153. (Форма участі – очна).*

9. Чуб І.А., Матухно В.В. Підвищення пожежовибухонебезпеки об'єктів нафтопереробного комплексу за рахунок оптимального розміщення установок з можливими вибухами газоповітряних сумішей. *Забезпечення пожежної та*

техногенної безпеки: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м.Харків, НУЦЗУ, 29-30 жовтня 2015 р. Харків, 2015. С. 166-167. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить математична модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки об'єкту нафтопереробного підприємства, на якому можливо виникнення надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші.

10. Чуб І.А., **Матухно В.В.** Оценка уровня техногенной опасности потенциально опасного промышленного объекта. *Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов X Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов): В 2-х ч. Ч.1. г. Минск, КИИ МЧС РБ, 7-8 апреля 2016 г. Минск, 2016. С. 68-69. (Форма участі – заочна).*

Здобувачу особисто належить розробка структури інтегрального критерію кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки об'єкту та проведення розрахунків.

11. Чуб І.А., **Матухно В.В.** Оцінка рівня пожежовибухонебезпеки потенційно-небезпечного об'єкту. *Забезпечення промислової та цивільної безпеки в Україні та світі: матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., м. Луцьк, РВВ Луцького НТУ, 19-21 травня 2016 р. Луцьк, 2016. С. 56-58. (Форма участі – заочна).*

Здобувачу особисто належить розробка структури інтегрального критерію кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки об'єкту та проведення розрахунків.

12. Чуб І.А., **Матухно В.В.** Оцінка впливу надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші. *Проблеми пожежної безпеки: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, НУЦЗУ, 28-29 жовтня 2016 р. Харків, 2016. С. 146-148. (Форма участі – очна).*

Здобувачу особисто належить методика прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом газоповітряної хмари та розрахунок параметрів вибуху.

13. Чуб І.А., **Матухно В.В.** Метод мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газопереробного підприємства. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 19 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, ІДУЦЗ, 10-11 жовтня 2017 р. Київ, 2017. С. 466-469. (Форма участі – заочна).*

Здобувачу особисто належить загальна схема та алгоритмічна реалізація методу розв'язання задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку.

14. **Матухно В.В.** Мінімізація рівня вибухонебезпеки технологічного блоку за рахунок оптимального розміщення обладнання. *Пожежна безпека: проблеми та перспективи: зб. тез доповідей Всеукр. наук.-практ. конф., м. Харків, НУЦЗУ, 1-2 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 182-184. (Форма участі – очна).*

15. **Матухно В.В.** Визначення характеристик хмари газоповітряної

суміші при надзвичайній ситуації з викидом газоподібної вибухонебезпечної речовини. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, м. Харків НУЦЗУ, 29 березня 2018 р. Харків, 2018р. С. 280. (Форма участі – очна).*

АНОТАЦІЯ

Матухно В.В. Зниження рівня вибухонебезпеки газонафтопереробних об'єктів (на етапі проектування) при надзвичайних ситуаціях з вибухами хмар газоповітряних сумішей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.02.03 «цивільний захист» (21 – національна безпека). – Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2018.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу у галузі цивільного захисту – розробка кількісної оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства в умовах надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші та методу мінімізації цього рівня шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання.

Вперше розроблено математичну модель задачі мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства на етапі проектування в умовах надзвичайної ситуації з вибухом дрейфуючої хмари газоповітряної суміші.

Вдосконалено кількісний критерій оцінки рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства на етапі проектування в умовах надзвичайної ситуації з вибухом дрейфуючої хмари газоповітряної суміші.

Розроблено метод мінімізації рівня вибухонебезпеки технологічного блоку газонафтопереробного підприємства на етапі проектування в умовах надзвичайної ситуації з вибухом дрейфуючої хмари газоповітряної суміші шляхом оптимального розміщення вибухонебезпечного обладнання блоку.

Ключові слова: мінімізація рівня вибухонебезпеки, надзвичайна ситуація, вибух хмари газоповітряної суміші, оптимізація розміщення.

АННОТАЦИЯ

Матухно В.В. Снижение уровня взрывоопасности газонефтеперерабатывающих объектов (на этапе проектирования) при чрезвычайных ситуациях с взрывами облаков газозоодушных смесей. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.02.03 «гражданская защита» (21 –

национальная безопасность). – Национальный университет гражданской защиты Украины, Государственная служба Украины по чрезвычайным ситуациям, Харьков, 2018.

В диссертации решена важная научно-практическая задача в области гражданской защиты – разработка количественной оценки уровня взрывоопасности технологического блока газонефтеперерабатывающего предприятия в условиях чрезвычайной ситуации со взрывом облака газовоздушной смеси и метода минимизации этого уровня путем оптимального размещения взрывоопасного оборудования.

Разработана математическая модель задачи минимизации уровня взрывоопасности технологического блока газонефтеперерабатывающего предприятия на этапе проектирования в условиях чрезвычайной ситуации со взрывом дрейфующего облака газовоздушной смеси.

Усовершенствован количественный критерий оценки уровня взрывоопасности технологического блока газонефтеперерабатывающего предприятия на этапе проектирования в условиях чрезвычайной ситуации со взрывом дрейфующего облака газовоздушной смеси.

Разработан метод минимизации уровня взрывоопасности технологического блока газонефтеперерабатывающего предприятия на этапе проектирования в условиях чрезвычайной ситуации со взрывом дрейфующего облака газовоздушной смеси путем оптимального размещения взрывоопасного оборудования блока.

Ключевые слова: минимизация уровня взрывоопасности, чрезвычайная ситуация, взрыв облака газовоздушной смеси, оптимизация размещения.

ABSTRACT

Matukhno V.V. Reducing the explosion hazard of oil-gas-refineries (at the design stage) in emergencies with explosions of clouds of gas-air mixtures. – Qualifying research paper on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 21.02.03 "Civil defense". – National University of Civil Defense of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2018.

In the dissertation the resolution of important scientific-practical problem in the field of civil defense concerning development of quantitative estimation of the level of explosion hazard of the technological unit of the gas refinery at the design stage under the conditions of a possible emergency with explosion of the gas-air mixture drift cloud and the method of minimization of this level by optimal placement of the explosive equipment of the block is proposed.

To achieve the aim of the dissertation the quantitative methods for determining the parameters of a gas-air mixture cloud explosion, methods of mathematical modeling of the explosion impact on neighboring technological unit objects, optimization methods of geometrical design theory, nonlinear

mathematical programming, methods of probability theory, reliability theory have been used.

The mathematical model of the task of minimization of the level of explosion hazard of the gas refinery technological unit at the design stage under the conditions of an emergency situation with the explosion of the gas-air mixture drifting cloud has been developed.

The quantitative criterion for assessing the level of explosion hazard of the gas refinery technological unit at the design stage in an emergency situation with the explosion of the gas-air mixture drifting cloud has been improved by taking into account the characteristics of the explosive substances, the mode of explosion, the impact of the explosion on the equipment of the block and features of the development of the territory.

In the dissertation the method of minimization of the level of explosion hazard of the technological unit of the gas refinery at the design stage in an emergency situation with the explosion of the gas-air mixture drifting cloud by optimally placing the explosive equipment of the block has been further developed.

The thesis analyzes the statistical data on emergencies with explosions of clouds of gas-air mixture, which arose as a result of the destruction of the technological equipment of the gas refinery. The analysis of the peculiarities of man-caused emergency situations with explosions of gas-air mixture clouds on the gas-refining enterprise is carried out. To this end the typical schemes of analysis of probable models of occurrence and development of emergency situations with equipment depressurization and explosion of cloud of gas-air mixture have been analyzed. The stages and characteristics of the development of emergency situations with the release of explosive substances have been analyzed.

On the basis of the study of known scientific references, an analytical review of the state-of-art of the problem of the development of methods and means for quantitative assessment and minimization of the level of explosion hazard of technological units of the gas refinery at the design stage in conditions of emergency situations with explosions of clouds of gas-air mixtures has been carried out.

The integral and partial criteria of the technological unit explosion hazard evaluation have been developed. The concept of "explosion center of the technological unit" is introduced and defined.

The system of constraints of the placement optimization problem for the explosive equipment of the block, which in the general case includes geometric and technological conditions, has been investigated. The formalization of geometric constraints is carried out on the basis of Φ -functions apparatus.

In the dissertation the solution numerical method for the optimization problem of minimization of the level of explosion hazard of the technological unit of the gas refinery in the conditions of an emergency situation with the explosion of the cloud of gas-air mixture that arose as a result of the destruction of the equipment of the block has been developed.

The implementation of the method is accomplished for a model example of a technological unit consisting of four objects and a technological unit of the gas processing plant – a typical absorption-gas-friction plant. Application of the method developed in the work allowed to reduce the level of explosion hazard for the model example by 29%, and for the typical absorption-gas-friction equipment – by 64.3% for the conditions of the considered variant of the initial layout of the technological unit.

The main results of the dissertation research were introduced at the Gnidintsy gas processing plant (Varva, Chernihiv region), at the departments of the State Service of Ukraine for Emergency Situations in the Chernihiv region and the National University of Civil Protection of Ukraine.

Key words: minimization of the explosion hazard level, extreme situation, explosion of cloud of gas-air mixture, optimization of location.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.9. Тир. 120 прим. Зам. № 631-18.
Підписано до друку 11.12.2018. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.