

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Скоробагатько Тарас Миколайович

УДК 614.841.1

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ
БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека
Галузь знань 261 “Пожежна безпека”

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії)
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


Т.М. Скоробагатько

*Примірники дисертації
є ідеальною копією за змістом*
Усек
к.т.
П.С. Яковчук

Науковий керівник: **Антонов Анатолій Васильович**
доктор технічних наук, старший науковий співробітник



АНОТАЦІЯ

Скоробагатько Т.М. Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека (261 “Пожежна безпека”) підготовлена в Українському науково–дослідному інституті цивільного захисту. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів – 2020.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-технічної задачі щодо розкриття особливостей впливу чинників на пожежонебезпечність біодизельного палива (надалі – БДП) та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом (надалі – ДП), параметри процесів горіння, процеси його припинення у разі застосування вогнегасних речовин (надалі – ВР) як наукового підґрунтя удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки (надалі – СПБ) об'єктів виробництва та застосування такого альтернативного біопалива.

Статистика пожеж в Україні свідчить про те, що в державі серед розмаїття об'єктів виникнення пожеж, а також причин та умов їх виникнення вагоме місце посідає сегмент пожеж, які супроводжуються наявністю та безпосереднім горінням легкозаймистих та горючих рідин, до яких належать як продукція переробляння нафти, так і продукція олійно-жирової промисловості, в тому числі й альтернативні види рідкого палива, до якого належить і БДП. Щороку в цьому сегменті в Україні виникає близько 1,5 тис. пожеж, матеріальні збитки від яких сягають 500-600 млн. грн.

Аналіз національної нормативної бази у сфері пожежної безпеки вказує на недосконалість підходів щодо оцінювання рівня пожежонебезпеки об'єктів виробництва та застосування БДП, а також його бінарних сумішей з ДП. При цьому, не враховуються особливості пожежонебезпечності такого палива, параметри процесів його горіння та припинення горіння у разі взаємодії з ВР, що

може призводити до помилкових управлінських рішень та негативно відобразитись у статистиці пожеж.

Відповідно метою досліджень дисертаційної роботи є розкриття особливостей впливу чинників на пожежонебезпечність БДП і його бінарних сумішей з ДП, параметри процесів горіння, процеси його припинення у разі застосування ВР, а також на ефективність СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива.

Об'єктом досліджень є пожежонебезпечність БДП та його бінарних сумішей з ДП, процеси горіння і процеси його припинення із застосуванням ВР, а також СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива.

Встановлено, що для типового об'єкта виробництва БДП, із врахуванням вимог вітчизняної нормативної бази, рівень пожежонебезпеки є неприйнятним, а його СПБ потребує удосконалення.

Визначено основні показники пожежонебезпечності БДП та вплив співвідношення компонентів БДП у бінарних сумішах з ДП на ці показники, а також на параметри процесів їх горіння. Встановлено, що БДП є менш пожежонебезпечним у порівнянні з ДП, але особливістю процесу його горіння є наявність ознак, характерних для процесів нагрівання і горіння жирів рослинного та тваринного походження. Виявлено найбільш ефективні ВР, придатні для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП.

Обґрунтовано параметри подавання технічними засобами пожежогасіння різних видів ВР у разі гасіння пожеж із наявністю БДП та його бінарних сумішей з ДП, а також розроблено пропозиції щодо підвищення ефективності СПБ об'єктів виробництва та застосування таких видів палива.

Удосконалено метод Гретенера щодо оцінювання рівня пожежонебезпеки об'єктів із наявністю БДП, що дозволяє за умови правильного вибору виду та параметрів подавання ВР автоматичною системою пожежогасіння (надалі – АСПГ) знизити їх пожежонебезпеку до допустимого рівня, й відповідно забезпечити належний протипожежний захист.

Сформовано пропозиції щодо удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива.

За результатами проведених досліджень одержано нові наукові результати.

Уперше:

– визначено показники пожежонебезпечності бінарних сумішей ДП з БДП з вмістом останнього від 10 % (об.) до 30 % (об.) і встановлено, що за максимально допустимого вмісту БДП у сумішевому паливі 30 % (об.) його пожежонебезпечність порівняно з ДП нижча, а температури спалаху в закритому/відкритому тиглі, займання і самозаймання становлять 77 °С/87 °С, 111 °С і 225 °С, відповідно, що дає змогу здійснювати фактичну оцінку рівня пожежонебезпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного та сумішевого палива;

– виявлено, що середні питомі масові швидкості вигорання БДП та бінарної суміші ДП з БДП з вмістом останнього 30 % (об.) становлять 0,017 кг/(м²·с) та 0,018 кг/(м²·с), відповідно, що майже удвічі менше аналогічного показника для ДП (0,032 кг/(м²·с)), водночас значення максимальної температури полум'я становлять 651 °С для БДП, 866 °С для суміші ДП з БДП та 897 °С для ДП, що дає змогу оцінити характер горіння такого палива порівняно із традиційними видами палива нафтового походження та рослинними оліями;

– встановлено, що піна середньої кратності, генерована з робочих розчинів піноутворювача загального призначення, є ефективним засобом гасіння як БДП, так і його бінарної суміші з ДП з вмістом БДП до 30 % (об.), а критична інтенсивність подавання робочого розчину дорівнює 0,012 дм³/(м²·с) та 0,016 дм³/(м²·с), відповідно; піна низької кратності, генерована з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення, також є ефективним засобом гасіння як БДП, так і його бінарної суміші з ДП з вмістом БДП до 30 % (об.) за нормативної інтенсивності подавання робочих розчинів для гасіння водонерозчинних рідин з такими властивостями, що вказує на придатність традиційних підходів для гасіння БДП із застосуванням повітряно-механічної піни;

– встановлено, що тонкорозпилена вода та водні вогнегасні речовини з умістом карбонату калію (до 5 % (мас.)) або піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж (до 0,5 %) придатні для гасіння як БДП, так і його бінарної суміші з ДП з умістом БДП до 30 % (об.), а критична інтенсивність їх подавання під час гасіння БДП дорівнює $0,052 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $0,013 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно, що дало підстави позиціонувати їх як найбільш ефективні вогнегасні речовини для гасіння БДП та його сумішей з ДП;

– *удосконалено* метод оцінювання рівня пожежонебезпеки об'єктів виробництва та застосування БДП в частині обґрунтованого вибору видів ВР для використання в автоматичних системах пожежогасіння;

– *набуло подальшого розвитку* застосування ВР з визначеними рекомендованими параметрами їх подавання в СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП.

Одержані у ході виконання дисертаційної роботи результати сприятимуть удосконаленню СПБ вітчизняних об'єктів виробництва та застосування БДП шляхом їх врахування під час наповнення підсистем СПБ конкретними обґрунтованими організаційними заходами, проектними, технічними та технологічними рішеннями тощо, що впливають на рівень пожежонебезпеки цих об'єктів. В свою чергу, це удосконалення спрямоване на реалізацію “Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, яка передбачає підвищенні рівня екологічної та енергетичної безпеки держави, створення стимулів для широкого використання газового і альтернативного (нафтовому) видів палива, збільшення частки місцевих альтернативних видів палива в місцевих паливно-енергетичних балансах до 20 % загального споживання на кінець 2035 року.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні вимог до вибору виду й параметрів подавання ВР, придатних для гасіння пожеж на об'єктах виробництва та застосування БДП, а саме у впровадженні пропозицій щодо удосконалення СПБ заводу з виробництва БДП (відокремлений підрозділ “Агрономічна дослідна станція”, с. Пшеничне, Васильківський район

Київської обл.) Національного університету біоресурсів і природокористування України (акт впровадження від 03.02.2020); у впровадженні в практичну діяльність пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України рекомендацій з гасіння пожеж на об'єктах з наявністю легкозаймистих та горючих рідин, які увійшли до “Довідника керівника гасіння пожеж” (акт впровадження від 05.02.2020); у використанні в освітньому процесі підготовки фахівців для ДСНС України освітнього ступеня “бакалавр” за спеціальністю 261 “Пожежна безпека” під час вивчення дисципліни “Пожежна безпека територій будівель та споруд” і дисципліни “Пожежна безпека технологічних процесів” у Черкаському інституті пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України (акт впровадження від 21.01.2020) в розрізі тем, що стосуються забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва і зберігання легкозаймистих та горючих рідин.

Ключові слова: альтернативне паливо, біодизельне паливо, вогнегасна ефективність, горіння, дизельне паливо, етерифікація, пожежонебезпека, припинення горіння, суміш.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Білкун Д.Г., Боровиков В.О., **Скоробагатько Т.М.**, Чеповський В.О. Проблеми пошуку ефективних засобів гасіння біобензину. *Збірник наукових праць: Пожежна безпека*, ЛДУ БЖД. 2009. № 15. С. 101–107.
2. **Скоробагатько Т.М.**, Білкун Д.Г., Боровиков В.О. Пожежна небезпека дизельного палива та проблемні питання його гасіння. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2009. № 2 (20). С. 52–56.
3. **Скоробагатько Т.М.**, Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Результати експериментальних досліджень гасіння окремих зразків моторного біопалива та палива моторного сумішевого пінами середньої та низької кратності. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2010. № 2 (22). С. 142–147.
4. **Скоробагатько Т.М.**, Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Шляхи забезпечення протипожежного захисту процесів виробництва рідкого моторного біопалива та об'єктів з його наявністю. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2011. № 2 (24). С. 124–131.
5. **Скоробагатько Т.М.**, Антонов А.В., Білкун Д.Г. Оцінка пожежної небезпеки ділянки етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива методом Гретенера. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2012. № 1 (25). С. 54–59.
6. **Скоробагатько Т.М.**, Антонов А.В., Копильний М.І. Ефективність гасіння бінарних сумішей дизельного та біодизельного палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2013. № 1 (27). С. 92–99.
7. **Скоробагатько Т.М.**, Білошицький М.В., Маладика І.Г. Категорування за вибухопожежною та пожежною небезпекою підприємства з виробництва біодизельного палива. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2014. № 2 (30). С. 23–29.
8. **Скоробагатько Т.М.**, Огурцов С.Ю., Стилик І.Г., Бенедюк В.С. Дослідження параметрів горіння біодизельного палива та його сумішей з

дизельним паливом. *Науковий вісник УкрНДППБ: Науковий журнал*. 2015. № 2 (32). С. 95–100.

9. **Скоробагатько Т.М.**, Копильний М.І., Маладика І.Г. Ефективність гасіння вогнегасним порошком біодизельного палива та його суміші з дизельним паливом. *Науковий вісник УкрНДППБ: Науковий журнал*. 2015. № 2 (32). С. 77–81.

10. **Скоробагатько Т.М.**, Копильний М.І., Боровиков В.О. Ефективність гасіння деякими газовими вогнегасними речовинами біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 1 (3). С. 73–76.

У міжнародних виданнях:

11. **Скоробагатько Т.М.**, Антонов А.В., Боровиков В.О. Особливості процесів горіння дизельного біопалива, його сумішей з нафтовим дизельним паливом та процесів взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям під час їх гасіння. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2019. № 11 (73), том 2. С. 52–63.

12. Antonov A.V., **Skorobagatko T.M.**, Yakovchuk R.S., Sviatkevych O.V. Interaction of fire-extinguishing agents with flame of diesel bio fuel and its mixtures. *Zeszyty Naukowe SGSP*. 2020. 73 (1). P. 7–24.

Апробація матеріалів дисертації:

13. Білкун Д.Г., **Скоробагатько Т.М.** Пожежна небезпека моторних біопалив в Україні. *Пожежна безпека – 2009*: зб. тез доповідей ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., 05-06 лист. 2009 р. Львів, 2009. С. 150–151.

14. Білкун Д.Г., Боровиков В.О., **Скоробагатько Т.М.** Проблеми пожежної безпеки біодизелю та його гасіння. *Хімія і технологія жирів. Перспективи розвитку масло-жирової галузі*: зб. тез доповідей ІІ Міжнарод. наук.-техн. конф., 21-25 верес. 2009 р. Алушта, 2009. С. 88–90.

15. Боровиков В.О., Білкун Д.Г., **Скоробагатько Т.М.** Пожежна небезпека окремих видів дизельного біопалива. *Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту*: зб. тез доповідей ІV Міжнарод. наук.-практ. конф., 08 жовт. 2010 р. Черкаси, 2010. С. 106–107.

16. Билкун Д.Г., **Скоробагатько Т.Н.**, Боровиков В.А. Проблемы пожарной опасности моторного биотоплива в Украине. *Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф.*, 19-22 мая 2009 г. Москва, 2010. С. 128–130.

17. **Скоробагатько Т.М.**, Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Ефективність гасіння деякими вогнегасними речовинами моторного біопалива. *Пожежна безпека – 2011: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф.*, 17-18 лист. 2011 р. Харків, 2011. С. 202–203.

18. **Скоробагатько Т.Н.**, Боровиков В.А. Особенности применения пены для тушения пожаров жидких моторных биотоплив. *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник тезисов докладов VI Междунар. науч.-практ. конф.*, 08-10 июня 2011 г. Минск, 2011. С. 192–194.

19. **Скоробагатько Т.М.** Основні результати досліджень характеру взаємодії вогнегасних речовин з поверхнею горіння деяких видів моторного біопалива. *Сучасні проблеми охорони праці та аерології гірничих підприємств: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих вчених, студентів і аспірантів*, 24 лист. 2011 р. Донецьк, 2011. С. 13–17.

20. **Скоробагатько Т.М.**, Антонов А.В., Білкун Д.Г. Пожежна небезпека дільниці етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива. *XI Міжнародний виставковий форум “Технології захисту-2012”*: матеріали 14 Всеукраїнської. наук.-практ. конф. рятувальників, 26-27 верес. 2012 р. Київ, 2012. С. 359–361.

21. **Скоробагатько Т.М.** До питання оцінки пожежонебезпеки дільниці етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива. *Пожежна безпека: теорія і практика: зб. тез доповідей II Міжнарод. наук.-практ. конф.*, 12 жовт. 2012 р. Черкаси, 2012. С. 92–95.

22. **Скоробагатько Т.М.**, Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Забезпечення протипожежного захисту виробництв рідкого моторного біопалива. *Актуальні проблеми управління у сфері цивільного захисту: матеріали I Всеукраїнської наук.-практ. конф.*, 05 жовт. 2012 р. Харків, 2012. С. 228–233.

23. **Скоробагатько Т.Н.**, Антонов А.В., Боровиков В.А., Билкун Д.Г. Обеспечение противопожарной защиты технологических процессов производства жидкого моторного биотоплива. *XXIV Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института*: материалы науч.-практ. конф., 03-04 июля 2013 г. Москва, 2013. С. 126–128.

24. **Скоробагатько Т.М.**, Антонов А.В., Копильний М.І. Ефективність гасіння бінарних сумішей дизельного та біодизельного палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами. *Пожежна безпека-2013*: матеріали XI Міжнарод. наук.-практ. конф., 25-26 верес. 2013 р. Київ, 2013. С. 282–284.

25. **Скоробагатько Т.М.** Удосконалення методу Гретенера. *Пожежна безпека-2013*: матеріали XI Міжнарод. наук.-практ. конф., 25-26 верес. 2013 р. Київ, 2013. С. 541–545.

26. **Скоробагатько Т.М.**, Антонов А.В., Білошицький М.В. Вибухопожежна та пожежна небезпека типового підприємства з виробництва біодизельного палива. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: матеріали IV Міжнарод. наук.-практ. конф., 09-10 жовт. 2014 р. Черкаси, 2014. С. 41–44.

27. **Скоробагатько Т.М.**, Боровиков В.О. До питання горіння та гасіння жирів (олій) і продуктів їх переробляння. *Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація*: матеріали наук.-практ. семінару, 21 лют. 2019 р., Харків, 2019. С. 301–304.

ABSTRACT

Skorobahatko T.M. Improvement of the systems of fire safety of the facilities for biodiesel fuel manufacture and application. – A qualification scientific paper executed as typescript.

Dissertation for the competition of the scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) (Philosophy Doctor) by specialty of 21.06.02 – fire safety (261 “Fire safety”) prepared at the Ukrainian Civil Protection Research Institute, Lviv State University of Life Safety, Lviv – 2020.

The dissertation is devoted to the solution of an actual scientific and technical problem on revealing features of influence of factors on fire hazard of biodiesel fuel (hereinafter referred to as BDF) and its binary mixes with oil diesel fuel hereinafter referred to as DP), parameters of combustion processes, processes of its cessation in case of use of fire extinguishing agents (hereinafter referred to as FEA) as the scientific basis for improving fire safety systems (hereinafter referred to as FSS) of production facilities and the use of such the alternative biofuel.

Statistics of fires in Ukraine show that among the variety of facilities where fires occur in the country as well as causes and conditions of their occurrence there exists significant segment of fires accompanied by burning of flammable and combustible liquids which include both refined products and products of the oil and fat industry, including alternative types of liquid fuel, I particular, BDF. Every year about 1.5 thousand fires occur in this segment in Ukraine material damage from which reaches UAH 500 to 600 million.

An analysis of the national regulatory framework in the field of fire safety indicates the imperfection of approaches to assessing the level of fire safety of production facilities and the use of BDF as well as its binary mixtures with DF. At the same time, peculiarities of the fire hazard of such fuel, parameters of its combustion processes and termination of combustion in case of interaction with the FEA are not

taken into account which can lead to erroneous management decisions and negatively reflect in the fire statistic.

Accordingly, the purpose of the dissertation research is to reveal the peculiarities of the influence of factors on the fire safety of BDF and its binary mixtures with DF, parameters of the combustion processes, processes of its termination in the case of FEA application as well as the efficiency of FSS of the facilities of the production and use of these types of fuels.

The subject of the research is fire hazard of BDF and its binary mixtures with DF, combustion processes and processes of burning cessation with the use of FEA, and FSS of the facilities of production and use of these types of fuel.

It was established that for a typical BDF production facility, taking into account the requirements of the national regulatory framework, the level of fire hazard was unacceptable and its FSS needed improvement.

Principal fire hazard factors of BDF and influence of the ratio of components of BDF in binary mixtures with BF on these indicators, as well as the parameters of their combustion processes were revealed. It was established that BDF had lower fire hazard compared to DF, but peculiarity of its combustion process was presence of indications characteristic of the processes of heating and burning of fats of vegetable and animal origin. The most effective FEA suitable for putting-out BDF and its binary mixtures with DF were identified.

Parameters of application of different types of FEA by fire-fighting equipment in case of fighting fire involving BDF and its binary mixtures with DF were substantiated and proposals for improving efficiency of FSS of the facilities of production and use of such types of fuels were developed.

Hretener's method for estimating fire safety level of the facilities with BDF presence was improved, which, given the correct choice of the type and parameters of application of FEA by an automatic fire-fighting system (hereinafter referred to as AFFS), would reduce their fire hazard to an acceptable level and, accordingly, to provide adequate fire protection.

Proposals for the improvement of fire safety systems for the facilities of production and use of biodiesel fuel were arranged.

Due to the results of the researches new scientific results were obtained.

For the first time:

– Fire safety factors of binary mixtures of DF with BDF with the content of the latter from 10 % (v./v.) to 30 % (v./v.) were determined and it was revealed that its fire hazard at the maximum permissible content of BDF in the mixed fuel was lower when compared with DF, and closed/open cup flash point as well as ignition and self-ignition points were 77 °C/87 °C, 111 °C and 225 °C, respectively, which allows estimation of actual level of fire hazard of the facilities performing production and application of bio diesel and mixed fuels;

– It was found that the average specific mass burn rates of BDF and binary mixture of DP with BDF with the content of the latter 30 % (v./v.) were 0,017 kg/(m²·s) and 0,018 kg/(m²·s), respectively, that was almost twice less than that for DF (0,032 kg/(m²·s)); at the same time, the values of maximum flame temperature were 651 °C for BDF, 866 °C for the mixture of DF with BDF and 897 °C for DF, which allows estimation of the nature of burning of such the fuel compared with that of conventional fuels manufactured from oil as well as vegetable oils;

– It was revealed that medium expansion foam generated from foam solutions of general purpose foam concentrate was an effective agent for extinguishing both BDF and its binary mixture with DF with a BDF content up to 30 % (v./v.), and critical application rate of foam solutions was 0,012 dm³/(m²·s) and 0,016 dm³/(m²·s), respectively; low expansion foam generated from foam solutions of special purpose foam concentrates was also an effective agent for extinguishing both BDF and its binary mixture with DF with BDF content of up to 30 % (v./v.) at normative application rate of foam solutions for extinguishing water insoluble liquids with similar properties, which indicates suitability of conventional approaches to extinguishing bio diesel fuel using air-mechanical foam;

– It was found that water mist and finely sprayed water-based fire extinguishing agents with potassium carbonate content (up to 5 % (w./w.)) or foam concentrate

general purpose for fire-fighting (up to 0,5 %) were suitable for extinguishing both BDF and its binary mixture with DF containing BDF in the amount up to 30 % (v./v.), and their critical application rate at BDF was equal to $0,052 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $0,013 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and $0,012 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, respectively, which gave reasons to position them as the most efficient fire-fighting agents for the extinguishing biodiesel fuel and its mixtures with diesel fuel;

– *we improved* methods of estimation of the level of fire hazard of the facilities to manufacture and use biodiesel fuel related to substantiated choice of the fire-fighting agents for use in automatic fire-fighting systems;

– Use of FES with recommended parameters of their application *gained further development* at the FSS of BDF production and use facilities.

The results obtained during performing of the dissertation work will contribute to the improvement of FSS of domestic BDF production and use facilities of BJP by taking them into account when filling the fire safety subsystems with specific reasonable organizational measures, design, technical and technological decisions etc. which affect fire hazard level of such facilities. In turn, this improvement is aimed at implementing the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness" which provides for increasing the level of environmental and energy security of the state, creation incentives for widespread use of gas and alternative (oil) fuels, and increase the share of local alternative fuels in local fuel and energy balances to 20 % of the total consumption by the end of 2035.

Particularly, practical significance of the results obtained lies in the substantiation of the requirements for the choice of type and parameters of fire extinguishing agents application which are suitable for extinguishing fires at facilities for the production and use of BDF, namely in the introduction of the proposals to improve the fire safety system of a plant to manufacture BDF (separate division of "Pilot Agronomic Station", Pshenychne village, Vasylykiv district, Kyiv region) of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (act of implementation from 03.02.2020); in the introduction of the recommendations for firefighting at facilities with flammable and combustible liquids to the practical activities of fire and rescue divisions of the SES of

Ukraine, these were included in the “Handbook of firefighting manager” (act of implementation from 05.02.2020); in the use in the educational process of training specialists for the SES of Ukraine by the educational degree of “Bachelor” by specialty of 261 “Fire Safety” during the study of the disciplines of “Fire safety of buildings and structures” and “Fire safety of technological processes” at the Cherkasy Institute of Fire Safety Chernobyl Heroes National University of Civil Defence of Ukrainein (act of implementation from 21.01.2020) terms of the themes related to fire safety of facilities for production and storage of flammable and combustible liquids.

Key words: alternative fuel, bio diesel fuel, fire-fighting efficiency, burning, diesel fuel, etherification, fire hazard, cessation of burning, mixture.

LIST OF PUBLICATIONS BY THE DISSERTATION THEME

In professional scientific journals:

1. Bilkun D.G., Borovykov V.O., **Skorobagatko T.M.**, Chepovsky V.O. Problems of finding effective biogasoline extinguishing agents. *Collection of scientific papers: Fire Safety*, LSULS. 2009. No. 15. P. 101–107.
2. **Skorobagatko T.M.**, Bilkun D.G., Borovykov V.O. Fire hazard of diesel fuel and problematic issues of its extinguishing. *Scientific Bulletin of UkrFRSI: Scientific journal*. 2009. No. 2 (20). P. 52–56.
3. **Skorobagatko T.M.**, Borovykov V.O., Bilkun D.G. Results of experimental studies of extinguishing some samples of motor biofuel and mixed motor fuel with medium and low expansion foam. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2010. No. 2 (22). P. 142–147.
4. **Skorobagatko T.M.**, Borovykov V.O., Bilkun D.G. Ways of providing fire protection of the processes of production of liquid motor biofuel and facilities with its presence. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2011. No. 2 (24). P. 124–131.
5. **Skorobagatko T.M.**, Antonov A.V., Bilkun D.G. Evaluation of fire hazard of esterification line of a biodiesel fuel production plant by Gretener method. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2012. No. 1 (25). P. 54–59.
6. **Skorobagatko T.M.**, Antonov A.V., Kopylny M.I. Efficiency of extinguishing of binary mixtures of diesel and biodiesel with finely sprayed water-based fire extinguishing agents. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2013. No. 1 (27). P. 92–99.
7. **Skorobagatko T.M.**, Biloshitsky M.V., Maladyka I.G., Categorization by explosion and fire hazard of the biodiesel production plant. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2014. No. 2 (30). P. 23–29.
8. **Skorobagatko T.M.**, Ogurtsov S.Yu. , Stylyk I.G. , Benediuk V.S. Study of combustion parameters of biodiesel and its mixtures with diesel fuel. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2015. No. 2 (32). P. 95–100.

9. **Skorobagatko T.M.**, Kopylny M.I., Maladika I.G. Efficiency of fighting fire involving biodiesel and its mixture with diesel fuel with fire extinguishing powder. *Scientific Bulletin of the UkrFRSI: Scientific journal*. 2015. No. 2 (32). P. 77–81.

10. **Skorobagatko T.M.**, Kopylny M.I., Borovykov V.O. Efficiency of extinguishing of biodiesel fuel and its mixtures with diesel fuel with some gas extinguishing agents. *Scientific Bulletin: Civil protection and fire safety*. 2017. No. 1 (3). P. 73–76.

In international journals:

11. **Skorobagatko T.M.**, Antonov A.V., Borovykov V.O. Features of the processes of combustion of diesel biofuel, its mixtures with petroleum diesel fuel and the processes of interaction of fire extinguishing agents with flames while extinguishing them. *International scientific journal of "Internauka"*. 2019. No. 11 (73), volume 2. P. 52–63.

12. Antonov A.V., Skorobagatko T.M., Yakovchuk R.S., Sviatkevych O.V. Interaction of fire-extinguishing agents with flame of diesel bio fuel and its mixtures. *Zeszyty Naukowe SGSP*. 2020, No. 73 (1). P. 7–24.

Approbation of the dissertation materials:

13. Bilkun D.G., **Skorobagatko T.M.** Fire hazard of motor biofuels in Ukraine. *Coll. abstracts IX International. Research Practice Conf.: Fire Safety 2009*. Lviv: LSULS. 2009. P. 150–151.

14. Bilkun D.G., Borovykov V.O., **Skorobagatko T.M.** Problems of fire safety of biodiesel and its extinguishing. *Coll. of abstracts of II International Scientific Technical Conf.: Chemistry and Technology of Fats. Prospects of the Development of Oil and Fat Industry*. Alushta: UkrRI of Oils and Fats of the UAAS. 2009. P. 88–90.

15. **Skorobagatko T.M.**, Borovykov V.O., Bilkun D.G. Fire hazard of certain types of diesel biofuels. *Coll. of abstracts IV International Research Practice Conf.: Natural Sciences and their Application in the Activities of the Civil Protection Service*. Cherkasy: Chernobyl Heroes AFS. 2010. P. 106–107.

16. Bilkun D.G., **Skorobagatko T.N.**, Borovykov V.A. Problems of fire hazard of motor biofuel in Ukraine. *Proceedings of the XXI International Scientific and Practical conf.: Current Issues of Fire Safety*. Moscow: FSB IFDRI. 2010. P. 128–130.

17. **Skorobagatko T.M.**, Borovykov V.A., Bilkun D.G. Efficiency of fighting fires involving motor biofuels with some extinguishing agents. *Proceedings of the X International Research and Practice Conf.: Fire Safety – 2011*. Kharkiv: NUCPU. 2011. P. 202–203.

18. **Skorobagatko T.N.**, Borovykov V.A. Specific features of application of foam for extinguishing fires involving liquid motor biofuels. *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conf.: Emergencies: Prevention and Elimination*. Minsk: Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus. 2011. P. 192–194.

19. **Skorobagatko T.N.** The main results of the studies of the nature of interaction of fire extinguishing agents with the combustion surface of some types of motor biofuels. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical. Conf. of young scientists, students and graduate students: Current Problems of Labour Protection and Aerology of Mining Enterprises*. Donetsk: DNTU. 2011. P. 13–17.

20. **Skorobagatko T.M.**, Antonov A.V., Bilkun D.G. Fire hazard of esterification line of a biodiesel fuel production plant. *Proceedings of 14th All-Ukrainian Research and Practical Conf. of Rescuers*. Kyiv: ISMCP. 2012. P. 359–361.

21. **Skorobagatko T.M.** As to the problem of evaluation of fire hazard of esterification line of a biodiesel fuel production plant. *Coll. abstracts of II International Research and Practical Conf.: Fire Safety: Theory and Practice*. Cherkasy: Chernobyl Heroes FSA. 2012. P. 92–95.

22. **Skorobagatko T.M.**, Borovykov O.V., Bilkun D.G. Provision of fire protection of plants to manufacture liquid motor biofuel. *Proceedings of the I All-Ukrainian Scientific and Practical Conf.: Current issues of Management in the Sphere of Civil Protection*. Kharkiv: NUCPU. 2012. P. 228–233.

23. **Skorobagatko T.N.**, Antonov A.V., Borovykov V.A., Bilkun D.G. Provision of fire protection of technological processes of production of liquid motor biofuel. *Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conf. on Fire Safety*

dedicated to the 75th anniversary of the Institute arrangement. Moscow: FSB IFDRI. 2013. P. 126–128.

24. **Skorobagatko T.M.**, Antonov A.V., Kopylny M.I. Efficiency of extinguishing of binary mixtures of diesel and biodiesel with finely sprayed water-based fire extinguishing agents. *Proceedings of XI International Research and Practical conf.: Fire Safety – 2013*. Kyiv: UkrFSRI. 2013. P. 282–284.

25. **Skorobagatko T.M.** Improvement of the Gretener method. *Proceedings of the XI International Research and Practical Conf.: Fire Safety – 2013*. Kyiv: UkrFSRI. 2013. P. 541–545.

26. **Skorobagatko T.M.**, Antonov A.V., Biloshitsky M.V. Explosion and Fire Hazard of a Typical Biodiesel Production Plant. *Proceedings of the IV International Research and Practical Conf.: Emergencies: Safety and Protection*. Cherkasy: Chernobyl Heroes ChFSI. 2014. P. 41–44.

27. **Skorobagatko T.M.**, Borovykov V.O. On the issue of burning and extinguishing of fats (oils) and products of their processing. *Proceedings of Scientific and Practical Seminar: Emergency Prevention and Elimination*. Kharkiv: NUCPU. 2019. P. 301–304.

ЗМІСТ

ВСТУП.....		24
РОЗДІЛ 1	Аналіз сучасного стану систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива в Україні.....	32
1.1	Статистика пожеж в Україні на об'єктах із наявністю горючих рідин.....	32
1.2	Пожежонебезпечність біодизельного палива та вогнегасні речовини, придатні для припинення його горіння.....	38
1.3	Технологічні процеси виробництва біодизельного палива...	45
1.4	Системи забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва і застосування біодизельного палива.....	52
1.5	Шляхи удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива, ідея роботи.....	58
1.6	Мета і задачі досліджень.....	59
РОЗДІЛ 2	Методологія та методи проведення досліджень.....	60
2.1	Методологія та методи досліджень пожежонебезпечності біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом.....	61
2.2	Методологія та методи досліджень параметрів процесів горіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом.....	65
2.3	Методологія та методи досліджень ефективності вогнегасних речовин для гасіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом.....	66
2.4	Методика розрахунку рівня пожежонебезпеки об'єкта методом Гретенера та вибухопожежонебезпеки його основних технологічних дільниць.....	72

	21
2.5 Висновки за розділом.....	80
РОЗДІЛ 3 Теоретичне обґрунтування можливих шляхів підвищення рівня забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива	81
3.1 Розрахунок рівня пожежонебезпеки типового об'єкта виробництва біодизельного палива із застосуванням методу Гретенера, його удосконалення для об'єктів із наявністю біодизельного палива.....	81
3.2 Категорування за вибухопожежною та пожежною небезпекою основних технологічних ділянок типового об'єкта з виробництва біодизельного палива.....	84
3.3 Висновки за розділом.....	91
РОЗДІЛ 4 Експериментальні дослідження.....	92
4.1 Вплив співвідношення компонентів біодизельного палива в його бінарних сумішах з нафтовим дизельним паливом на їхню пожежонебезпечність та параметри процесів горіння..	92
4.1.1 Пожежонебезпечність біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом.....	92
4.1.2 Параметри процесів горіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом.....	96
4.2 Ефективність вогнегасних речовин у разі їх застосування для гасіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом.....	99
4.2.1 Дослідження з гасіння палива повітряно-механічною піною.....	100
4.2.2 Дослідження з гасіння палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами.....	104
4.2.3 Дослідження з гасіння палива вогнегасним порошком.....	111

4.2.4	Дослідження з гасіння палива газовими вогнегасними речовинами	113
4.3	Висновки за розділом.....	117
РОЗДІЛ 5	Впровадження результатів досліджень.....	119
5.1	Пропозиції щодо удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива.....	119
5.2	Розрахунок рівня пожежонебезпеки типового об'єкта з виробництва біодизельного палива із застосуванням удосконаленого методу Гретенера.....	121
5.3	Рекомендовані параметри подавання вогнегасних речовин для гасіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом із застосуванням технічних засобів пожежогасіння.....	123
5.4	Висновки за розділом.....	125
	ВИСНОВКИ.....	126
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	129
ДОДАТОК А	Список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи та відомості про апробацію її результатів	143
ДОДАТОК Б	Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	148

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

БДП – біодизельне паливо;

ДП – дизельне паливо;

ВР – вогнегасна речовина;

СПБ – система забезпечення пожежної безпеки;

АСПГ – автоматична система пожежогасіння;

ЕМЖК – ефір (етер) метиловий жирних кислот;

ЕЕЖК – ефір (етер) етиловий жирних кислот;

ГВР – газова вогнегасна речовина;

ТРВ – тонкорозпилена вода;

ВВР – водна вогнегасна речовина.

ВСТУП

Актуальність роботи

Однією з альтернатив видам палива є біопаливо, що виробляється з сировини природного походження, зокрема, БДП – складні ефіри вищих жирних кислот, що може використовуватись як окремий вид палива або в суміші з ДП згідно з [1]. Згідно з [2] “БДП це – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отримані з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент”. БДП, маючи подібні до ДП експлуатаційні властивості, відрізняється від нього хімічним складом та, ймовірно, показниками пожежонебезпечності і параметрами процесів горіння й, вочевидь, має свої особливості взаємодії з ВР.

Статистика пожеж в Україні свідчить, що в державі щороку виникає близько 1,5 тис. пожеж, спричинених загорянням легкозаймистих і горючих рідин різної хімічної природи. Найбільш “резонансними” з них останніми роками були пожежі на нафтобазі “БРСМ-Нафта” (Київська область, 2015 рік), підприємстві “Дельта Вілмар”, що спеціалізується на виробництві продукції на основі жирів (Одеська область, 2018 рік), Зарубинецькому спиртозаводі (Тернопільська область, 2018 рік) тощо. Відомі випадки пожеж БДП за межами України, зокрема на заводі з виробництва БДП в м. Стюарт (США, 2015 рік), коли горіло понад 10 тис. галонів готової продукції, та на заводі Biomax Fuels Ltd (Індія, 2016 рік), коли горіло 12 резервуарів з БДП.

Значний обсяг теоретичних й експериментальних досліджень з вивчення процесів горіння та гасіння горючих рідин, а також розроблення СПБ об’єктів їх виробництва і застосування викладено в роботах Антонова А.В., Баланюка В.М., Баратова А.М., Білкуна Д.Г., Боровикова В.О., Воєводи С.С., Горшкова В.І., Дунюшкіна В.О., Жартовського В.М., Казакова М.В., Кириченко О.В., Кірєєва О.О., Ковалишина В.В., Костенка В.К., Меркулова В.А., Ніжника В.В., Слуцької О.М., Соколова С.В., Федоровського В.В., Цапка Ю.В., Шароварникова С.А., G. Marlair, V. Moreno, T. Nobuyuki, R. Salvagni та інших, але

процеси припинення горіння саме БДП і його бінарних сумішей з ДП залишилися поза їх увагою. Певною мірою це стосується й питань забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування БДП, що може призводити до помилкових управлінських рішень і негативним чином відобразитись у статистиці пожеж.

Розкриття особливостей процесів припинення горіння БДП і його сумішей з ДП у разі взаємодії з ВР є актуальною науковою задачею, розв'язання якої є підґрунтям удосконалення СПБ об'єктів його виробництва та застосування.

Дослідження проводились відповідно до Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 № 870, а також Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.06.2002 № 590, у рамках виконання в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту науково-дослідних робіт за темами:

– “Провести дослідження пожежної небезпеки моторного біопалива, процесів його горіння і обґрунтувати тактичні прийоми його гасіння” (№ держреєстрації 0109U005795);

– “Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання” (№ держреєстрації 0111U008299);

– “Провести дослідження та розробити довідник керівника гасіння пожежі” (№ держреєстрації 0114U002477).

Мета і задачі досліджень

Метою цієї дисертаційної роботи є розкриття особливостей впливу чинників на пожежонебезпечність БДП і його бінарних сумішей з ДП, параметри процесів горіння, процеси його припинення у разі застосування ВР, а також на ефективність СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива.

Для досягнення поставленої мети поставлено до розв'язання такі **задачі досліджень**:

- проаналізувати сучасний стан СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП та виявити можливі шляхи їх удосконалення;
- розробити методологію проведення досліджень, а також методики проведення експериментальних досліджень показників пожежонебезпечності БДП, процесів його горіння та припинення горіння у разі використання ВР;
- провести оцінювання рівня пожежонебезпеки типового об'єкта виробництва БДП і визначити можливі шляхи удосконалення СПБ такого об'єкта;
- провести експериментальні дослідження впливу співвідношення компонентів БДП у його бінарних сумішах з ДП на показники їх пожежонебезпечності й параметри процесів горіння;
- провести експериментальні дослідження та обґрунтувати види ВР і параметри їх подавання для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП;
- розробити пропозиції щодо удосконалення СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП, а також рекомендовані параметри подавання ВР для пожежогасіння на таких об'єктах.

Об'єктом досліджень є пожежонебезпечність БДП та його бінарних сумішей з ДП, процеси горіння і процеси його припинення із застосуванням ВР, а також СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива.

Предметом досліджень є вплив чинників на пожежонебезпечність БДП та його бінарних сумішей з ДП, параметри процесів горіння і процеси його припинення у разі застосування ВР, а також на ефективність СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива.

Ідея роботи полягає в удосконаленні СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП шляхом урахування його пожежонебезпечності й особливостей процесів припинення горіння у разі взаємодії з ВР.

Методи досліджень

Під час виконання дисертаційних досліджень використано комплексний метод досліджень, що передбачав аналізування статистики пожеж на об'єктах із

наявністю горючих (легкозаймистих) рідин, особливостей технологічного процесу виробництва БДП, пожежонебезпечних властивостей БДП, можливостей застосування ВР для його гасіння, а також аналізування та оцінювання рівня пожежонебезпеки об'єкта виробництва БДП та ефективності його СПБ. Оцінювання рівня пожежонебезпеки типового об'єкта з виробництва БДП проводилось із використанням методу Гретенера, наведеного у [3], та положень ДСТУ Б В.1.1-36 [4]. Дослідження з визначення показників пожежонебезпечності БДП та його бінарних сумішей з ДП, процесів їх горіння, а також припинення горіння проводилися за стандартизованими методами випробувань (ДСТУ 8829 [5], ДСТУ EN ISO 1716 [6], ДСТУ 3789 [7], ДСТУ EN 615 [8], ДСТУ 3958 [9]), а також валідованими методиками (Методики УкрНДПБ № 2000/2-ПУ-10 [10] та № 64 [11], Експрес-методика УкрНДЦЗ № 2013/166-1Ц [12]). Під час експериментальних досліджень застосовувалось метрологічно-верифіковане обладнання та повірені (калібровані) засоби вимірювальної техніки. Обробляння результатів досліджень здійснювали з використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel та програмного продукту Matlab 2013.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розкритті особливостей впливу чинників на пожежонебезпечність БДП і його бінарних сумішей з ДП, параметри процесів горіння, процеси його припинення у разі застосування ВР, а також на ефективність СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива. За результатами досліджень одержано такі нові наукові результати.

Уперше:

– визначено показники пожежонебезпечності бінарних сумішей ДП з БДП з вмістом останнього від 10 % (об.) до 30 % (об.) і встановлено, що за максимально допустимого вмісту БДП у сумішевому паливі 30 % (об.) його пожежонебезпечність порівняно з ДП нижча, а температури спалаху в закритому/відкритому тиглі, займання і самозаймання становлять 77 °С/87 °С, 111 °С і 225 °С, відповідно, що дає змогу здійснювати фактичну оцінку рівня пожежонебезпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного та сумішевого палива;

– виявлено, що середні питомі масові швидкості вигорання БДП та бінарної суміші ДП з БДП з вмістом останнього 30 % (об.) становлять $0,017 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $0,018 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно, що майже удвічі менше аналогічного показника для ДП ($0,032 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), водночас значення максимальної температури полум'я становлять $651 \text{ }^\circ\text{C}$ для БДП, $866 \text{ }^\circ\text{C}$ для суміші ДП з БДП та $897 \text{ }^\circ\text{C}$ для ДП, що дає змогу оцінити характер горіння такого палива порівняно із традиційними видами палива нафтового походження та рослинними оліями;

– встановлено, що піна середньої кратності, генерована з робочих розчинів піноутворювача загального призначення, є ефективним засобом гасіння як БДП, так і його бінарної суміші з ДП з вмістом БДП до 30 % (об.), а критична інтенсивність подавання робочого розчину дорівнює $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $0,016 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно; піна низької кратності, генерована з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення, також є ефективним засобом гасіння як БДП, так і його бінарної суміші з ДП з вмістом БДП до 30 % (об.) за нормативної інтенсивності подавання робочих розчинів для гасіння водонерозчинних рідин з такими властивостями, що вказує на придатність традиційних підходів для гасіння БДП із застосуванням повітряно-механічної піни;

– встановлено, що тонкорозпилена вода та водні вогнегасні речовини з умістом карбонату калію (до 5 % (мас.)) або піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж (до 0,5 %) придатні для гасіння як БДП, так і його бінарної суміші з ДП з умістом БДП до 30 % (об.), а критична інтенсивність їх подавання під час гасіння БДП дорівнює $0,052 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $0,013 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно, що дало підстави позиціонувати їх як найбільш ефективні вогнегасні речовини для гасіння БДП та його сумішей з ДП;

– *удосконалено* метод оцінювання рівня пожежонебезпеки об'єктів виробництва та застосування БДП в частині обґрунтованого вибору видів ВР для використання в автоматичних системах пожежогасіння;

– *набуло подальшого розвитку* застосування ВР з визначеними рекомендованими параметрами їх подавання в СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено шляхом:

– надання пропозицій з удосконалення СПБ заводу з виробництва БДП, що створений у відокремленому підрозділі “Агрономічна дослідна станція” (с. Пшеничне Васильківського району Київської області) Національного університету біоресурсів і природокористування України (акт впровадження від 03.02.2020);

– використання в практичній діяльності пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України рекомендацій з гасіння можливих пожеж на об’єктах з наявністю горючих рідин, які увійшли до “Довідника керівника гасіння пожеж” (ISBN 978-617-635-087-3, 2016 рік) (акт впровадження від 05.02.2020);

– використання в освітньому процесі підготовки фахівців для ДСНС України освітнього ступеню “бакалавр” за спеціальністю 261 “Пожежна безпека” під час вивчення дисципліни “Пожежна безпека територій будівель та споруд” та “Пожежна безпека технологічних процесів” у Черкаському інституті пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України (акт впровадження від 21.02.2020) в розрізі тем, що стосуються забезпечення пожежної безпеки об’єктів виробництва та зберігання легкозаймистих та горючих рідин.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні мети і задач досліджень, самостійному аналізуванні літературних джерел, формулюванні ідеї роботи, проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, обробленні їх результатів та виявленні наукової новизни, узагальненні висновків.

Перелік робіт, здійснених здобувачем у співавторстві, наведено у списку опублікованих праць за темою дисертації. Внесок здобувача в представлених наукових працях, які виконано у співавторстві, полягає в такому: у роботах [55, 84, 125] провів літературний пошук та аналізування даних щодо пожежонебезпечних властивостей і можливих ефективних вогнегасних речовин для гасіння БДП, рослинної олії та взяв участь у проведенні експериментальних досліджень; у роботі [38] проаналізував літературні дані щодо технологій виробництва БДП та провів експериментальні дослідження пожежонебезпечності

бінарних сумішей БДП з ДП; у роботі [88] проаналізував метод Гретенера та провів розрахунки рівня пожежонебезпеки типового підприємства з виробництва БДП; у роботі [126] взяв участь у розробленні процедури експериментальних досліджень і безпосередньо в їх проведенні, узагальнив результати цих досліджень та взяв участь у формуванні висновків; у роботі [136] проаналізував нормативні документи щодо оцінювання пожежовибухонебезпеки будівель, споруд, приміщень, технологічних установок тощо, взяв участь у проведенні відповідних розрахунків й оцінюванні результатів для типового об'єкта виробництва БДП; у роботах [116] та [130] провів експериментальні дослідження та взяв участь в узагальненні їх результатів; у роботі [127] взяв участь у розробленні процедури експериментальних досліджень й безпосередньо в їх проведенні, узагальнив результати досліджень у порівнянні з даними літературних джерел та взяв участь у формуванні висновків; у роботах [48] та [12] здійснив систематизацію й аналіз результатів проведених раніше аналітичних й експериментальних досліджень.

Апробація результатів досліджень

Основні результати дисертаційних досліджень доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на: IX Міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 2009” (ЛДУ БЖД, м. Львів, 05-06 лист. 2009 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції “Хімія та технологія жирів. Перспективи розвитку масло-жирової галузі” (УкрНДІ масел та жирів УААН, м. Алушта, 21-25 верес. 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту” (АПБ ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, 08 жовт. 2010 р.); XXI Международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы пожарной безопасности” (ФГУ ВНИИПО МЧС России, г. Москва, 19-22 мая 2009 г.); X Міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 2011” (НУЦЗУ, м. Харків, 17-18 лист. 2011 р.); VI Международной научно-практической конференции “Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация” (УГЗ МЧС Беларуси, г. Минск, 08-10 июня 2011 г.); Всеукраїнській

науково-технічній конференції молодих вчених, студентів і аспірантів “Сучасні проблеми охорони праці і аерології гірничих підприємств” (ДНТУ, м. Донецьк, 24 лист. 2011 р.); 14 Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (ІДУ ЦЗ, м. Київ, 26-27 верес. 2012 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції “Пожежна безпека: теорія і практика” (АПБ ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, 12 жовт. 2012 р.), I Всеукраїнській науково-практичній конференції “Актуальні проблеми управління у сфері цивільного захисту” (НУЦЗУ, м. Харків, 05 жовт. 2012 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 2013” (УкрНДІ ЦЗ, м. Київ, 25-26 верес. 2013 р.); XXIV Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института (ФГУ ВНИИПО МЧС России, г. Москва, 03-04 июля 2013 г.); IV Міжнародній науково-практичній конференції “Надзвичайні ситуації: безпека та захист” (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, 09-10 жовт. 2014 р.); Науково-практичний семінар “Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація” (НУЦЗУ, м. Харків, 21 лют. 2019 р.).

Публікації

Основний зміст роботи викладено у 10 наукових статтях у виданнях, віднесених до переліку фахових видань України, та 2 наукових статтях у періодичних наукових виданнях інших держав. Результати досліджень також висвітлено у 15 тезах доповідей на міжнародних та національних науково-практичних конференціях (семінарах).

Структура і обсяг дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, 5-ти розділів, висновків, списку використаних джерел із 136 найменувань та 2-х додатків. Зміст роботи викладено на 151 сторінці, що включає 46 рисунків і 20 таблиць.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В УКРАЇНІ

1.1 Статистика пожеж в Україні на об'єктах із наявністю горючих рідин

У сучасних умовах господарювання, зацентрованих до соціальних, економічних та екологічних аспектів, проблема забезпечення пожежної безпеки в Україні не втрачає своєї актуальності.

Відповідно до даних, наведених у [13], слід відмітити, що стан із пожежами та наслідками від них в Україні упродовж останніх років залишається вкрай складним. На рисунку 1.1 наведено основні показники статистики пожеж, що характеризують стан із пожежами у державі за останні два роки.

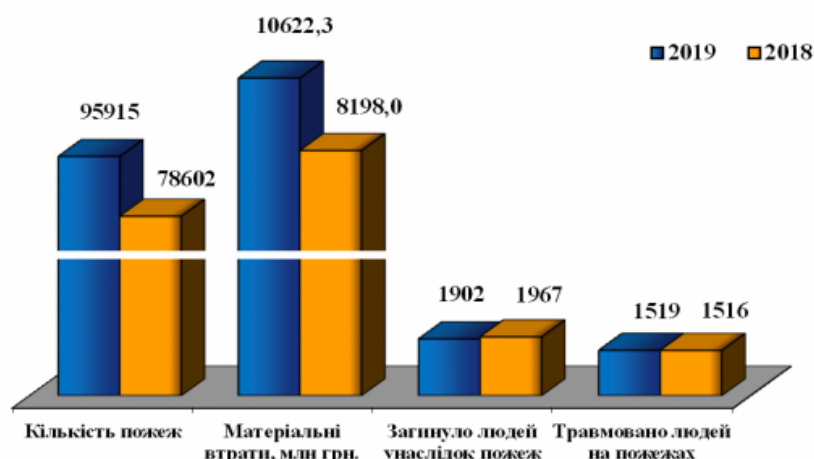


Рисунок 1.1 – Основні показники статистики пожеж в Україні за 2018 та 2019 роки

Як видно з рисунка 1.1, тільки у 2019 році в Україні зареєстровано 95 тис. 915 пожеж, унаслідок яких загинуло 1902 особи, отримали травми 1519 осіб. Пожежами завдано тільки прямих збитків на суму понад 2 млрд. грн.

Щодня в середньому виникало 262 пожежі, на яких гинуло 5 і отримувало травми 4 людей, вогнем знищувалось або пошкоджувалось 70 будівель і споруд та 13 одиниць транспортних засобів. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили близько 29,1 млн грн.

Крім того, в державі упродовж останніх десяти років спостерігаються сталі тенденції щодо збільшення кількості пожеж і зростання збитків від них (рисунок 1.2).

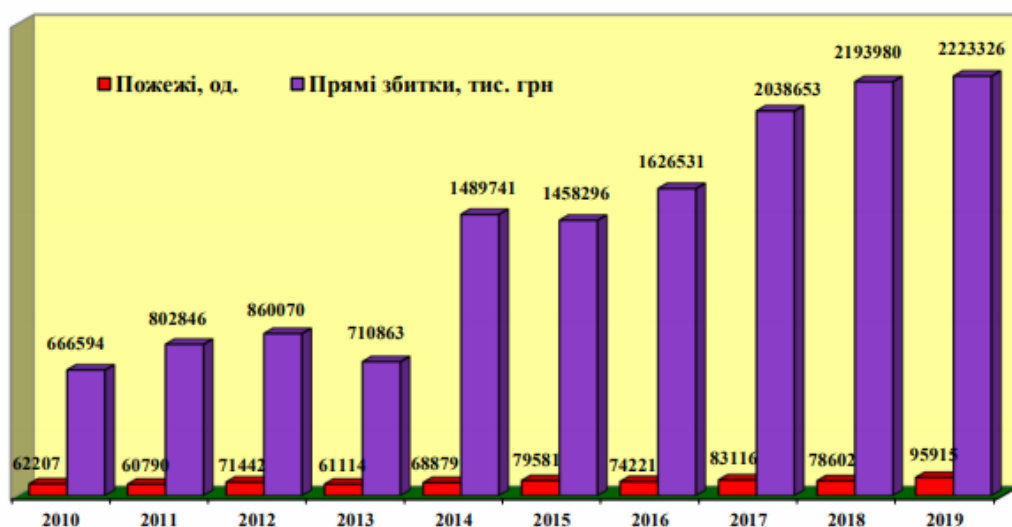


Рисунок 1.2 – Динаміка кількості пожеж і прямих збитків від них в Україні останніми роками

Серед розмаїття об’єктів виникнення пожеж, а також причин та умов їх виникнення слід виділити сегмент пожеж, який супроводжується наявністю та безпосереднім горінням легкозаймистих та горючих рідин, до яких відноситься як продукція переробляння нафти, так і продукція олійно-жирової промисловості, в тому числі й альтернативні види рідкого палива. Щороку в цьому сегменті в Україні виникає близько 1,5 тис. пожеж, матеріальні втрати від яких сягають 500-600 млн. грн.

Найбільш “резонансними” з таких пожеж останніми роками були пожежі на нафтобазі “БРСМ-Нафта” (Київська область, 2017 рік), на підприємстві “Дельта Вілмар”, що спеціалізується на виробництві продукції на основі жирів (Одеська область, 2018 рік), на Збаражському спиртозаводі з виробництва біоетанолу (Тернопільська область, 2018 рік) тощо. Відомі й випадки пожеж альтернативних палив у світі.

Нижче наведено коротку інформацію про випадки таких пожеж як в Україні так і зі її межами у хронологічній послідовності за останні 6 років.

11.08.2019 сталася пожежа на заводі з виробництва біоетанолу в м. Нова-Індепенденсія, штат Сан-Паулу (Бразилія) [14]. Загорівся склад біоетанолу, в якому на момент пожежі знаходилося близько 30 тис. тон біопалива. Відмічається, що гасіння пожежі було суттєво ускладнено відсутністю піноутворювачів спеціального призначення для гасіння пожеж



Рисунок 1.3 – Пожежа на заводі біопалива (Бразилія)

06.11.2018 сталася пожежа на підприємстві “Дельта Вілмар” біля міста Південне Одеської області [15, 16]. Підприємство спеціалізується на виробництві продукції на основі жирів. У цеху з виробництва маргарину загорілися рослинна олія та горюча тара.



Рисунок 1.4 – Пожежа на підприємстві “Дельта Віл мар” (Україна)

23.06.2018 сталася пожежа на Зарубинецькому спиртзаводі, що в Тернопільській області [17, 18]. Підприємство спеціалізується на виробництві біоетанолу. Причиною виникнення пожежі став вибух посудини з біоетенолом на території підприємства.



Рисунок 1.5 – Пожежа на Зарубинецькому спиртзаводі з виробництва біоетанолу (Україна)

06.02.2016 сталася пожежа на заводі з виробництва біопалива в м. Альхемесі (Іспанія) [19]. Пожежа виникла у виробничому цеху в результаті вибуху бункера для сировини, унаслідок чого дві людини загинули і одна отримала важкі поранення. До ліквідації наслідків пожежі залучався вертоліт урядових військ.



Рисунок 1.6 – Пожежа на заводі з виробництва біопалива (Іспанія)

26.04.2016 сталася пожежа на заводі *Viomax Fuels Ltd* з виробництва БДП, що розміщений в економічній зоні м. Вішакхапатнам (Індія) [20]. Пожежа виникла унаслідок вибуху одного з резервуарів готової продукції, після чого загорілися 12 з 18 наявних резервуарів.



Рисунок 1.7 – Пожежа на заводі з виробництва БДП *Viomax Fuels Ltd* (Індія)

08.06.2015 сталася пожежа на нафтобазі “БРСМ-Нафта” біля с. Крячки Васильківського району Київської області [21]. На момент прибуття перших пожежно-рятувальних підрозділів вогнем було охоплено один резервуар з паливом місткістю 800 м³. У подальшому полум’я охопило всю площу нафтобази. Ліквідація пожежі тривала понад 10 діб. Унаслідок пожежі загинуло шестеро осіб, із них четверо пожежних, 18 осіб отримали травми.



Рисунок 1.8 – Пожежа на нафтобазі “БРСМ-Нафта” (Україна)

03.04.2015 сталася пожежа на заводі з виробництва БДП в м. Стюарт (США) [22]. Горіло понад 10 тис. галонів БДП. В радіусі 1 км навколо місця інциденту було евакуйовано населення, до ліквідації пожежі залучені всі пожежні міста та округу.



Рисунок 1.9– Пожежа на заводі з виробництва БДП (США)

01.09.2014 сталася пожежа на заводі з виробництва ріпакової олії в м. Антсла (Казахстан) [23]. За інформацією пожежних, вибух одного з контейнерів призвів до пожежі в виробничій будівлі заводу, при цьому з інших зруйнованих вибухом контейнерів вилилось й загорілось близько 30 тон олії.



Рисунок 1.10 – Пожежа на заводі з виробництва ріпакової олії (Казахстан)

Враховуючи наведені вище дані щодо основних показників статистики пожеж, інформацію про “резонансні” пожежі, які супроводжувалися горінням

легкозаймистих та горючих рідни, в тому числі й альтернативних видів рідкого біопалива, а також наявні результати досліджень науковців за цим напрямком досліджень, які зокрема представлено в роботах [24-31], встановлено, що питання стану СПБ об'єктів виробництва та застосування альтернативних видів біопалива, зокрема БДП, є актуальним й потребує вивчення та виявлення можливих шляхів їх удосконалення.

1.2 Пожежонебезпечність біодизельного палива та вогнегасні речовини, придатні для припинення його горіння

Відповідно до Закон України “Про альтернативні види палива” [2], біодизельне паливо (біодизель) – це метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент.

Цим же законом визначено поняття біологічних видів палива та поняття біокомпоненту. Так, біологічні види палива (біопаливо) – це тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива, а біокомпонент – це біопаливо, що використовується як компонент інших видів палива.

Паливо визначається альтернативним, якщо воно повністю виготовлене (видобуте) з нетрадиційних та поновлювальних джерел і видів енергетичної сировини (включаючи біомасу) або є сумішшю традиційного палива з альтернативним, вміст якого має відповідати технічним нормативам моторного палива [2].

Відповідно, БДП можна розглядати як окремий вид біопалива, у разі його використання за призначенням у чистому вигляді так і як добавки до ДП в кількості до 7 % (мас.), передбаченої національним стандартом ДСТУ 7688:2015 *Паливо дизельне Євро. Технічні умови* [1]. Разом з тим, враховуючи результати досліджень, описаних у роботі [32], слід відмітити, що оптимальним вмістом БДП

у нафтовому ДП є добавка у кількості 10...15% (об.), а максимально допустима – близько 30 % (об.).

Вимоги щодо показників якості БДП визначені у двох національних стандартах, це ДСТУ 6081:2009 *Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги* [33] та ДСТУ 7178:2010 *Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання* [34].

В інших країнах світу на таку продукцію діють, зокрема, нормативні документи [35-37].

Відповідно до ДСТУ 6081 [33] “Ефіри метилові жирних кислот (надалі – ЕМЖК) – це дизельне біопаливо, складником якого є суміші метилових ефірів жирних кислот, що виробляються з рослинної олії та тваринних жирів”. Для виробництва ЕМЖК використовуються олія соняшникова, олія соєва, олія ріпакова та жир тваринний. Стандарт регламентує такі показники пожежонебезпечності: температура спалаху ЕМЖК у закритому тиглі – не нижче за 120 °С; температура самозаймання – не нижче за 320 °С.

Відповідно до ДСТУ 7178 [34] “Естери етилові жирних кислот (надалі – ЕЕЖК) – це паливо альтернативне, отримане етерифікацією жирних кислот або переестерифікацією олій та жирів етанолом, яке використовується як дизельне біопаливо, або як біокомпонент інших видів палива”. Для виробництва ЕЕЖК використовується аналогічна сировина як для ЕМЖК. Стандарт регламентує такі показники пожежонебезпечності: температура спалаху ЕМЖК у закритому тиглі – не нижче за 101 °С; температура самозаймання – не нижче за 320 °С.

За фізико-хімічними показниками ЕМЖК та ЕЕЖК є майже ідентичними (таблиця 1.1). Різниця полягає лише у вмісті сполук фосфору та значень температури спалаху у відкритому тиглі.

Ці ж стандарти [33, 34] визначають, що для цілей пожежогасіння ЕМЖК та ЕЕЖК слід застосовувати розпилену воду, піну, вогнегасні порошки, під час гасіння об’ємним способом – діоксид вуглецю, аналогічно гасінню нафтового ДП.

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники ЕМЖК та ЕЕЖК згідно з [33, 34]

Показник	ЕМЖК	ЕЕЖК
Масова частка ефірів, % не менше	96,5	96,5
Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , у межах	860-900	860-900
Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с, у межах	3,5-5,0	3,5-5,0
Температура спалаху у закритому тиглі, °С, не менше	120	101
Температура самозаймання, °С, не менше	320	320
Масова частка сірки, мг/кг, не більше	10	10
Коксованість 10 % залишка перегонки, %, не більше	0,30	0,30
Цетанове число, не менше	51	51
Зольність, % мас, не більше	0,02	0,02
Масова частка води, %, не більше	0,05	0,05
Кислотне число, мг КОН на г, не більше	0,50	0,50
Йодне число, г йоду на 100 г, не більше	120	120
Масова частка метилового ефіру ліноленової кислоти, %, не більше	12,0	12,0
Масова частка поліненасичених метилових ефірів, %, не більше	1	1
Масова частка загального гліцерину, %, не більше	0,25	0,25
Масова частка фосфору, мг/кг, не більше	10,0	10,0

Для цілей пожежогасіння ДП, з вмістом у ньому до 7 % ЕМЖК, стандарт [1] на початкових стадіях передбачає застосування первинних засобів пожежогасіння, зокрема, піску й переносних (пересувних) вогнегасників, вибір виду та кількості яких здійснюється відповідно до норм належності вогнегасників.

У таблиці 1.2, за результатами досліджень, наведених у роботі [38], узагальнено дані аналітичних досліджень щодо пожежонебезпечних характеристики БДП відповідно до вітчизняних та закордонних нормативних документів на його виготовлення.

Таблиці 1.2 – Нормовані значення показників пожежонебезпечності БДП

Характеристика	Нормативні значення				
	ДСТУ 6081 [33]	ДСТУ 7178 [34]	EN 14214 [35]	DIN 51606 [37]	ASTM D 6751 [36]
Температура спалаху, °С	не менше ніж 120	не менше ніж 101	не менше ніж 120	не менше ніж 110	не менше ніж 130

Враховуючи дані, наведені в таблиці 1.2, та застосувавши критерії стандарту [5] щодо класифікації БДП за пожежонебезпечністю, встановлено, що таке паливо відноситься до горючих речовин.

Фізико-хімічні показники БДП, що наведені у таблицях 1.1 та 1.2, близькі до даних, наведених у доступних наукових роботах. Зокрема, у роботі [39] для ЕМЖК та ЕЕМЖК наведено аналогічні діапазони значень температур спалаху. Але за даними [40], для цих речовин відмічається дещо вищий діапазон цих температур, а саме 170...185 °С.

ДП з вмістом у ньому до 7 % МЕЖК згідно з [1] є легкозаймистою речовиною. Разом з тим, за даними паспорту безпечності [41], “Biodiesel Blend” (біодизельна суміш) або суміш БДП з ДП у кількості першого до 20 %, належить до класу 3 – горючі рідини, температура самозаймання якої складає 257 °С. Для гасіння можливих загорянь біодизельної суміші рекомендується застосовувати вогнегасні порошки, діоксид вуглецю, розпилену воду або повітряно-механічну піну. Інших даних щодо пожежонебезпечних характеристик бінарних сумішей БДП та ДП у літературних джерелах не виявлено, що вказує на необхідність проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу співвідношення компонентів БДП в його бінарних сумішах з ДП на їхню пожежонебезпечність та параметри процісів горіння.

Слід також відмітити, що в доступних джерелах інформації наявна значна кількість публікацій, наприклад таких як [42-45] та ін., в яких розкриваються питання перспективності розвитку альтернативних видів рідкого палива, в тому числі перспективність застосування БДП у двигунах внутрішнього згоряння та особливості їх роботи на такому паливі. Але, знову ж таки, питання пожежонебезпечних властивостей БДП та його бінарних сумішей з ДП, розкриті недостатньо.

Стосовно аналізу інформаційних джерел щодо ВР, придатних для цілей пожежогасіння БДП, то з цього питання встановлено, що вибір ВР, протипожежного обладнання, а також способів і тактичних прийомів пожежогасіння у кожному конкретному випадку визначається рядом параметрів,

зокрема, класом пожежі в цілому і властивостями горючих речовин і матеріалів, горіння яких відбувається. У теперішній час в Україні прийнято ДСТУ EN 2 [46], який передбачає поділ пожеж на такі класи: А – пожежі з горінням твердих матеріалів; В – пожежі з горінням рідин або твердих речовин, які переходять у рідкий стан під час нагрівання; С – пожежі з горінням газоподібних речовин; D – пожежі з горінням металів; F – пожежі з горінням речовин, які використовують для приготування їжі (рослинних і тваринних олій та жирів) і містяться в кухонних приладах.

На відміну від ГОСТ 27331 [47], розробленого ще за радянських часів, який наразі втратив чинність, поділ класів пожеж на підкласи не передбачено, натомість додано новий клас пожеж – F, що відповідає горінню жирів, які безпосередньо містяться в кухонних приладах.

До жирів належать складні ефіри, що являють собою продукти етерифікації вищих карбонових кислот (стеаринової, пальмітинової, маргаринової, олеїнової та ін.) і гліцерину (триатомний спирт). Рідкі жири рослинного походження загальновідомі як “олії”. Хімічні властивості жирів, у тому числі й характер перебігу і параметри реакції їх взаємодії з киснем повітря під час горіння багато в чому відмінні від властивостей інших рідин і твердих речовин та матеріалів. Зокрема, енергія макроергічних зв’язків у молекулах жирів набагато вища, ніж у молекулах вуглеводнів, у зв’язку з чим зруйнувати (зокрема, окислити) такі молекули важче. Висока молекулярна маса і низька леткість, потужна міжмолекулярна (ван-дер-Ваальсова) взаємодія між молекулами жирів та висока енергія хімічних зв’язків у них – це головні чинники, які зумовлюють високі значення температури спалаху олій та жирів (зазвичай понад 200 °C) і складність їх запалювання. З іншого боку, температура під час горіння таких речовин сягає 400 °C і вище, причому можливе розбризкування палаючого жиру з подальшим поширенням пожежі (зазвичай у разі спроби їх гасіння компактними струменями води) та інтенсивне виділення продуктів згоряння жирів. З цих, а також ряду інших причин тактичні прийоми гасіння пожеж вуглеводнів можуть бути недостатньо ефективними під час гасіння жирів [48].

Відомо, що для гасіння пожеж жирів у кухонному обладнанні традиційно використовують спеціальні ВР, відомі як “Wet Chemical”. Відповідно до NFPA 17A [49], з цією метою потрібно використовувати водні розчини карбонату, ацетату, цитрату натрію або суміші цих солей.

В Європі чинний стандарт щодо монтування та експлуатування АСПГ кухонного обладнання EN 16282-7 [50], який прийнято також і в Україні, але нормативний документ, який встановлює технічні вимоги до таких систем, наразі перебуває на стадії розроблення.

Разом з тим, пожежі з горінням жирів, що знаходяться поза межами кухонних приладів, згідно чинного національного стандарту [46] слід відносити до класу В.

Принципові підходи до гасіння пожеж класу В на олійно-екстракційних підприємствах, що передбачають використання дренчерних систем водяного або пінного пожежогасіння, відповідно до NFPA 36 [51], у цілому не відрізняються від гасіння пожеж за наявності розливів інших горючих рідин на промислових підприємствах, які регламентовано NFPA 16 [52], але обґрунтованих даних щодо параметрів і способів подавання ВР для гасіння саме БДП та його бінарних сумішей з ДП у доступних інформаційних джерелах не виявлено.

Нижче подано узагальнену інформацію з довідників [53, 54] щодо застосовуваності ВР та параметрів їх подавання для гасіння пожеж класу В.

Таблиця 1.3 – Довідкові дані щодо застосовуваності ВР та параметрів їх подавання для гасіння пожеж класу В згідно із [53]

Вогнегасна речовина	Сфера застосування	Обмеження щодо застосування	Параметри подавання
1	2	3	4
Розпилена вода з розміром краплин до 100 мкм	Гасіння горючих речовин і матеріалів, важких нафтопродуктів	Неможна гасити пожежі класів В2, С, D	-
Тонкорозпилена вода	Гасіння твердих горючих речовин і матеріалів, горючих рідин	Неможна гасити пожежі класів С, D	-

Закінчення таблиці 1.3

1	2	3	4
Вода аерозольного розпилу	Гасіння твердих горючих речовин і матеріалів, важких нафтопродуктів	Неможна гасити пожежі класів С, D	-
Піна середньої кратності, генерована з робочих розчинів ПУ загального призначення	Гасіння пожеж класів А та В	Неможна гасити пожежі класів С, D	За інтенсивності подавання 0,06...0,09 кг/(м ² ·с)
Піна низької кратності, генерована з робочих розчинів фторорганічних ПУ	Гасіння пожеж класів А та В (неполярні рідини)	Неможна гасити пожежі класів С, D	За інтенсивності подавання 0,03...0,09 кг/(м ² ·с)
	Гасіння пожеж класів А та В (полярні рідини)		За інтенсивності подавання 0,06...0,1 кг/(м ² ·с)
Азот	Те саме	Те саме	31 % (об.)
Галон 2402	Те саме	Те саме	2,4 % (об.)
Діоксид вуглецю	Гасіння пожеж на складах ЛЗР, у приміщеннях аккумуляторних, на електрообладнанні	Неможна гасити пожежі класу D	Мінімальна об'ємна концентрація для гасіння н-гептану 28 % (об.)
Вогнегасний ABC-порошок	Гасіння пожеж класів А, В, С	Неможна гасити пожежі класу D	-

Згідно з даними, наведеними у таблиці 1.3, для гасіння пожеж класу В можна застосовувати розпилену та тонкорозпилену воду (надалі – ТРВ), повітряно-механічну піну середньої та низької кратності, газові вогнегасні речовини (надалі – ГВР), а також вогнегасний порошок з відповідними параметрами подавання. Для розпиленої води та ТРВ, авторами довідника [53] параметри подавання не зазначено.

Також слід наголосити, що в цьому довіднику для водних розчинів неорганічних солей сфера застосування обмежується лише твердими речовинами та матеріалами, чим відповідно вводиться обмеження на їх застосовуваність для гасіння пожеж класу В. Разом з тим, результати експериментальних досліджень вказують на протилежне.

Таблиця 1.4 – Довідкові дані щодо застосовуваності ВР та параметрів їх подавання для гасіння неполярних та полярних вуглеводневих рідин згідно із [54]

Горюча речовина	Параметри подавання вогнегасної речовини				
	Вода, л/(м ² ·с)	Піна середньої кратності, л/(м ² ·с)	Діоксид вуглецю, кг/м ³	Хладон, кг/м ³	Вогнегасний порошок, кг/м ²
Неполярні вуглеводневі рідини (в т.ч. нафтопродукти)	0,20	0,08	0,70	0,22	1,42...1,50
Полярні вуглеводневі рідини (спирти, ацетон, ефіри та ін.)	0,25	0,08	0,70	0,22	1,42...1,50

Як видно із таблиці 1.4, автори довідника [54] пропонують майже ідентичні параметри подавання ВР для гасіння як неполярних вуглеводневих рідин, так і полярних.

Враховуючи наведене у таблицях 1.3, 1.4, можна припустити, що для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП слід застосовувати ВР з вказаними довідковими параметрами їх подавання, але для підтвердження чи спростування цього припущення потрібно провести експериментальні дослідження та обґрунтувати найбільш ефективні види ВР і параметри їх подавання для гасіння такого альтернативного рідкого палива.

Слід також відмітити, що в доступних джерелах інформації наявна значна кількість публікацій щодо результатів досліджень вогнегасної ефективності пін під час гасіння спиртів, сумішевого спиртовмісного та вуглеводневого палива. Зокрема, це роботи [55-64], що ще раз підтверджує відсутність обґрунтованих даних щодо параметрів подавання ВР для гасіння саме БДП та його бінарних сумішей з ДП.

1.3 Технологічні процеси виробництва біодизельного палива

Світова тенденція виробництва БДП вказує на поступове збільшення обсягів його виробництва. Так, за даними [65], у 2018 році виробництво БДП у світі досягло майже 38 млн. тон на рік. Відповідно в різних країнах з'являються й функціонують підприємства з інноваційними технологіями виробництва БДП, а також об'єкти його зберігання та реалізації.

За даними [66, 67] на теперішній час понад 20 країн світу виробляють рідкі види біопалива з різноманітної рослинної сировини. Серед цих біопалив рослинні олії, продукти їх перероблення, біометанол, біоетанол, біодиметиловий ефір, біометил-трет-бутиловий ефір, біогаз, біоводень тощо.

Джерелом рослинних олій є олійні рослини, що містять у різних своїх частинах, головним чином у насінні, рослинні жири (ріпак, гірчиця, соняшник, кунджут тощо). Як паливо для дизельних двигунів найширше застосовується паливо, одержане з використанням ріпакової олії [68]. МЕЖК знайшов широке застосування в Західній Європі. Зокрема, в Німеччині БДП випускають 12 централізованих заводів і 80 невеликих підприємств [69-71]. США є провідною країною з виробництва БДП, сировиною для виробництва якого є переважно соєва олія, на ринку таке паливо з'явилося ще в 1990-х роках. Країна передбачає на 20 % замінити нафтове ДП на БДП та використовувати його на морських судах, міському транспорті та вантажних автомобілях [72]. Ще однією з країн, в якій у промислових масштабах виробляється БДП, є Малайзія, причому для отримання МЕЖК тут використовується пальмова олія. Такий ефір застосовують як паливо для міських автобусів [73].

Не винятком у цьому процесі є й Україна, де затверджено Енергетичну стратегію України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”» [74], а ще раніше було прийнято Постанову Кабінету Міністрів України про затвердження “Програми розвитку виробництва біодизельного палива” [75]. Мета цієї програми є підвищення рівня екологічної та енергетичної безпеки України, зменшенні залежності національної економіки від імпорту нафтопродуктів, забезпеченні аграрного сектору економіки та транспортної галузі БДП.

Відповідно, на теперішній час у державі з'являються господарства, які виробляють БДП для власних потреб, використовуючи міні-заводи та дослідні установки. Серед виробників БДП та розробників обладнання для його виробництва в Україні відомі такі підприємства як ТОВ “Запорізький біопаливний завод”, Фермерське господарство в с. Луки Львівської області, ТОВ “АГРО-

НАФТА”, Фірма “ТАН”, ТОВ “Біонафта”, ВАТ “Біодизельдніпро”, ТОВ “Укрбіоенергія”, ТОВ “Елерон”, ВП НУБіП України “Агрономічна дослідна станція” та інші. Крім того, над технологію виробництва БДП з використанням каталітичних процесів активно працює УкрНДІП “МАСМА”, де розроблено безвідходну технологію отримання МЕЖК [76].

Серед методів виробництва БДП найбільш перспективним для України на сьогоднішній день вважається метод етерифікації рослинних або тваринних жирів нижчими жирними спиртами з утворенням їх моноєфірів [77, 78]. Перебіг реакції відбувається в присутності каталізатора (гідроксиду калію) за температури 80 – 90 °С. Окрім БДП, цільовим продуктом реакції є гліцерин. Виробництво у цей спосіб характеризується простотою і невисокою вартістю технологічного обладнання, проте можливі труднощі з очищенням цільового продукту від технологічних домішок. Найбільш розповсюдженою рослинною сировиною для використання у виробництві БДП, як вже відзначалося, вважається насіння ріпаку.

На рисунку 1.11 представлено загальну схему перероблення насіння ріпаку в БДП згідно [79].

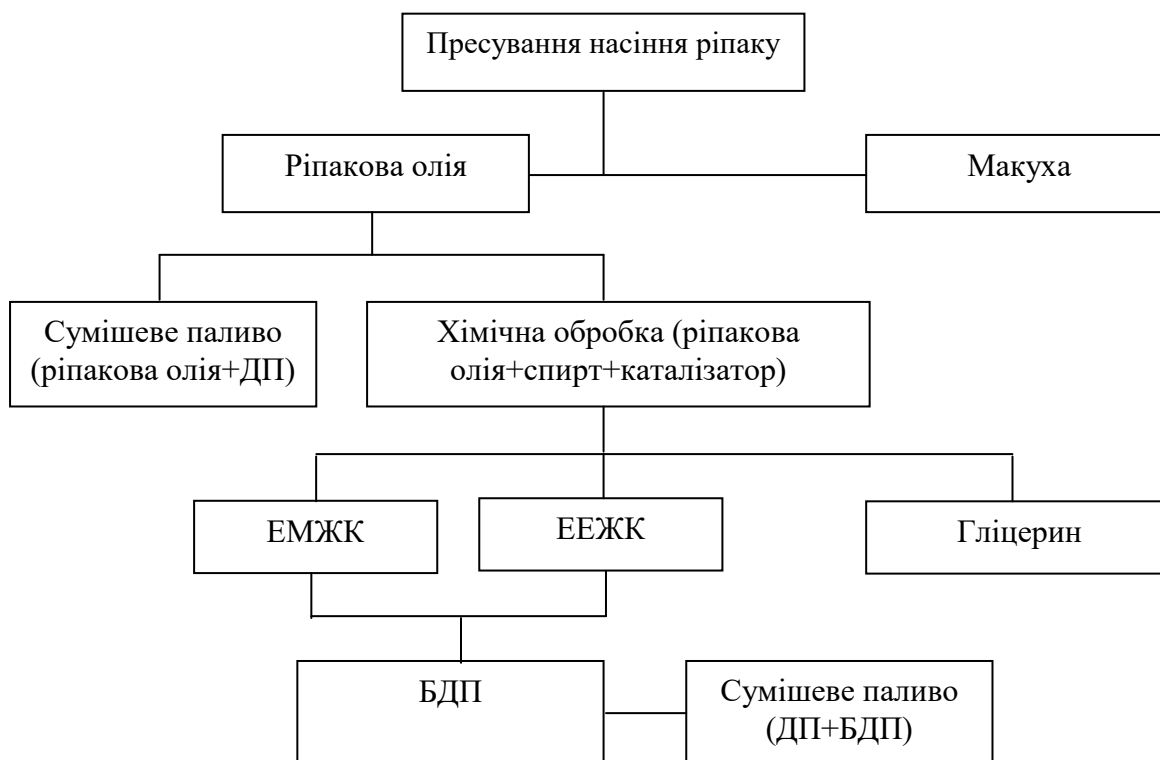
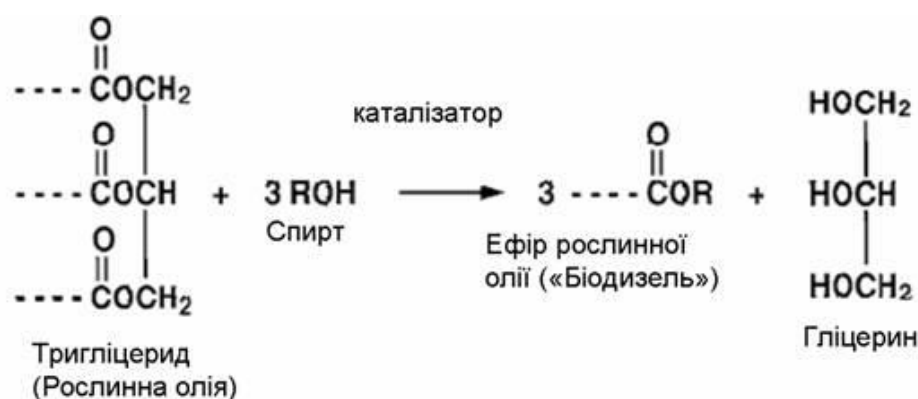


Рисунок 1.11 – Загальна схема перероблення насіння ріпаку в БДП [79]

Етерифікація рослинних або тваринних жирів нижчими жирними спиртами призводить до одержання їх моноєфірів. Її проводять в присутності каталізатора. Окрім БДП, цільовим продуктом реакції є гліцерин. Вихід БДП сягає 25...27 % від маси насіння ріпаку, використаного у виробництві. Окрім ріпакової олії, можуть використовуватись інші рослинні жири.

Виробництво у цей спосіб характеризується простотою і невисокою вартістю технологічного обладнання. На сьогоднішній день лише цей метод одержання рідкого біопалива вважається перспективним для реалізації в Україні, у зв'язку з чим існує потреба у проведенні досліджень, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки підприємств з виробництва саме цього виду біопалива, а також об'єктів його зберігання та застосування.

Під час реакції етерифікації рослинного жиру нижчим жирним спиртом (найчастіше – метиловим) утворюються складні ефіри, а також гліцеролова фаза, хімічний склад якої такий: гліцерин – 56 %, метанол (етанол) – 4 %, жирні кислоти – 13 %, вода – 8 %, неорганічні солі – 9 %, складні ефіри – 10 % [80]. Співвідношення компонентів суттєво впливає на якість біопалива. Рівняння реакції етерифікації має такий вигляд:



На рисунку 1.12 показано технологічну схему переробки рослинних олій у БДП, а схематичне зображення технологічного обладнання і руху потоків продуктів представлено на рисунку 1.13 [81, 82].

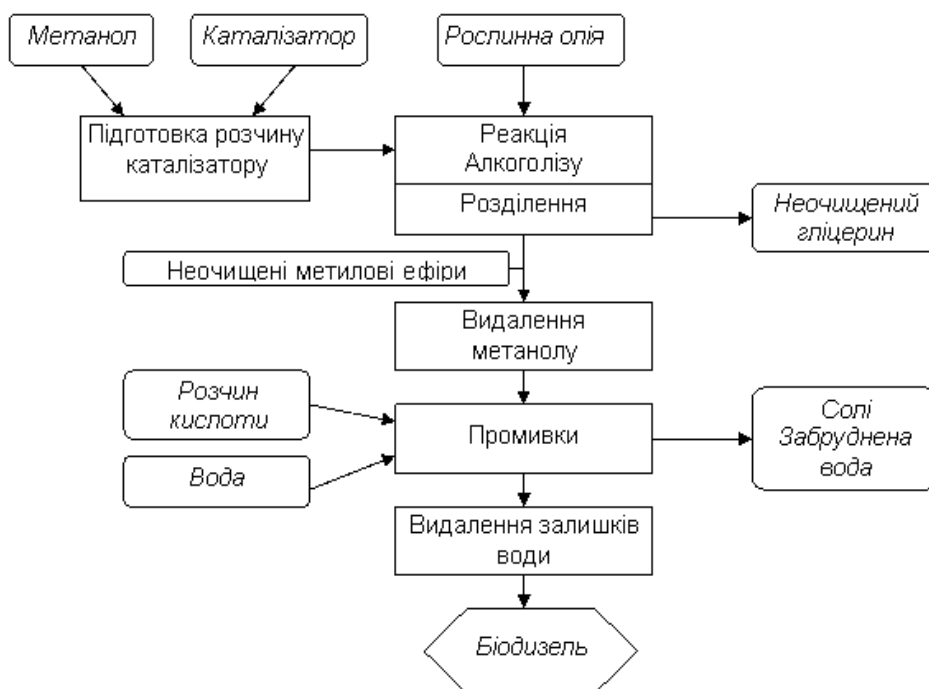


Рисунок 1.12 – Технологічна схема перероблення рослинної олії у БДП [81, 82]

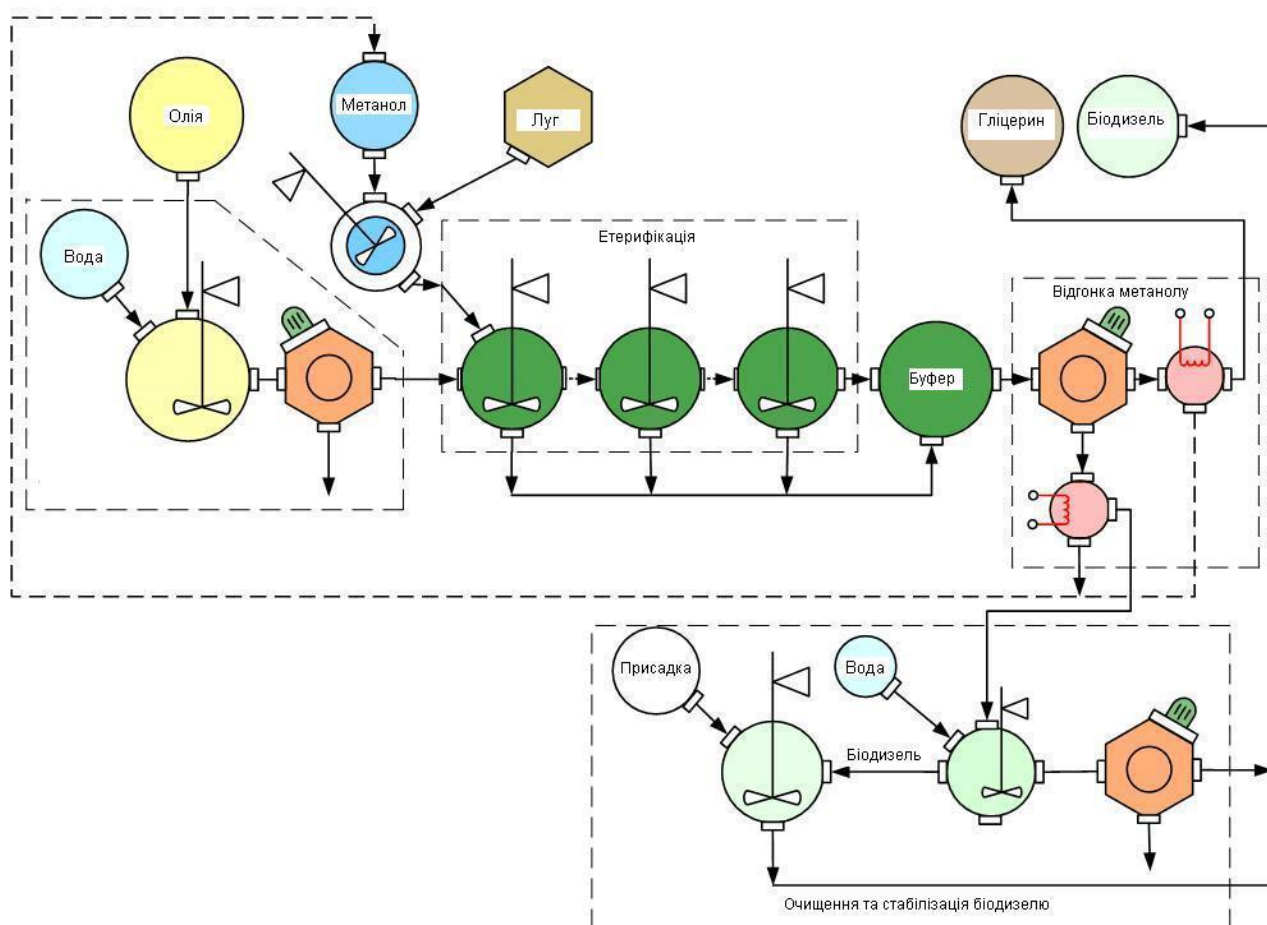


Рисунок 1.13 – Схематичне зображення технологічного обладнання і руху потоків продуктів під час виробництва БДП [81, 82]

Відповідно, рисунки 1.2 та 1.3 вказують на те, що в технологічному процесі виробництва БДП, окрім кінцевого продукту, тобто МЕЖК (ЕЕЖК), обертаються метиловий (етиловий) спирт, рослинна олія, гліцерин та каталізатор (лужний чи кислотний розчин). Показники пожежонебезпечності цих речовин згідно із довідковими даними узагальнено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Показники пожежонебезпечності речовин, що обертаються в технологічному процесі виробництва БДП, згідно із [54, 83, 84]

Характеристика	Нормативні значення				
	Олія ріпакова	Метанол	Етанол	Гліцерин	Каталізатор
Температура спалаху у закритому тиглі, °С	198	-	13	-	-
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	-	6	16	198	-
Температура займання, °С	-	13	18	203	-
Температура самозаймання, °С	318	440	400	400	-
Концентраційні межі поширення полум'я, % (об.)	-	6,98...35,5	3,6...17,7	2,6...11,3	-
Температурні межі поширення полум'я, °С	-	нижня 5 верхня 39	нижня 11 верхня 41	нижня 182 верхня 217	-
Класифікація згідно з [5]	ГР	ЛЗР	ЛЗР	ГР	НГ

Серед розглянутих у таблиці 1.5 речовин найбільш пожежонебезпечним є спирт, що класифікується як легкозаймиста речовина, потім іде ріпакова олія, що класифікується як горюча речовина, та гліцерин, що також класифікується як горюча речовина. Відповідно одним із найбільш пожежонебезпечних ділянок об'єкта з виробництва БДП, беручи до уваги те, що склад зберігання спирту проектується, як правило, як окрема наземна чи підземна споруда, слід виділити саме ділянку етерифікації, де відбувається змішування у реакційних посудинах у значних обсягах спирту, каталізатора та ріпакової олії. Також слід звернути увагу на пожежонебезпеку складів зберігання готової продукції, тобто БДП (це вертикальні або горизонтальні резервуари на відкритому майданчику), яку

зумовлено значною пожежною навантагою продукції на обмеженій ділянці простору об'єкта.

Підсумовуючи зазначене у підрозділі 1.3, у технологічному процесі виробництва чистого БДП можна виділити три основні етапи [82]:

1) приймання рослинної сировини, зберігання та підготовка насіння до екстрагування олії;

2) екстрагування олії, її очищення, нейтралізація, виморожування, інші підготовчі технологічні дії до етерифікації, зберігання та подавання на дільницю виробництва метилових (етилових) ефірів жирних кислот;

3) виробництво БДП з олії на лінії етерифікації, додавання присадок та зберігання.

Процеси, що відбуваються на першому та другому етапах, для України не є новими. У цій виробничій сфері, а саме зберігання та переробки насіння олійних рослинних культур, діє ряд державних та відомчих нормативно-правових актів, що стосуються проектування та безпечної експлуатації таких об'єктів, зокрема СНиП 02.09.02 [85], СНиП 02.09.03 [86] та ВНТП 20 [87], але процеси, які відбуваються на третьому етапі, для України є недостатньо вивченими з точки зору побудови СПБ таких об'єктів.

Що ж стосується процесів виробництва, зберігання та застосування сумішевого палива, в тому числі й забезпечення пожежної безпеки цих процесів, то на такі об'єкти в Україні, окрім [85, 86] також поширюється дія норм ВБН В.2.2-58.1 [88], ВБН В.2.2-58.2 [89], ДСТУ Б В.2.6-183 [90], ДБН А.2.2-12 [91] (у частині проектування автозаправних станцій).

До основних документів, які регламентують безпосередньо вимоги щодо пожежної безпеки таких об'єктів, слід віднести: Правила пожежної безпеки в Україні [92], Правила безпеки для олійно-жирового виробництва [93], Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів [94], Правила пожежної безпеки для підприємств з переробки ефірно-олійної сировини [95], Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників [96], ДБН В.2.5-56 [97].

1.4 Системи забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва і застосування біодизельного палива

З урахуванням зазначеного вище, у цьому підрозділі приділено увагу особливостям побудови СПБ для об'єктів виробництва БДП з олії на лінії етерифікації, додавання присадок та зберігання готової продукції.

ДСТУ 8828 [98] зазначає, що пожежна безпека об'єкта захисту повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та системою управління пожежною безпекою об'єкта (рисунок 1.14). Пожежна безпека об'єкта характеризується рівнем пожежної безпеки людей (запобігання впливу на них небезпечних чинників пожежі) та/або матеріальних цінностей, а також економічним ефектом витрат на її забезпечення, і повинна виконувати одну з таких задач:

- мінімізувати ймовірність виникнення пожежі;
- забезпечувати пожежну безпеку людей;
- забезпечувати пожежну безпеку матеріальних цінностей;
- забезпечувати пожежну безпеку людей і матеріальних цінностей одночасно.

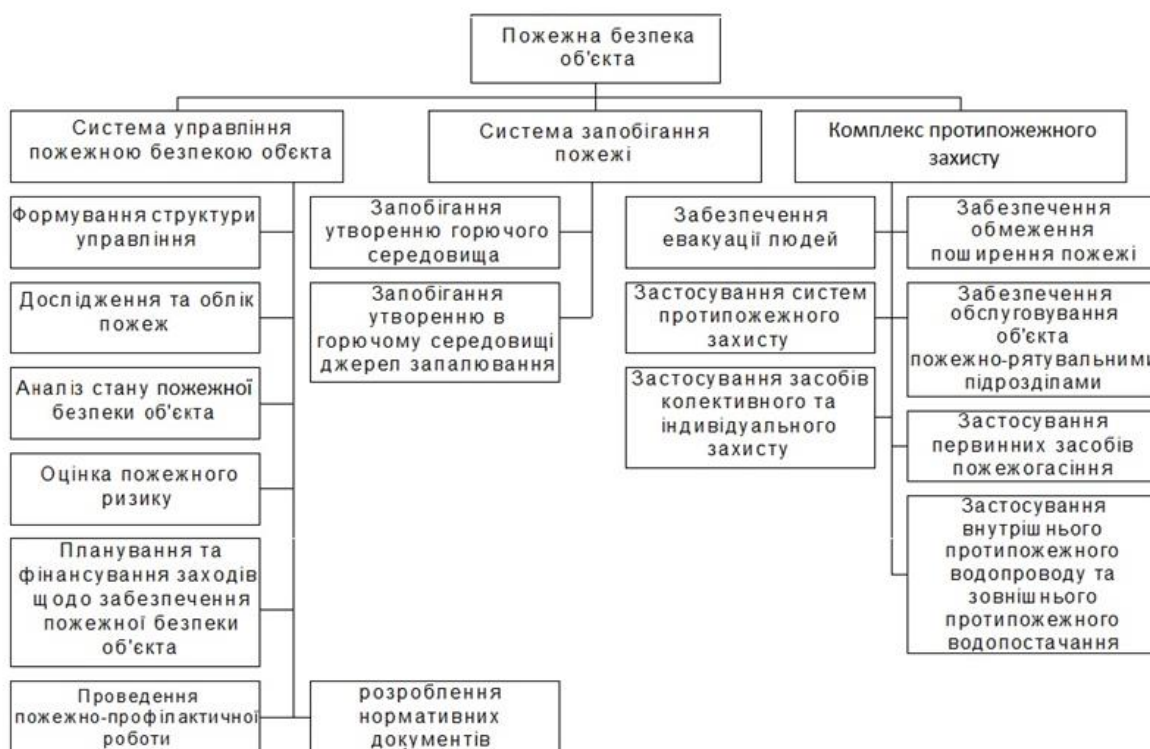


Рисунок 1.14 – Загальна структурна схема пожежної безпеки об'єкта [98]

Вимоги до складових систем та комплексів, що забезпечують пожежну безпеку об'єкта, повинні встановлюватися нормативно-правовими актами та нормативними документами. Відповідно, для об'єктів із наявністю БДП та його бінарних сумішей з ДП слід створювати СПБ, що ґрунтуються на чинних в Україні нормативно-правових актах та нормативних документах.

Разом з тим, слід відзначити, що вимоги вітчизняних нормативних документів у частині пожежної безпеки під час проектування об'єктів з виробництва та зберігання нафти і нафтопродуктів, а також олійно-жирових підприємств не містять вимог до СПБ об'єктів виробництва та застосування безпосередньо БДП. Крім того, вітчизняна нормативна база не враховує особливостей технологічного процесу виробництва БДП, пожежонебезпеки БДП та його сумішей з ДП, а також у вимогах [86, 88, 89] відсутні регламенти застосування ВР для припинення його горіння як у частині визначення їх критично необхідної кількості, так і в способі їх подавання задля припинення горіння.

Що стосується улаштування АСПГ на об'єктах з наявністю горючих рідин, то згідно із додатком А ДБН В.2.5-56 [97] АСПГ для таких об'єктів у обов'язковому порядку улаштовуються в:

- виробничих будинках категорії А та Б (за наявності приміщення площею понад 300 м² для одноповерхових будівель, незалежно від площі приміщення для двоповерхових та вищих будинків);

- виробничих будинках категорії В (усі приміщення за наявності приміщення площею понад 1000 м² для одноповерхових будівель, усі приміщення за наявності приміщення понад 500 м² для двоповерхових та вищих будинків);

- складських будинках категорії А та Б (усі приміщення за наявності приміщення площею понад 500 м²);

- складських будинках категорії В (усі приміщення за наявності приміщення площею понад 1000 м²);

- резервуарних парках зберігання спирту (за місткості понад 1000 м³);

- наземних резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів (за місткості 5000 м^3 і більше);
- складських будинках для зберігання нафтопродуктів з температурою спалаху нижче $120 \text{ }^\circ\text{C}$ у тарі (усі приміщення за наявності приміщення площею понад 500 м^2);
- складських будинках для зберігання нафтопродуктів з температурою спалаху вище $120 \text{ }^\circ\text{C}$ у тарі (усі приміщення за наявності приміщення площею понад 750 м^2);
- закритих складських будинках з легкозаймистими та горючими рідинами і приміщення з установками регенерації масел (усі приміщення за наявності приміщення площею понад 500 м^2);
- будинках та приміщеннях комплексів автозаправних станцій (усі приміщення, приміщення категорії В площею понад 20 м^2 , складські приміщення з наявністю легкозаймистих і горючих рідин незалежно від площі, приміщення постів постійного технічного обслуговування площею понад 100 м^2 , а також приміщення БП автозаправних станцій, в т. ч. газових, об'ємом 500 м^3 та більше, в яких знаходиться обладнання для перекачування палива);
- наземних виробничих приміщеннях категорії А і Б (за площі 300 м^2 і більше);
- підземних виробничих приміщеннях категорії В (за площі 500 м^2 і більше);
- наземних виробничих приміщеннях категорії В (за площі 1000 м^2 і більше);
- складських приміщеннях для зберігання нафтопродуктів з температурою спалаху нижче $120 \text{ }^\circ\text{C}$ у тарі (за площі 500 м^2 і більше);
- складських приміщеннях для зберігання нафтопродуктів з температурою спалаху вище $120 \text{ }^\circ\text{C}$ у тарі (за площі 750 м^2 і більше).

Важливо відзначити, що [97] визначає необхідність улаштування АСПГ, але не надає конкретних роз'яснень щодо вибору виду ВР в цих системах. Норми вказують на те, що вибирати АСПГ слід з урахуванням характерних небезпечних

чинників, а також впливу ВР на довкілля та людей. При цьому АСПГ повинні забезпечувати певний проміжок часу спрацювання, розрахункову інтенсивність подавання та/або необхідну концентрацію ВР, а також локалізацію пожежі протягом часу, необхідного для введення в дію оперативних сил та засобів, або її ліквідацію. Також [97] дає посилання на національні стандарти, що регламентують порядок проектування АСПГ залежно від виду ВР, зокрема [99-102].

Що стосується регламентування вітчизняними нормативними документами виду ВР та параметрів її подавання для цілей пожежогасіння для об'єктів із наявністю горючих рідин, то тут слід зазначити таке.

Нормативний документ [88] для складів нафти та нафтопродуктів зазначає, що, як правило, для таких об'єктів слід передбачати пожежогасіння повітряно-механічною піною середньої кратності. Пожежогасіння піною низької кратності допускається передбачати для резервуарів з її подаванням у шар нафти або нафтопродукту [89].

Також можуть передбачатись порошкові ВР, ТРВ та інші ВР, засоби і методи гасіння, обґрунтовані результатами науково-дослідних робіт і погоджені у встановленому порядку.

Вибір систем пожежогасіння здійснюють залежно від місткості складів нафти та нафтопродуктів, об'ємів встановлюваних одиничних резервуарів, їх розташування, організації пожежної охорони на об'єкті або можливості скупчення необхідної кількості пожежної техніки з розташованих в радіусі 3 км пожежних частин.

Для систем пожежогасіння витрати ВР визначають виходячи з інтенсивності їх подавання.

Для систем пінного пожежогасіння інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача згідно з [88] слід приймати:

– 0,08 л/с на м² – під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху 28 °С і нижче піною середньої кратності піноутворювачами загального призначення і піною низької кратності;

– 0,05 л/с на м² – під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху 28 °С і нижче піною середньої кратності піноутворювачами спеціального призначення і під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху вище 28 °С незалежно від піноутворювачів, які застосовуються.

Розрахункову тривалість гасіння слід приймати: для стаціонарних систем – 10 хв; для пересувних – 15 хв.

Для систем порошкового пожежогасіння інтенсивність подавання порошкових засобів для гасіння нафти і нафтопродуктів рекомендується приймати 0,075 кг·с⁻¹·м⁻², розрахункова тривалість гасіння 30 с [88].

Для систем пожежогасіння ТРВ інтенсивності подавання для гасіння бензину, гасу, ДП, а також нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху понад 28°С у приміщеннях з площею прорізів до 3 % від площі огорожувальних конструкцій рекомендується приймати не менше 0,08 л·с⁻¹·м⁻² [88].

У приміщеннях з площею прорізів від 3 % до 10 % від площі огорожувальних конструкцій, а також у разі використання пересувних систем інтенсивність подавання ТРВ слід приймати 0,24 л·с⁻¹·м⁻². Розрахункову тривалість гасіння приймають 60 с [88].

Для об'єктів з виробництва рослинних олій із насіння олійних культур (соняшника, сої) та підприємств з переробки ефірно-олійної сировини нормативні документи [87, 93, 95] не наводять даних щодо видів ВР та параметрів їх подавання, які слід застосовувати для цілей пожежогасіння.

Що стосується вибору первинних засобів пожежогасіння, зокрема ручних та пересувних вогнегасників, то правила [96] дають змогу власнику об'єкта залежно від площі захищеного приміщення, його категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою, а також залежно від класу можливої пожежі у цьому приміщенні вибирати водяний, водопінний, газовий або порошковий вогнегасник(и) з відповідною масою заряду ВР. Крім того, додаток 8 зазначених правил визначає придатність переносних і пересувних вогнегасників для гасіння пожеж різних класів та діапазони температур їх експлуатації. Для пожеж класу В, згідно цього додатка, придатні всі типи вогнегасників. Для водяних вогнегасників

передбачена примітка, яка зазначає, що йдеться про водяні вогнегасники із зарядом води з добавками, що забезпечують гасіння пожеж класу В. Також правила [96] наводять коефіцієнти ефективності вогнегасників за їх вогнегасною здатністю щодо гасіння модельних вогнищ пожеж класів А та В (додаток 9). Згідно цього додатка для модельних вогнищ пожежі класу В у разі гасіння з мінімально наведеними масами заряду ВР найвищий коефіцієнт має водопінний вогнегасник.

Для колісних транспортних засобів згідно з [103] передбачається наявність виключно порошкових переносних вогнегасників з масою заряду залежно від виду транспортного засобу.

Наведене вище вказує на те, що вітчизняна нормативна база щодо проектування та експлуатації об'єктів з наявністю горючих рідин для цілей пожежогасіння як найбільш ефективний засіб гасіння виділяє повітряно-механічну піну. Для гасіння пожеж колісних транспортних засобів перевага віддається вогнегасному порошку.

У роботах вітчизняних вчених, присвячених удосконаленню СПБ об'єктів різного функціонального призначення, зокрема [104-108], також ідеться про можливість підвищення рівня пожежної безпеки об'єкта шляхом ґрунтового дослідження пожежонебезпечних характеристик речовин і матеріалів, що можуть горіти у разі пожежі, вибору найбільш ефективної ВР, параметрів та технічних засобів її подавання.

Підсумовуючи вищезазначене, слід наголосити, що обмеженість, а в деяких випадках і взагалі відсутність інформації стосовно пожежонебезпечних показників БДП та його бінарних сумішей з ДП, а також даних щодо особливостей процесів припинення їх горіння із застосуванням традиційних ВР унеможливорює побудову ефективної системи запобігання пожежі та комплексу протипожежних заходів.

Зокрема, у разі відсутності даних про показники пожежонебезпечності горючої речовини неможливо передбачити дієві заходи запобігання утворенню горючого середовища на об'єкті, в приміщенні, технологічній установці тощо.

Відсутність обґрунтованих даних про допустимі ВР та нормативні параметри їх подавання у разі гасіння цих горючих рідин, безпідставно “загублює” вибір тієї чи іншої АСПГ з відповідною ВР, вибір первинних засобів пожежогасіння, а також прийнятних ВР для пожежно-рятувальних підрозділів, у разі їх залучення до процесу пожежогасіння.

З метою підтвердження чи спростування вищезазначеного доцільним є проведення комплексу досліджень щодо оцінки фактичного рівня пожежонебезпеки типового об'єкта з виробництва БДП, спроектованого за вітчизняними нормативними документами, визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпеками його основних технологічних ділянок, а також досліджень щодо обґрунтування параметрів подавання ВР для гасіння пожеж із наявністю БДП та його бінарних сумішей з ДП технічними засобами пожежогасіння.

1.5 Шляхи удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива, ідея роботи

Враховуючи зазначене у попередньому підрозділі, очевидним є те, що удосконалення СПБ об'єктів виробництва та застосування БДП можливе через удосконалення складових усіх трьох підсистем, що відображені на рисунку 1.14. Разом з тим, враховуючи реальний стан запровадження альтернативної енергетики на території України, першочергово доцільно звернути увагу на другу та третю підсистеми, що стосуються запобігання пожеж та комплексу протипожежного захисту для таких об'єктів, що тільки проектуються або перебувають на стадії введення в експлуатацію.

Змістовне наповнення цих підсистем, зокрема, конкретними організаційними заходами, проектними, технічними та технологічними рішеннями тощо дозволяє впливати на рівень пожежонебезпеки цих об'єктів. Це стосується в тому числі й ґрунтовного вивчення технологічних процесів на об'єктах, пожежонебезпечності речовин, що там обертаються, ефективних технічних засобів пожежогасіння та ВР.

Зважаючи на це, ідея цієї роботи полягає в удосконаленні СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП шляхом урахування його пожежонебезпечності й особливостей процесів припинення горіння у разі взаємодії з ВР.

1.6 Мета і задачі досліджень

Метою цієї дисертаційної роботи є розкриття особливостей впливу чинників на пожежонебезпечність БДП і його бінарних сумішей з ДП, параметри процесів горіння, процеси його припинення у разі застосування ВР, а також на ефективність СПБ об'єктів виробництва та застосування зазначених видів палива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП та виявити можливі шляхи їх удосконалення;
- розробити методологію проведення досліджень, а також методики проведення експериментальних досліджень показників пожежонебезпечності БДП, процесів його горіння та припинення горіння у разі використання ВР;
- провести оцінювання рівня пожежонебезпеки типового об'єкта виробництва БДП і визначити можливі шляхи удосконалення СПБ такого об'єкта;
- провести експериментальні дослідження впливу співвідношення компонентів БДП у його бінарних сумішах з ДП на показники їх пожежонебезпечності й параметри процесів горіння;
- провести експериментальні дослідження та обґрунтувати види ВР і параметри їх подавання для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП;
- розробити пропозиції щодо удосконалення СПБ об'єктів виробництва і застосування БДП, а також рекомендовані параметри подавання ВР для пожежогасіння на таких об'єктах.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дисертаційні дослідження проводили за методологією, схематичне зображення якої наведено на рисунку 2.1.

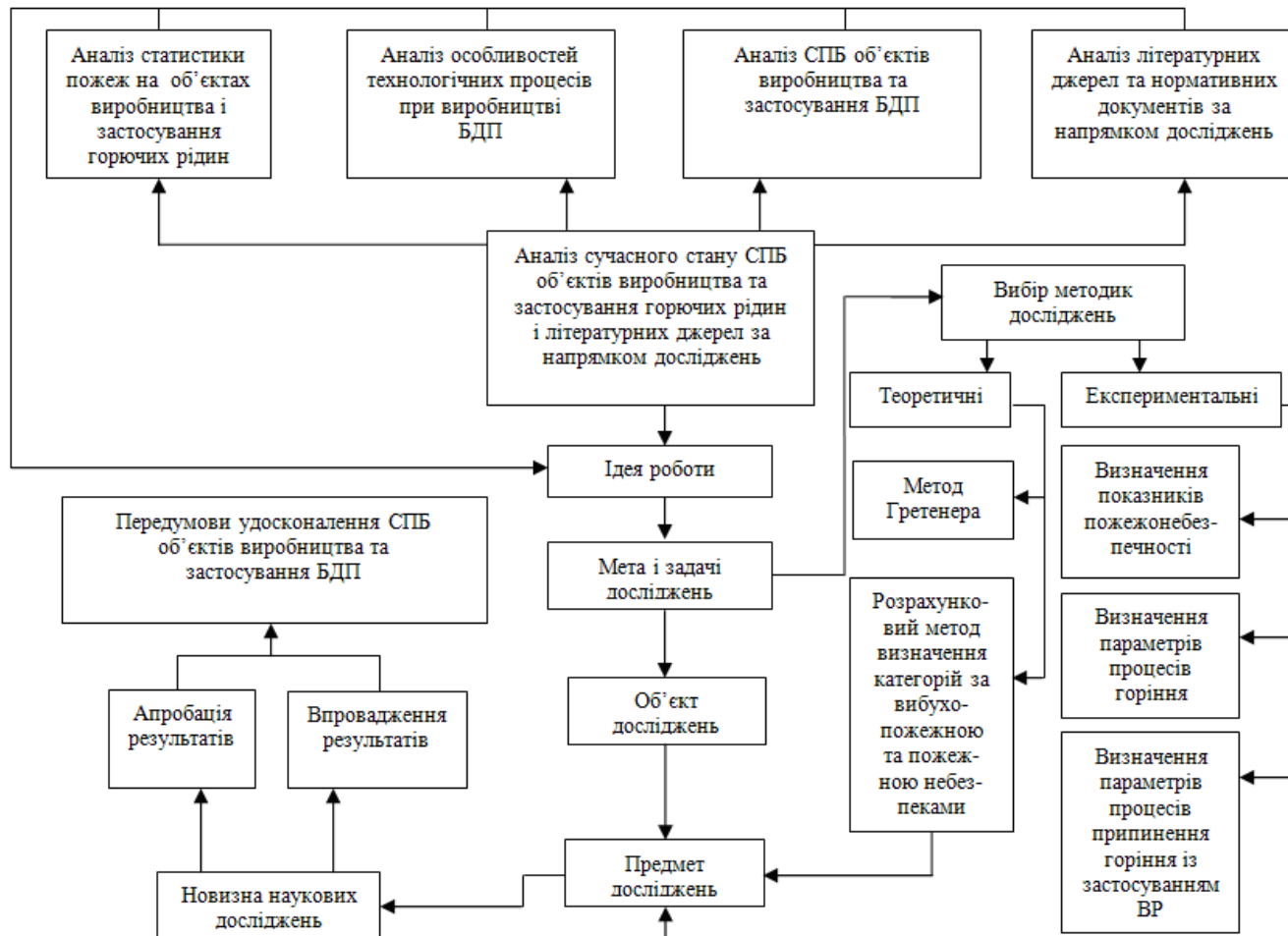


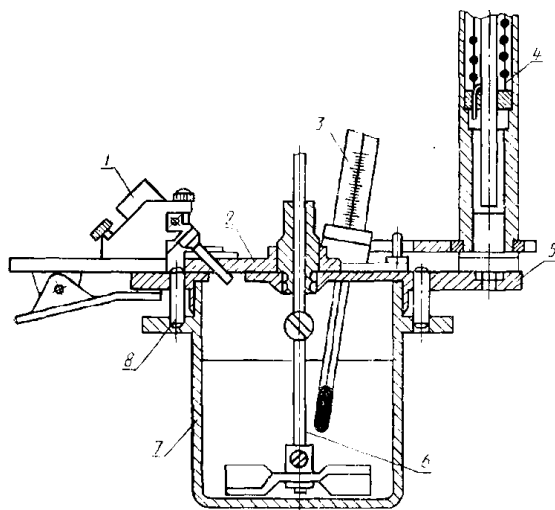
Рисунок 2.1 – Схематичне зображення методології проведення дисертаційних досліджень

Згідно з цією методологією досягнення мети роботи забезпечується проведенням аналітичних досліджень статистики пожеж на об'єктах з наявністю горючих рідин, особливостей реалізованих технологічних процесів їх виробництва, СПБ таких об'єктів тощо. Крім цього, передбачене проведення теоретичних досліджень із застосуванням методів оцінки рівня пожежонебезпеки об'єкта виробництва БДП та визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпеками його окремих технологічних дільниць, а також комплексу експериментальних досліджень, детальну інформацію про які наведено нижче.

2.1 Методологія та методи досліджень пожежонебезпечності біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом

Лабораторні дослідження показників пожежонебезпечності (температури спалаху у закритому та відкритому тиглях, температури займання, температури самозаймання) БДП та його бінарних сумішей з ДП проводили із застосуванням стандартизованих методів випробувань згідно з п. 7.5-7.7, 7.9 ДСТУ 8829 [5].

Дослідження з визначення температури спалаху у закритому тиглі проводили із застосуванням установки, схематичне зображення якої представлено на рисунку 2.2.



1 – пальник; 2 – заслінка; 3 – термометр; 4 – пружинний механізм; 5 – кришка;
6 – мішалка; 7 – тигель; 8 – штифт-фіксатор кришки

Рисунок 2.2 – Схематичне зображення установки для визначення температури спалаху в закритому тиглі [5]

Сутність методу дослідження полягає у нагріванні певної кількості речовини з заданою швидкістю, періодичному запалюванні парів, що виділяються, та встановленні факту наявності чи відсутності спалаху за фіксованої температури. Спалах парів над поверхнею кришки тигля не враховується.

Температура спалаху у закритому тиглі – це найменша температура, за якої під впливом полум'я газового пальника виникає полуменеве горіння (спалах) над частиною або над усією поверхнею речовини, яке триває протягом менше ніж 5 с після його видалення.

За температуру спалаху приймали середнє арифметичне значення температур, отриманих на трьох зразках, з поправкою на атмосферний тиск, що розраховується за формулою:

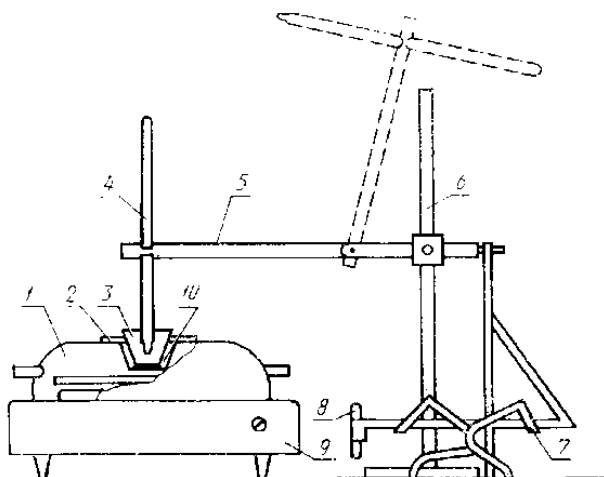
$$T_{\text{сн.зТ}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} + 0,27 \cdot (101,3 - p_a), \quad (2.1)$$

де, $T_{\text{сн.зТ}}$ – температура спалаху у закритому тиглі, °С;

T_1, T_2, T_3 – виміряні значення температур спалаху у закритому тиглі, °С;

p_a – атмосферний тиск, кПа.

Дослідження з визначення температури спалаху у відкритому тиглі проводили із застосуванням установки, схематичне зображення якої представлено на рисунку 2.3.



1 – нагрівальна ванна; 2 – кільце з пароніту; 3 – тигель; 4 – термометр;
5 – тримач термометра; 6 – штатив; 7 – підставка для пальника; 8 – газовий пальник;
9 – нагрівальний пристрій; 10 – азбестова прокладка

Рисунок 2.3 – Схематичне зображення установки для визначення температури спалаху в відкритому тиглі [5]

Сутність методу дослідження полягає у нагріванні певної кількості речовини з заданою швидкістю, періодичному запалюванні парів, що виділяються, та встановленні факту наявності чи відсутності спалаху за фіксованої температури.

Температура спалаху у відкритому тиглі – це найменша температура, за якої під впливом полум'я газового пальника виникає полуменеве горіння (спалах) над

частиною або над всією поверхнею речовини, яке триває протягом менше ніж 5 с після його видалення.

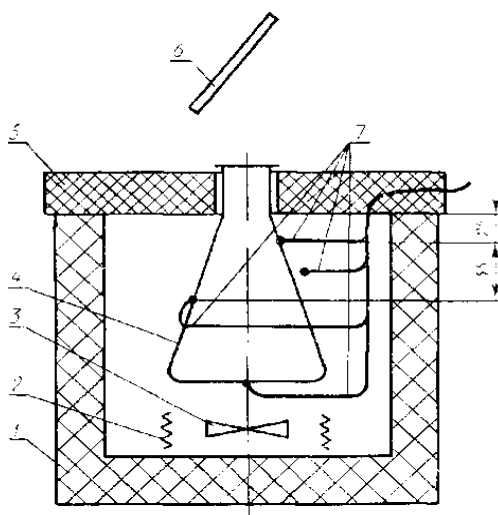
За температуру спалаху приймали середнє арифметичне значення температур, отриманих на трьох зразках, з поправкою на атмосферний тиск, що розраховується аналогічно з формулою (2.1).

Дослідження з визначення температури займання проводили із застосуванням установки, зображеної на рисунку 2.3.

Сутність методу дослідження полягає у нагріванні певної кількості рідини з заданою швидкістю, періодичному запалюванні парів, що виділяються, та встановленні факту наявності чи відсутності займання за умови фіксованої температури. Температура займання – це температура, за якої під впливом полум'я газового пальника виникає полуменеве горіння парів рідини та триває протягом не менше ніж 5 с після його видалення.

За температуру займання приймали середнє арифметичне значення температур, отриманих на трьох зразках, з поправкою на атмосферний тиск, що розраховується аналогічно з формулою (2.1).

Дослідження з визначення температури самозаймання проводили із застосуванням установки, зображеної на рисунку 2.4.



1 – корпус термостата; 2 – електрична спіраль нагрівача; 3 – крильчатка вентилятора;
4 – реакційна посудина; 5 – кришка термостата; 6 – дзеркало; 7 – термопар

Рисунок 2.4 – Схематичне зображення установки для визначення температури самозаймання [5]

Сутність методу дослідження полягає у введенні визначеного об'єму речовини у нагрітий до певної температури об'єм і встановленні факту наявності чи відсутності samozаймання за фіксованої температури. Випробовування повторюють з різними температурами й об'ємами проб до досягнення мінімальної температури samozаймання.

Температура samozаймання – це найменша температура навколишнього середовища, за якої в умовах спеціальних випробувань спостерігається samozаймання речовини.

Основну серію досліджень проводили з кількістю речовини, samozаймання якої відбувалося найлегше, через інтервали температур $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до того часу, доки не була визначена найменша температура, за якої спостерігалось samozаймання зразка, а за температури на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ нижче у разі п'ятикратного повторювання дослідження samozаймання не відбувалося. За температуру samozаймання досліджуваної речовини приймали найменшу температуру, за якої спостерігалось samozаймання зразка речовини.

Непряме визначення групи горючості досліджуваних зразків палива проводили згідно п. 2.1 та п. 4.2.2 ДСТУ 8829 [5] за результати експериментально встановлених температур спалаху, займання та samozаймання.

Відповідно до зазначеного у цих пунктах, за наявності температури займання рідину відносять до групи горючих.

За відсутності температури займання та наявності температури samozаймання рідину відносять до групи важкогорючих.

За відсутності температури спалаху, займання, samozаймання рідину відносять до групи негорючих. Горючі рідини з температурою спалаху не більше ніж $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ у закритому тиглі або не більше ніж $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ у відкритому тиглі відносять до легкозаймистих. Особливо небезпечними називають легкозаймісті рідини з температурою спалаху не більше $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Дослідження з визначення вищої теплоти згоряння (Q_{PCS}) БДП та його бінарних сумішей з ДП проводили із застосуванням стандартизованого методу випробувань згідно з ДСТУ EN ISO 1716 [6].

Сутність цих досліджень полягає у спалюванні аналітичної проби речовини у бомбовому калориметрі за стандартизованих умов у постійному об'ємі в атмосфері кисню. Вищу теплоту згоряння речовини обчислюють за даними підвищення температури, що спостерігається, з урахуванням теплових втрат і прихованої теплоти пароутворення води.

2.2 Методологія та методи досліджень параметрів процесів горіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом

Експериментальні дослідження параметрів процесів горіння (температури полум'я та масової швидкості вигорання) БДП та його бінарної суміші у кількості 30 % (об.) з ДП, а також ДП проводили із застосуванням стандартизованого модельного вогнища пожежі 34В, що являє собою металеве деко круглої форми площею поверхні горіння $1,07 \text{ м}^2$ з висотою борта 230 мм, яке розміщувалось на вагах, встановлених у випробувальному боксі на рівній твердій поверхні.

Для визначення температури полум'я використовували вимірювальну систему на базі модуля типу ADAM 4118 та три термопари типу ТХА (Т1, Т2, Т3), встановлені за допомогою штативів уздовж вертикальної осі дека модельного вогнища пожежі. Місця встановлення термопар визначали за результатами попередніх дослідів щодо можливої максимальної висоти полум'я.

На рисунку 2.5 зображено схему розміщення обладнання для досліджень температури полум'я та масової швидкості вигорання досліджуваних зразків палива.

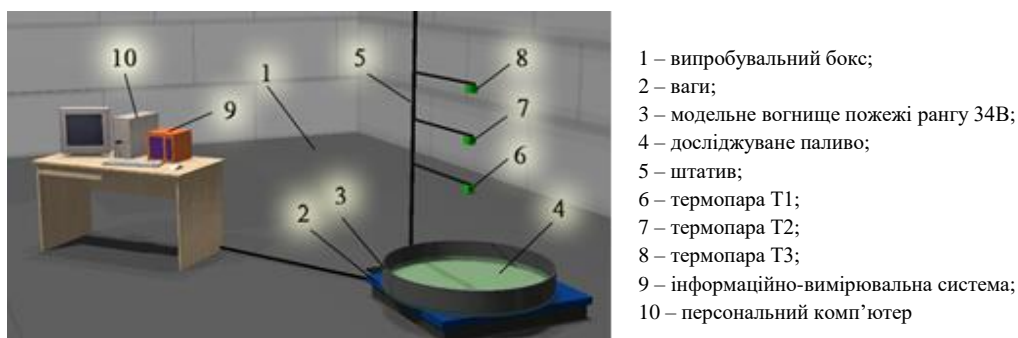


Рисунок 2.5 – Схема розміщення обладнання для дослідження параметрів процесів горіння зразків палива

Зміну маси кожного зразка палива упродовж проміжку часу горіння фіксували за допомогою ваг. Дискретність вимірювання маси складала одне вимірювання кожні 10 с. Дискретність опитування термопар, за допомогою яких визначалась температура полум'я, становила одне вимірювання кожену секунду. За температуру полум'я приймали найбільше значення температури, вимірної однією з трьох термопар упродовж проміжку часу горіння зразка палива.

Для визначення масової швидкості вигорання зразків палива застосовано підхід, описаний у роботі [110], який передбачає оброблення отриманих експериментальних даних, а саме набір пар значень (тривалість горіння – маса зразка) за допомогою математичного процесора MATLAB 2013 та побудови рівняння регресії у вигляді полінома шостого ступеня:

$$m(t)=a \cdot t^6+b \cdot t^5+c \cdot t^4+d \cdot t^3+e \cdot t^2+g \cdot t+j, \quad (2.2)$$

де, t – час, с;

a, b, c, d, e, g, j – коефіцієнти рівняння регресії.

Масову швидкість вигорання (Gm) визначали як похідну маси $m(t)$:

$$Gm=dm/dt \quad (2.3)$$

З метою дослідження зміни масової швидкості вигорання в часі проводили аналіз функції $Gm(t)$ через знаходження її екстремумів у заданому діапазоні значень проміжків часу, що відповідало тривалості проведення експериментальних досліджень.

2.3 Методологія та методи досліджень ефективності вогнегасних речовин для гасіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом

Процеси взаємодії піни середньої кратності з полум'ям під час гасіння досліджуваних зразків палива проводили згідно з Методикою № 2000/2-ПУ-10 УкрНДПБ [10] та положеннями п. 10.7 ДСТУ 3789 [7]. Ці документи передбачають визначення тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі класу В

циліндричної форми за фіксованої витрати піни з кратністю близько 100. Досліди проводили з метою визначення критичної інтенсивності ($I_{кр}$) подавання ВР.

На рисунку 2.6 зображено схему установки для визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною середньої кратності.

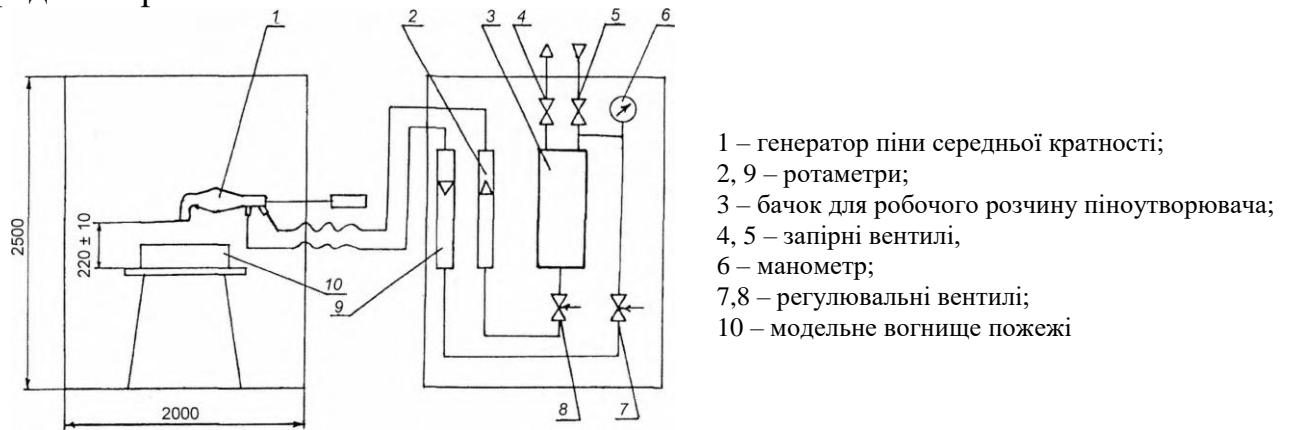


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення установки для визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача загального призначення у разі гасіння піною середньої кратності [7]

Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача (I) під час гасіння розраховували за формулою (2.4), критичну інтенсивність його подавання ($I_{кр}$) – за формулою (2.5) [7]

$$I = \frac{q}{S} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{q}{d^2} = 1,27 \cdot \frac{q}{d^2} \quad (2.4)$$

де, q – витрата робочого розчину, $\text{дм}^3/\text{с}$;

S – площа поверхні модельного вогнища пожежі, м^2 ;

d – діаметр модельного вогнища пожежі, м .

$$I_{кр} = \frac{I_1 + I_2}{2} = 0,64 \cdot q \cdot \left(\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} \right) \quad (2.5)$$

де, I_1 – інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, за якої гасіння модельного вогнища пожежі настає не більше ніж за 300 с, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

I_2 – інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, за якої гасіння модельного вогнища пожежі не настає або настає у проміжок часу понад 300 с, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

d_1 – діаметр модельного вогнища пожежі, у яке робочий розчин піноутворювача подається з інтенсивністю I_1 , м;

d_2 – діаметр модельного вогнища пожежі, у яке робочий розчин піноутворювача подається з інтенсивністю I_2 , м.

Процеси взаємодії піни низької кратності генерованої з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення, з полум'ям під час гасіння досліджуваних зразків палива, проводили згідно з Методикою УкрНДПБ № 64 [11]. Методика передбачає визначення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання модельних вогнищ пожежі класу В циліндричної форми (для піноутворювачів спеціального призначення). Результат гасіння вважається позитивним, якщо припинення горіння модельного вогнища пожежі досягнуто під час подавання піни або сталося протягом (300 ± 5) с після завершення її подавання, а проміжок часу до повторного займання перевищує 60 с. Піну подавали “жорстким” способом у центральну частину модельного вогнища пожежі. Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача (I) під час гасіння розраховували за формулою (2.4).

На рисунку 2.7 зображено схему установки для визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача спеціального призначення у разі гасіння піною низької кратності.

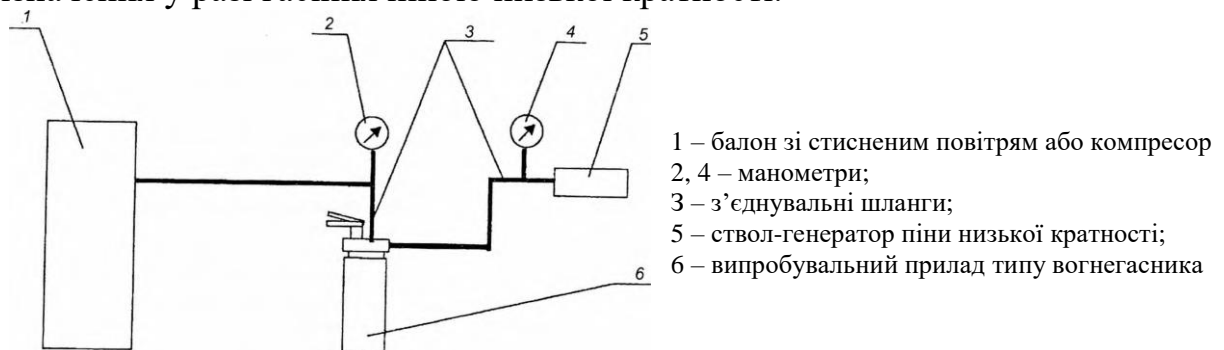


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення установки для визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача спеціального призначення у разі гасіння піною низької кратності [11]

Процеси взаємодії вогнегасного порошку з полум'ям під час гасіння досліджуваних зразків палива проводили згідно з п. 8.3 ДСТУ EN 615 [8], застосовуючи стандартизовані підходи до оцінювання вогнегасної здатності переносних вогнегасників.

Сутність досліджень полягає у гасінні модельного вогнища рангу 34В вогнегасним порошком у кількості $(2,0 \pm 0,1)$ кг, що подається оператором через стандартний розпилювач переносного порошкового вогнегасника із місткістю корпусу $(3,5 \pm 0,2)$ дм³. Фіксується тривалість гасіння та маса витраченого вогнегасного порошку. За отриманими даними розраховують інтенсивність подавання вогнегасного порошку (I) та питому витрату вогнегасного порошку на одиницю площі горіння (Q).

Інтенсивність подавання вогнегасного порошку (I) розраховували за формулою [8]

$$I = \frac{m}{\tau \cdot S} \quad (2.6)$$

де, m – маса витраченого вогнегасного порошку, кг;

τ – тривалість гасіння, с;

S – площа поверхні горіння модельного вогнища пожежі, м².

Питому витрату вогнегасного порошку на одиницю площі горіння (Q) розраховували за формулою [8]

$$Q = \frac{m}{S} \quad (2.7)$$

де, m – маса витраченого вогнегасного порошку, кг;

S – площа поверхні горіння модельного вогнища пожежі, м².

Процеси взаємодії газових вогнегасних речовин (надалі – ГВР) класу інгібіторів горіння та інертних розріджувачів під час гасіння досліджуваних зразків палива проводили згідно з п. 10.3 ДСТУ 3958 [9].

Сутність досліджень полягає у визначенні мінімальних вогнегасних концентрацій досліджуваних ГВР за допомогою установки МВК-П, схематичне зображення якої представлено на рисунку 2.8.

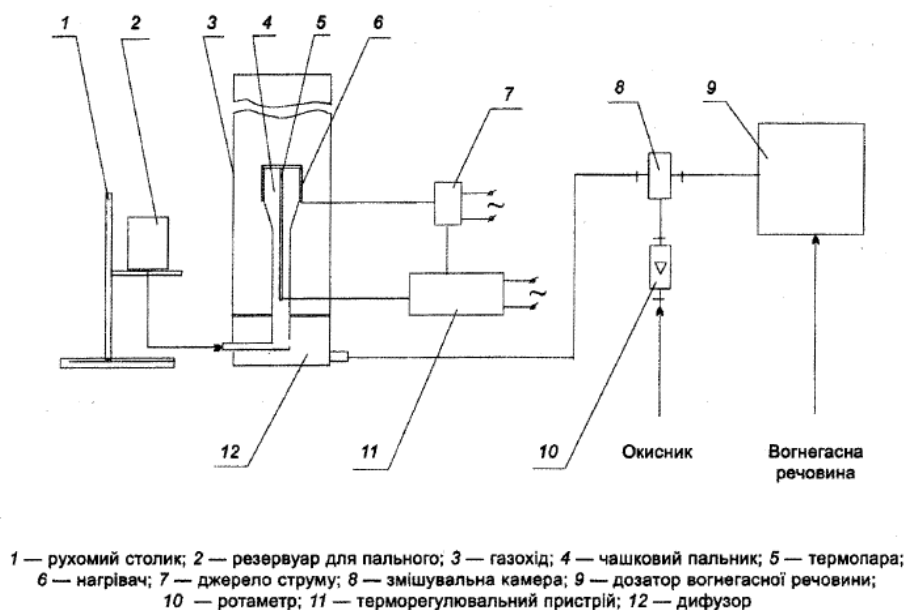


Рисунок 2.8 – Схематичне зображення установки з визначення мінімальних вогнегасних концентрацій ГВР [9]

Метод “чашечного пальника”, що реалізується на цій установці, ґрунтується на визначенні мінімального співвідношення ГВР і повітря в суміші, що рухається вгору навколо модельного осередку дифузійного горіння, за якого досягається гасіння цього осередку.

Як пальне для “чашечного пальника” замість н-гептану використовували досліджувані зразки палива.

Значення мінімальної вогнегасної концентрації ГВР ($C_{м.в.}$) визначали за формулою [9]

$$C_{м.в.} = \frac{V_G \cdot 100}{(V_G + V_O)} \quad (2.8)$$

де, V_G – витрата ГВР, за якої досягається гасіння полум’я в модельному осередку, $\text{дм}^3/\text{с}$;

V_O – витрата окисника, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Розрахункову витрату ГВР (V_p , $\text{кг}/\text{м}^3$) визначали, застосовуючи рівняння газового стану.

Процеси взаємодії ТРВ та тонкорозпилених водних вогнегасних речовин (надалі – ВВР) під час гасіння досліджуваних зразків палива проводили згідно з Експерс-методикою УкрНДІЦЗ № 2013/166-1Ц [12]. Сутність досліджень полягає у визначенні критичної інтенсивності ($I_{кр}$) подавання ТРВ та тонкорозпилених ВВР як відношення витрати до максимальної площі модельного вогнища пожежі класу В, який вдалося погасити за період часу не більше 30 с.

На рисунку 2.9 зображено схему установки для визначення критичної інтенсивності подавання ТРВ та тонкорозпилених ВВР.

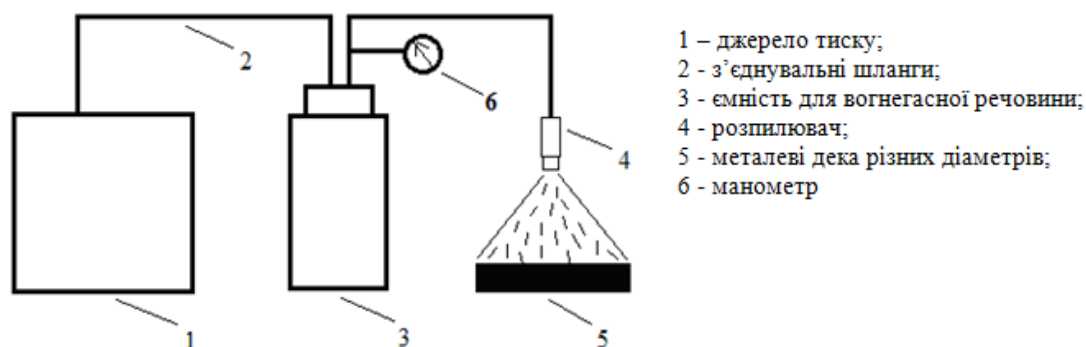


Рисунок 2.9 – Схематичне зображення установки з визначення критичної інтенсивності подавання ТРВ та тонкорозпилених ВВР

Тиск у посудині для ВР складав $P = 0,6$ МПа, витрата ВР через розпилювач (рідкопаливна форсунка “Danfoss” OD, S, 45°) $q = 0,391 \div 0,421$ см³/с, тривалість вільного горіння горючої речовини $T = 30$ с, діаметри модельних вогнищ пожежі класу В $d = 0,100 \div 0,250$ м.

Перед початком проведення досліджень для мінімальних концентрацій кожної з застосовуваних ВР методом, регламентованим стандартом ДСТУ СЕН/TS 14972 [111], вимірювали та розраховували середні значення показника розміру краплин ($D_{v0,9}$).

Розрахунок критичних інтенсивності подавання ТРВ та тонкорозпилених ВВР проводили за формулою (2.4).

Достовірність результатів експериментальних досліджень із застосуванням описаних вище методів досліджень забезпечувалася застосуванням метрологічно-верифікованого устаткування та повірених (каліброваних) засобів вимірювальної

техніки, наявних в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту, які використовуються у випробувальній діяльності органу з оцінки відповідності продукції у сфері пожежної безпеки, що акредитований Національним агентством з акредитації Мінекономрозвитку України на відповідність ДСТУ ISO/IEC 17025 [112].

2.4 Методика розрахунку рівня пожежонебезпеки об'єкта методом Гретенера та вибухопожежонебезпеки його основних технологічних дільниць

Одним з інструментів для здійснення оцінки стану забезпечення пожежної безпеки об'єктів різного функціонального призначення може бути використаний метод Гретенера, наведений у [3], який протягом тривалого часу (близько 30 років) коригувався, удосконалювався та апробовувався спеціалістами різних країн.

Метод дозволяє:

- оцінити потенціальну небезпеку виникнення пожежі;
- оцінити реальну пожежонебезпеку об'єкта;
- визначити необхідні заходи для забезпечення пожежної безпеки об'єкта;
- визначити вимоги до вогнестійкості будівельних конструкцій;
- визначити придатність об'єкта до використання за іншим призначенням;
- визначити тарифи під час страхування на випадок виникнення пожежі.

Особливістю методу є необхідність під час підготовки вихідних даних для розрахунку обов'язково врахувати вимоги норм та правил, які діють на території конкретної країни [3].

За методом Гретенера основними показниками пожежної небезпеки об'єкта є чисельні значення параметрів Π (пожежонебезпека) та $У$ (рівень пожежонебезпеки), які розраховують за такими формулами [3]

$$\Pi = P \cdot A / 3 = O_n / 3 \quad (2.9)$$

$$У = \Pi / \Pi_0 \quad (2.10)$$

де Π – пожежонебезпека об'єкта;

U – рівень пожежонебезпеки об'єкта;

P – потенційна небезпека, що враховує вплив всіх основних чинників, які впливають на виникнення і розвиток пожежі;

A – фактор активації, що відображує ймовірність виникнення пожежі, пов'язану з використанням об'єкта;

Op – загроза виникнення пожежі;

Z – чинник пожежозахищеності, що враховує вплив наявних протипожежних заходів;

P_d – допустиме значення пожежонебезпеки, величина якого враховує загрозу для людей.

Якщо розрахункове значення Π не перевищує P_d та, відповідно, $U < 1$, то об'єкт вважається достатньо захищеним. В іншому випадку, тобто якщо $U > 1$, об'єкт має підвищену пожежонебезпеку.

Потенційна небезпека P розраховується як добуток таких чинників [3]

$$P = q \cdot c \cdot r \cdot k \cdot i \cdot e \cdot g \quad (2.11)$$

де, q – чинник рухомої пожежної навантаги;

c – чинник горючості;

r – чинник димоутворення;

k – чинник токсичності;

i – чинник нерухомої пожежної навантаги;

e – чинник поверховості або висоти приміщення;

g – чинник розмірів і площі об'єкта.

Пожежозахищеність Z розраховується як добуток чинників, що відображають наявність на об'єкті захисних заходів [3]

$$Z = N \cdot S \cdot F \quad (2.12)$$

де N – нормативні заходи, розраховується як добуток чинників, що відображають виконання заходів, передбачених діючими в країні нормативами щодо забезпечення пожежної безпеки [3]

$$N = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_n \quad (2.13)$$

де $n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_n$ враховують наявність і стан первинних засобів пожежогасіння, систем протипожежного захисту, наявність і стан систем внутрішнього та зовнішнього водопостачання, наявність персоналу, що пройшов протипожежний інструктаж.

Спеціальні заходи S розраховуються як добуток чинників, що відображають наявність заходів з виявлення пожежі та боротьби з нею [3]

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \dots \cdot S_n \quad (2.14)$$

де, $S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \dots \cdot S_n$ враховують наявність засобів виявлення пожежі, засобів передавання сигналу пожежної тривоги на пожежний пост, сили і засоби пожежних підрозділів, які обслуговують об'єкт, проміжок часу до прибуття пожежних підрозділів на об'єкт у разі виникнення пожежі, наявність і тип автоматичних систем пожежогасіння, наявність систем тепло- та димовидалення.

Будівельні захисні заходи F розраховується як добуток чинників, що відображають вогнестійкість будівельних конструкцій приміщень [3]

$$F = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot \dots \cdot f_n \quad (2.15)$$

де $f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot \dots \cdot f_n$ враховують вогнестійкість несучих конструкцій, а також вплив стін, дверей і вікон, що обмежують протипожежний відсік.

Допустиме значення пожежонебезпеки P_d розраховується за формулою [3]

$$Pd = 1,3 \cdot Kl \quad (2.16)$$

де 1,3 – числове значення “нормальної” пожежонебезпеки;

Kl – поправкою коефіцієнт, що враховує підвищену загрозу для людей у спорудах.

Якщо розрахункове значення P не перевищує Pd та, відповідно, $U < 1$, то об’єкт вважається достатньо захищеним. В іншому випадку, тобто якщо $U > 1$, то об’єкт має підвищену пожежонебезпеку [3].

На національному рівні в Україні основою для встановлення нормативних вимог до конструктивних та планувальних рішень на промислових об’єктах, а також інших питань забезпечення їх вибухопожежобезпеки є визначення категорій приміщень, будинків виробничого, складського й лабораторного призначення і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Категорія виробничого і складського приміщення, будинку та зовнішньої установки за вибухопожежною та пожежною небезпекою є основним показником рівня їх пожежної небезпеки. Підхід щодо визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою в Україні регламентований ДСТУ Б В.1.1-36 [4]. Сфера застосування цього нормативного документа визначає, що він установлює порядок визначення категорій приміщень і будинків (або частин будинків у межах протипожежних відсіків) виробничого та складського призначення, лабораторій, а також зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою залежно від кількості й пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, що в них знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництв та об’ємно-планувальних рішень, наявності технічних засобів, що запобігають виникненню аварійних ситуацій [4]. Стандарт застосовують на стадії проектування, експлуатації, реконструкції, технічного переоснащення та зміни технологічного процесу у

приміщеннях, будинках та зовнішніх установках незалежно від форм власності та відомчої належності, розробки відомчих норм технологічного проектування та переліків приміщень з визначенням категорій за вибухопожежною та пожежною безпекою.

Сутність визначення категорій за вибухопожежною та пожежною безпекою полягає в такому.

За вибухопожежною та пожежною безпекою приміщення та будинки характеризують за категоріями А, Б, В, Г та Д, а зовнішні установки – за категоріями Аз, Бз, Вз, Гз та Дз. Ці категорії визначають для найсприятливішого щодо виникнення пожежі або вибуху періоду, виходячи з фізичного стану горючих речовин і матеріалів, які знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) в апаратах, приміщеннях та зовнішніх установках, їх кількості, пожежовибухонебезпечних властивостей та особливостей технологічних процесів.

Визначення пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів проводиться на підставі результатів випробувань або розрахунків за стандартними методиками з урахуванням параметрів стану (тиску, температури тощо). Під час розрахунків допускається використання довідкових даних та даних з паспорта безпечності хімічної продукції.

У таблицях 2.1 та 2.2 наведено категорії приміщень та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою, а також характеристики речовин, які обертаються в цих приміщеннях залежно від категорії.

Таблиця 2.1 – Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою [4]

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
1	2
А вибухопожежо- небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище ніж 28°C у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий

Закінчення таблиці 2.1

1	2
	надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа, і/або речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа
Б вибухопожежо- небезпечна	Горючі пил і/або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище ніж 28°C, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа
В пожежонебезпечна	Горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати й горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини і матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б та питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м ² кожна перевищує 180 МДж·м ⁻² . Якщо питома пожежна навантага не перевищує 180 МДж·м ⁻² , то приміщення відноситься до категорії Д за умови виконання вимог пунктів 7.6.1, 7.6.5 та 7.6.8 ДСТУ Б В.1.1-36 [4]
Г помірно пожежонебезпечна	Негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо
Д знижено пожежонебезпечна	Речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорії приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В

Таблиця 2.2 – Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [4]

Категорія зовнішньої установки	Критерії віднесення зовнішньої установки до тієї або іншої категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою
1	2
<p>А_з вибухопожежонебезпечна</p>	<p>Установка відноситься до категорії А_з, якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази; легкозаймісті рідини з температурою спалаху не вище 28 °С; речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує газо-, пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ($C_{нкмл}$), перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих газів і парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається в разі займання газо-, пароповітряних сумішей, і/або під час вибуху речовин і/або матеріалів, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки</p>
<p>Б_з вибухопожежонебезпечна</p>	<p>Установка відноситься до категорії Б_з, якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі пил і/або волокна; легкозаймісті рідини з температурою спалаху вище 28 °С; горючі рідини. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ($C_{нкмл}$), перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається у разі займання пило-, пароповітряних сумішей, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки</p>
<p>В_з пожежонебезпечна</p>	<p>Установка відноситься до категорії В_з, якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази, легкозаймісті, горючі і/або важкогорючі рідини, тверді горючі і/або важкогорючі речовини і/або матеріали (включно з горючими пилом і/або волокнами), а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, за умови, що установка не відноситься до категорії А_з або Б_з. При цьому інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі перевищує 4 кВт·м⁻² на відстані 30 м від зовнішньої установки</p>

Закінчення таблиці 2.2

1	2
Г _з помірно пожежонебезпечна	Установка відноситься до категорії Г _з , якщо в ній знаходяться (обертаються) негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я, а також горючі гази, рідини і/або тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо
Д _з знижено пожежонебезпечна	Установка відноситься до категорії Д _з , якщо вона не відноситься до категорій А _з , Б _з , В _з або Г _з .

Детально методологію щодо визначення категорій за вибухопожежною та пожежною безпекою, яку використано під час виконання теоретичних досліджень, описано у посібнику [113].

Зокрема, розрахунки щодо значень надлишкового розрахункового тиску вибуху проводили за формулою [4, 113]

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \frac{m \cdot z \cdot 100}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{г.п.}} \cdot C_{\text{ст.}} \cdot K_n} \quad (2.17)$$

де, P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі, кПа;

P_o – початковий тиск, кПа;

m – маса горючих газів або парів легкозаймистих та горючих рідин, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, кг;

z – коефіцієнт участі горючих газів або парів у вибуху;

$V_{\text{вільн.}}$ – вільний об'єм приміщення, м³;

$\rho_{\text{г.п.}}$ – густина парів до вибуху за початкової температури T_o , кг·м⁻³;

$C_{\text{ст}}$ – стехіометрична концентрація горючих газів або парів легкозаймистих та горючих рідин, % (об);

K_n – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщень й неадіабатичність процесу горіння.

А розрахунок інтенсивності теплового випромінювання пожежі (q) за формулою [4, 113]

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi \quad (2.18)$$

де, E_f – середня поверхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт·м⁻²;

F_q – кутовий коефіцієнт опромінення;

ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

2.5 Висновки за розділом

1. Запропоновано методологію дисертаційних досліджень, що передбачає проведення аналітичних, теоретичних та експериментальних досліджень, застосування якої забезпечить досягнення поставленої мети роботи.

2. Встановлено необхідність використання стандартизованих, а також метрологічно-верифікованих методів визначення параметрів, що характеризують пожежонебезпечність БДП та його бінарних сумішей з ДП, а також кількісно описують процеси взаємодії ВР з полум'ям під час гасіння досліджуваних зразків палива.

3. Обґрунтовано можливість застосування методу Гретенера для оцінювання рівня пожежонебезпеки об'єктів виробництва і застосування БДП та його сумішей з ДП з урахуванням вимог чинної в Україні нормативної бази.

4. Наголошено на необхідності проведення розрахунку з визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою основних технологічних ділянок типового об'єкта з виробництва БДП, які є основними характеристиками пожежонебезпеки промислових підприємств згідно з національними нормами.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

3.1 Розрахунок рівня пожежонебезпеки типового об'єкта виробництва біодизельного палива із застосуванням методу Гретенера, його удосконалення для об'єктів із наявністю біодизельного палива

Як типовий об'єкт виробництва БДП, для якого проведено розрахунок рівня пожежонебезпеки, розглядали одноповерхову залізобетонну будівлю II ступеню вогнестійкості, розміром 40 м на 80 м та висотою до 10 м, в якій розміщено дільницю етерифікації.

Будівлю спроектовано відповідно до вимог вітчизняних будівельних норм. Максимальна продуктивність підприємства – 20 тис. літрів БДП та 2 тис. літрів гліцерину на добу.

Відповідно до [3] добова пожежна навантага для дільниці етерифікації цього об'єкта складає

$$Q_n = (23,8 \cdot 2000 + 37,1 \cdot 20000 + 16,1 \cdot 2000 + 36,6 \cdot 20000) / 80 \cdot 40 = 485,6 \text{ МДж/м}^2$$

де, Q_n (метанол) – 23,8 МДж/кг [83]; Q_n (ріпакова олія) – 37,1 МДж/кг [83]; Q_n (гліцерин) – 16,1 МДж/кг [83]; Q_n (метиловий ефір ріпакової олії) – 36,6 МДж/кг [83]; m (метанол) – 2000 кг; m (рослинна олія) – 20000 кг; m (гліцерин) – 2000 кг; m (метиловий ефір ріпакова олія) – 20000 кг; l – 80 м; b – 40 м.

Далі визначали числові значення складових чинників потенційної небезпеки P .

Враховуючи отримане значення пожежної навантаги Q_n , згідно з таблицею 1 [3], чинник $q=1,3$.

Чисельну величину чинника горючості c , що залежить від групи горючості речовини, визначали за таблицею 1 [3]. За умови наявності на об'єкті речовин різних груп горючості, цей чинник вибирали для найбільш пожежонебезпечної за умови, що її питома вага в загальній пожежній навантазі складає не менше 10 %.

Найбільш пожежонебезпечною речовиною на дільниці етерифікації є метанол, який є особливо небезпечною легкозаймистою рідиною. Відповідно, $c=1,4$.

Чинник димоутворення r визначали за матеріалом з найвищою димоутворювальною здатністю за таблицею 3 [3]. Найбільші значення цього показника у ріпакової олії та у БДП. Відповідно, $r=1,2$.

Чинник токсичності продуктів згоряння k визначали за матеріалом з найвищим показником токсичності за таблицею 4 [3]. Для продуктів згоряння, що виділятимуться під час горіння речовин, що обертаються у технологічному процесі дільниці етерифікації, показник токсичності буде майже однаковий та класифікуватиметься як помірно небезпечний. Відповідно, $k=1,0$.

Чинник нерухомої навантаги i залежить від горючості будівельних конструкцій та елементів фасаду, а також від наявності шарів теплоізоляції. Числове значення i визначали за таблицею 5 [3]. Для будівлі, що розглядається, $i=1,0$.

Чинник поверховості e визначали за таблицею 7 [3]. Для дільниці етерифікації висотою 10 м та показником пожежної навантаги $Q_n = 485,6 \text{ МДж/м}^2$, $e=1,15$.

Чинник розміру та площі дільниці етерифікації g , огороженої вогнестійкими стінами, стелею і підлогою, визначали за таблицею 10 [3]. Для протипожежного відсіку площею 4800 м^2 $g=1,6$.

Чинник активації A , що відображує ймовірність виникнення пожежі, визначали за таблицею 11 [3] як для промислового підприємства з підвищеною ймовірністю виникнення пожежі, оскільки в технологічному процесі обертається речовина, що належить до групи особливо небезпечних легкозаймистих рідин. Відповідно, $A=1,45$.

Таким чином, значення потенційної небезпеки P складає

$$P=1,3 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,6=5,2$$

За добутком значень P та A розраховували числове значення загрози виникнення пожежі Op

$$Op=5,2 \cdot 1,45=7,5$$

Далі визначали числові значення складових чинників захисних заходів Z .

Чинник нормативних заходів N визначали як добуток п'яти чинників, значення яких беруться з таблиці 12 [3].

Відповідно, чинник N складає

$$N=1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0=1,0$$

Чинник S відображає наявність спеціальних заходів у приміщенні щодо виявлення, оповіщення та гасіння пожежі. Його визначали як добуток шести чинників, значення яких наведені у таблиці 13 [3].

Відповідно, чинник S складає

$$S=1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,6 \cdot 0,85 \cdot 1,7 \cdot 1,0=3,3$$

Чинник вогнестійкості будівельних конструкцій розраховували як добуток чинників, що відображують вплив вогнестійкості будівельних конструкцій та протипожежних дверей і вікон на пожежонебезпечність об'єкта. Чисельні значення чинників визначали за таблицею 14 [3].

Відповідно, чинник F складає

$$F=1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,10=1,5$$

Таким чином, значення пожежозахищеності Z складає

$$Z=1,0 \cdot 3,3 \cdot 1,5=4,9$$

Відповідно до [3], розраховане значення пожежонебезпеки P необхідно порівняти з допустимим значенням P_d .

Враховуючи наведені вище розраховані значення загрози виникнення пожежі O_n та пожежозахищеності Z , значення пожежонебезпеки P складає

$$P=7,5/4,9=1,5$$

Водночас, значення допустимої пожежонебезпеки P_d складає

$$P_d=1,3 \cdot K_l$$

де, K_l – коефіцієнт, що враховує підвищену загрозу для людей, який визначається за таблицею 16 [3].

Відповідно, значення P_d для дільниці етерифікації підприємства з виробництва БДП складає

$$P_d=1,3 \cdot 1,0=1,3$$

Розрахунок пожежонебезпеки дільниці етерифікації об'єкта з виробництва БДП згідно з методом Гретенера завершується порівнянням значень P та P_d та визначенням рівня пожежонебезпеки U

$$U=1,5/1,3=1,2$$

Проведеним розрахунком встановлено, що умови $P \leq P_d$ та $U < 1$ для основної виробничої будівлі (дільниці етерифікації) не виконуються: значення пожежонебезпеки (P) сягнуло 1,5, допустиме значення пожежонебезпеки (P_d) – 1,3, а рівень пожежонебезпеки (U) – 1,2, тобто СПБ об'єкта потребує удосконалення.

3.2 Категорування за вибухопожежною та пожежною безпекою основних технологічних дільниць типового об'єкта з виробництва біодизельного палива

На технологічному майданчику типового об'єкта виробництва БДП слід відмітити такі основні дільниці:

- виробнича будівля (дільниця етерифікації), що складається, зокрема, з двох основних виробничих приміщень (перше приміщення – це реакторне відділення, в якому в реакторах змішується розчин каталізатора з ріпаковою олією і отримана суміш відстоюється, та друге приміщення – це приміщення з отримання розчину каталізатора);
- відкритий склад БДП і гліцерину;
- підземний (наземний) склад метанолу (етенолу).

Схематично розміщення будівель на технологічному майданчику типового об'єкта з виробництва БДП представлено на рисунку 3.1.

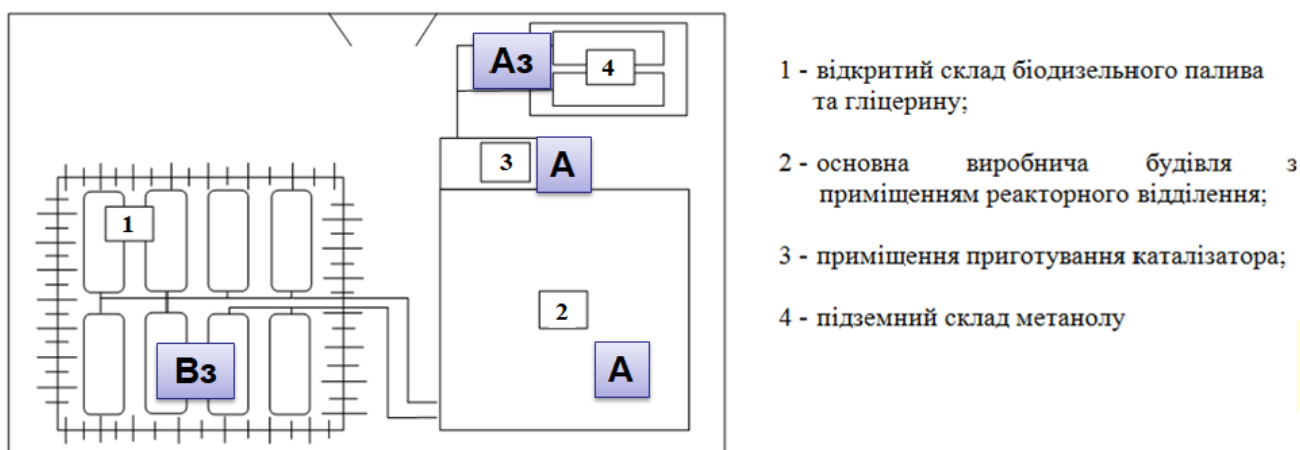


Рисунок 3.1 – Схема технологічного майданчика типового об'єкта з виробництва БДП

Технологічний процес на такому об'єкті полягає в такому. Спочатку у приміщенні (3) готується розчин каталізатора шляхом розчинення гідроксиду калію (KOH) в метиловому спирті (CH₃OH). Метиловий спирт до цього приміщення по мережі трубопроводів подається з підземного складу (4). Після цього отриманий розчин каталізатора змішується з ріпаковою олією в приміщенні (2). Суміші дають відстоятися для розділення отриманого гліцерину і БДП. Далі гліцерин і БДП окремими трубопроводами відкачуються в посудини для зберігання на відкритому складі готової продукції (1).

За результатами аналізу технологічного процесу, який відбувається на об'єкті, аналізу пожежонебезпечних властивостей речовин, які в ньому обертаються, за отриманими експериментальними даними [32, 54, 83], розгляду можливих варіантів аварій, а також проведених розрахунків значень критеріїв, згідно з якими приміщення будівлі чи зовнішньої установки підприємства відносяться до відповідних категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою [136], отримано такі результати.

За вихідні дані для розрахунку приміщення реакторного відділення прийнято, що його площа складає 216 м^2 , об'єм 1290 м^3 . Витрата сировини в приміщенні становить: ріпакова олія – 800 кг/год; метанол – 194 кг/год; гідроксид калію (KOH) – 6 кг/год. Розрахункова потужність – 900 кг продукції за 1 год.

Для цього приміщення можливі чотири варіанти розрахункової аварії (разгерметизації), за яких до нього будуть надходити горючі речовини:

- 1) аварія трубопроводу закачування каталізатора в реактор;
- 2) аварія трубопроводу закачування ріпакової олії в реактор;
- 3) аварія реактора;
- 4) аварія посудин розділення біодизельного палива та гліцерину.

У результаті варіантів аварій 2 та 4 у приміщення потраплять горючі речовини (ріпакова олія, суміш БДП з гліцерином, гліцерин, БДП). Усі ці горючі речовини мають високі (вище $120 \text{ }^\circ\text{C}$) температури займання і за робочих температур (менше $38 \text{ }^\circ\text{C}$) горюче середовище не утворюють. Відповідно, за такого варіанту розрахункової аварії, приміщення реакторного відділення відноситься до категорії В – пожежонебезпечне.

Якщо ж відбудеться 1 або 3 варіант розрахункової аварії, то у приміщення реакторного відділення може надійти метанол, який має властивість випаровуватися та утворювати вибухонебезпечне горюче середовище.

Розрахунок значення надлишкового розрахункового тиску вибуху у приміщенні реакторного відділення у випадку розливу метанолу проводили за формулою (2.17).

За результатами розрахунку надлишковий тиск вибуху для пожежі розливу метанолу у приміщенні реакторного відділення складає 46,5 кПа, що перевищує 5 кПа; до того ж, метанол класифікується як горюча легкозаймиста особливо небезпечна речовина, приміщення реакторного відділення відноситься до категорії А – вибухопожежонебезпечне. Відповідно для приміщення реакторного відділення приймається найнесприятливіший варіант розрахункової аварії.

За вихідні дані для розрахунку категорії приміщення приготування каталізатора (приміщення розчинення гідроксиду калію в метанолі) прийнято, що воно має площу 22,9 м² та об'єм 114 м³. У цьому приміщенні кожної години розчиняється 6 кг гідроксиду калію (KOH) в 194 кг метанолу (CH₃OH).

Розрахункова аварійна ситуація може статися, коли відбувається розгерметизація посудини для приготування каталізатора та метанол виливається на підлогу приміщення, випаровується, а утворене горюче пароповітряне середовище від джерела запалювання займається і вибухає.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху ΔP для пожежі проливу метанолу проводили також за формулою (2.17).

За результатами розрахунку надлишковий тиск вибуху для пожежі розливу метанолу у приміщенні приготування каталізатора складає 55,6 кПа, що значно перевищує 5 кПа; відповідно, приміщення приготування каталізатора відноситься до категорії А – вибухопожежонебезпечне.

Розрахунки для приміщення реакторного відділення та приміщення приготування каталізатора проведено за умови, що в них були відсутні аварійна вентиляція та засоби обмеження площі розливу (випаровування) рідких речовин.

З метою визначення умов технологічного процесу, за яких приміщення реакторного відділення та приготування каталізатора можливо віднести до більш безпечної категорії за вибухопожежною чи пожежною небезпекою, коли надлишковий розрахунковий тиск вибуху пароповітряної суміші у зазначених приміщеннях буде нижчим за 5 кПа, проведено відповідні розрахунки, а критерієм, який змінювався, було визначено масу парів легкозаймистих та горючих рідин, що потрапляли в результаті розрахункових аварій до приміщень.

На графіках, наведених на рисунках 3.2 та 3.3, подано характер зміни розрахункового надлишкового тиску вибуху пароповітряної суміші залежно від маси парів легкозаймистих та горючих рідин, що потрапляють в результаті розрахункових аварій до відповідних приміщень.

Аналіз цих рисунків вказує на те, що для зниження категорії приміщення реакторного відділення та приміщення приготування каталізатора, а також зменшення наслідків ймовірних аварій необхідно зменшити кількість парів, що випаровуються і утворюють вибухонебезпечне горюче середовище у випадку можливих аварій.

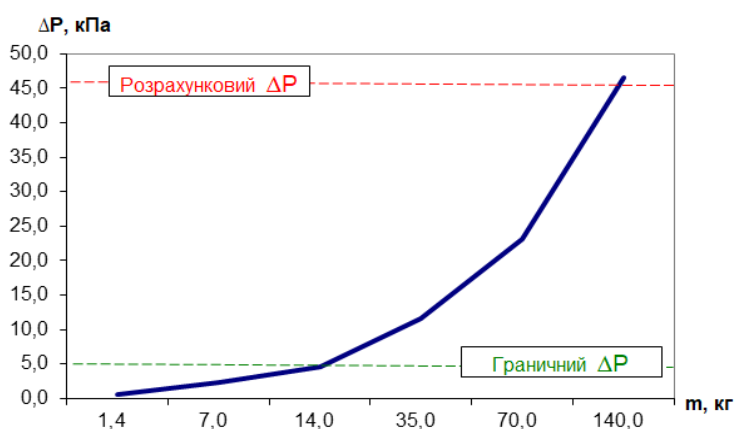


Рисунок 3.2 – Залежність зміни величини надлишкового тиску вибуху від маси парів легкозаймистих та горючих рідин у приміщенні реакторного відділення

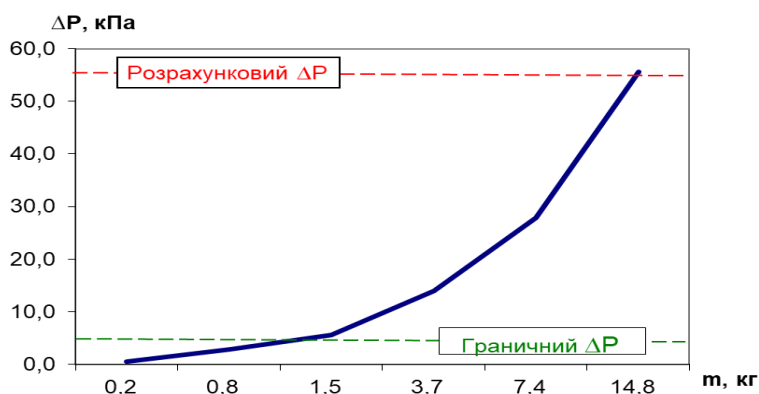


Рисунок 3.3 – Залежність зміни величини надлишкового тиску вибуху від маси парів легкозаймистих та горючих рідин у приміщенні приготування каталізатора

Для приміщення реакторного відділення зменшення кількості парів можна досягти зменшенням площі випаровування шляхом встановлення на технологічному майданчику огороження з бортиками певної висоти, в якому у випадку аварії буде знаходитись розлита рідина і відповідно це унеможливить її розтікання по всій площі підлоги приміщення. За площі такого майданчика близько 20 м^2 кількість парів складатиме 13 кг, а надлишковий розрахунковий тиск вибуху в приміщенні сягатиме лише 4,3 кПа. Відповідно, у цьому приміщенні для зниження категорії достатньо тільки зменшити площу випаровування легкозаймистих та горючих рідин. На практиці можна комбінувати такі заходи як зменшення площі випаровування і передбачення аварійної вентиляції.

Для приміщення приготування каталізатора зменшення кількості парів можна досягти шляхом улаштування приямку під посудиною для приготування каталізатора, з додатковим передбаченням місцевої аварійної витяжної вентиляції. За площі приямку близько 4 м^2 відповідної глибини та наявності місцевої аварійної витяжної вентиляції з кратністю повітрообміну 2 за годину, маса парів складатиме 0,8 кг, а надлишковий розрахунковий тиск вибуху в приміщенні сягатиме 3,2 кПа.

За вихідні дані для розрахунку відкритого складу БДП та гліцерину прийнято, що в ньому розміщено вісім резервуарів по 100 м^3 кожен, у двох з яких зберігається гліцерин, у інших – БДП. Резервуари мають прямокутну форму розмірами $12 \times 3 \times 2,8 \text{ м}$. Майданчик резервуарів обваловано. Розміри обвалування: довжина 33 м, ширина 21 м, площа 693 м^2 .

Розрахункова аварійна ситуація може статися в результаті руйнування резервуара з гліцерином або резервуара з БДП, або руйнування трубопроводів обв'язки і виливання горючих рідин у межі майданчика в обвалуванні.

Для того щоб відбувся спалах пароповітряної суміші парів гліцерину з повітрям необхідно, щоб концентрація парів гліцерину в суміші з повітрям дорівнювала значенню хоча б нижньої концентраційної межі його займання. Згідно з довідником [54], це значення становить 2,6 % (об.) і досягається за температури гліцерину $182 \text{ }^\circ\text{C}$. За нормальних технологічних умов виробництва

температура гліцерину в резервуарах для зберігання і на майданчику, обмеженому обвалуванням, у разі руйнування резервуара і виливання гліцерину назовні не досягне таких значень, тобто вибухонебезпечне пароповітряне середовище за нормальних умов роботи не утвориться.

Для того щоб утворилося горюче середовище із парів БДП з повітрям, необхідно його нагріти до температури понад $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ [32], що, аналогічно як і для гліцерину, за нормальних технологічних умов виробничого процесу є неможливим. Тобто зовнішня установка (майданчик для зберігання гліцерину та БДП) не відноситься до категорії B_3 . Для того щоб віднести цю установку до категорії B_3 , необхідно розрахувати інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі на віддалі 30 м від зовнішньої установки.

Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання (q) для пожежі проливу БДП проводили за формулою (2.18).

За результатами розрахунку інтенсивність теплового випромінювання для пожежі розливу БДП на віддалі 30 м від вогнища пожежі складає $5,4\text{ кВт/м}^2$, що перевищує 4 кВт/м^2 , тому відкритий склад БДП і гліцерину відноситься до категорії B_3 – пожежонебезпечний.

За вихідні дані для розрахунку складу метанолу прийнято, що він являє собою дві підземні посудини місткістю 25 м^3 кожна. Склад огорожено сітчастою захисною огорожею. Резервуари обладнано зливними пристроями, трубопроводами для зливання і забору метанолу, дихальними клапанами та вогнеперешкоджувачами. Подавання метанолу в виробничу будівлю здійснюється за допомогою насоса, що розміщений біля посудин.

Враховуючи, що температура спалаху метилового спирту є нижчою за $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ і ця речовина класифікується як легкозаймиста особливо небезпечна, то відповідно склад метанолу відноситься до категорії A_3 – вибухопожежонебезпечний.

3.3 Висновки за розділом

1. Процес етерифікації рослинної олії та отримання БДП вітчизняним підприємствами з точки зору побудови ефективної СПБ є новим і недостатньо вивченим.

2. Рівень пожежонебезпеки ($У$) ділянки етерифікації типового об'єкта з виробництва БДП, спроектованого відповідно до вітчизняних будівельних норм, складає 1,2, який відповідно до критеріїв, визначених у [3], є недостатнім для такого об'єкта.

3. Удосконалення СПБ ділянки етерифікації типового об'єкта виробництва БДП, можливо досягти шляхом удосконалення її окремих елементів, зокрема, шляхом раціонального вибору виду і кількості ВР для АСПГ об'єкта (приміщення).

4. Приміщення реакторного відділення та приготування каталізатора для типового об'єкта з виробництва БДП за критеріями згідно [4] відносяться до категорії А – вибухопожежонебезпечні, відкритий склад БДП до категорії В₃ – пожежонебезпечний, підземний склад метанолу до категорії А₃ – вибухопожежонебезпечний.

5. Зниження категорій за вибухопожежною та пожежною небезпеками приміщень реакторного відділення та приготування каталізатора, для яких було проведено розрахунки, а також наслідків ймовірних аварій у цих приміщеннях, можливе за умови влаштування засобів обмеження площі розливу легкозаймистих та горючих рідин у разі виникнення аварійних ситуацій, та улаштування місцевих аварійних вентиляційних систем. Зокрема, для реакторного відділення у разі улаштування на технологічному майданчику бортиків для обмеження площі проливу рідин до 20 м², надлишковий тиск вибуху знижується до 4,3 кПа, а для приміщення приготування каталізатора у разі улаштування прямику площею 4 м² надлишковий тиск вибуху знижується до 3,2 кПа.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводилися відповідно як для БДП, так і для сумішевого альтернативного біопалива, тобто бінарних сумішей БДП з ДП з вмістом БДП від 10 % (об.) до 50 % (об.). При цьому застосовувався ЕМЖК, виготовлений відповідно до ДСТУ 6081 [32], інші зразки БДП вітчизняних виробників, виготовлені відповідно до технічних умов цих виробників, та ДП, виготовлене відповідно до ДСТУ 3868 [114] (виключно як вуглеводневе паливо).

4.1 Вплив співвідношення компонентів біодизельного палива в його бінарних сумішах з нафтовим дизельним паливом на їхню пожежонебезпечність та параметри процесів горіння

4.1.1 Пожежонебезпечність біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом

Показники пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів визначають з метою отримання даних для розробки СПБ об'єктів, обґрунтування окремих положень державних будівельних норм, нормативних документів і нормативно-правових актів, правил улаштування електроустановок, для класифікації небезпечних вантажів, для вибору категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною безпекою, для технічного нагляду за виготовленням продукції тощо.

Перелік показників, необхідних і достатніх для характеристики пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів в умовах виробництва, переробки, транспортування і зберігання, визначає розробник СПБ об'єкта або розробник нормативних документів на речовину (матеріал).

У таблиці 4.1 узагальнено результати лабораторних досліджень мінімально необхідних показників пожежонебезпечності (температури спалаху у закритому та відкритому тиглях, температури займання, температури самозаймання), які певною мірою дозволяють характеризувати пожежонебезпечність БДП.

Таблиця 4.1 – Результати експериментальних досліджень пожежо-небезпечності БДП різних вітчизняних виробників [37, 84]

Зразок палива	Показник							
	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С		Температура займання, °С		Температура спалаху у закритому тиглі, °С		Температура самозаймання, °С	
	Нормоване значення	Фактичне значення*	Нормоване значення	Фактичне значення*	Нормоване значення	Фактичне значення*	Нормоване значення	Фактичне значення*
ЕМЖК	не нормовано	164	не нормовано	194	не менше ніж 120	145	не менше ніж 320	228
БДП (виробник А)		133		174		112		396
БДП (виробник Б)		106		140		88		280
БДП (виробник В)		94		170		45		254

Примітка: Розширена невизначеність результатів вимірювання температури не перевищувала 5,0 °С.

Результати досліджень, що наведені у таблиці 4.1, вказують на те, що зразки БДП різних вітчизняних виробників суттєво відрізняються між собою за показниками пожежонебезпечності, що свідчить про недостатність очищення кінцевого продукту від вмісту метанолу (етанолу).

ЕМЖК за критеріями ДСТУ 8829 [5] класифікується як горюча речовина, разом з тим температура його самозаймання майже на 100 °С нижча за нормоване значення. Зразок В БДП, за отриманою температурою спалаху у закритому тиглі, класифікується як легкозаймиста речовина. Відповідно, ці дані свідчать про недосконалість очищення кінцевого продукту від домішок спирту, що значно підвищує фактичну пожежонебезпечність БДП.

У таблиці 4.2 узагальнено аналогічні показники пожежонебезпечності для БДП та його бінарних сумішей з ДП.

Таблиця 4.2 – Результати експериментальних досліджень пожежо-небезпечності бінарних сумішей БДП з ДП [37, 84]

Зразок палива	Температура спалаху у закритому тиглі, °С	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	Температура займання, °С	Температура самозаймання, °С
ДП – 100 % (об.)	64	60	86	227
ДП – 90 % (об.), ЕМЖК – 10 % (об.)	71	72	92	225
ДП – 85 % (об.), ЕМЖК – 15 % (об.)	74	75	93	225
ДП – 70 % (об.), ЕМЖК – 30 % (об.)	77	87	111	225
ДП – 50 %, ЕМЖК – 50 % (об.)	78	97	115	226
ЕМЖК – 100 % (об.)	145	164	194	228

Примітка: Розширена невизначеність результатів вимірювання температури не перевищувала 5,0 °С.

Результати досліджень, що наведені у таблиці 4.2, вказують на те, що БДП має вищі значення температур спалаху, займання та самозаймання, ніж традиційне ДП, що свідчить про його меншу пожежонебезпечність. З іншого боку, таке паливо значно небезпечніше, ніж рослинна олія, з якої воно виготовляється.

Для порівняння, згідно з даними, наведеними у [53], соняшникова олія являє собою горючу речовину з температурою спалаху 205 °С та температурою самозаймання 370 °С. Ріпакова олія згідно з [68] має температуру спалаху у закритому тиглі 198 °С.

Зі збільшенням частки ЕМЖК у ДП температура спалаху у закритому і відкритому тиглях, а також температура займання сумішевого палива збільшуються, натомість температура самозаймання для всіх досліджених речовин однакова. Це пояснюється практично однаковими значеннями температури самозаймання досліджених речовин і свідчить про відсутність процесів утворення асоціатів, комплексів, нових хімічних сполук тощо під час їх змішування.

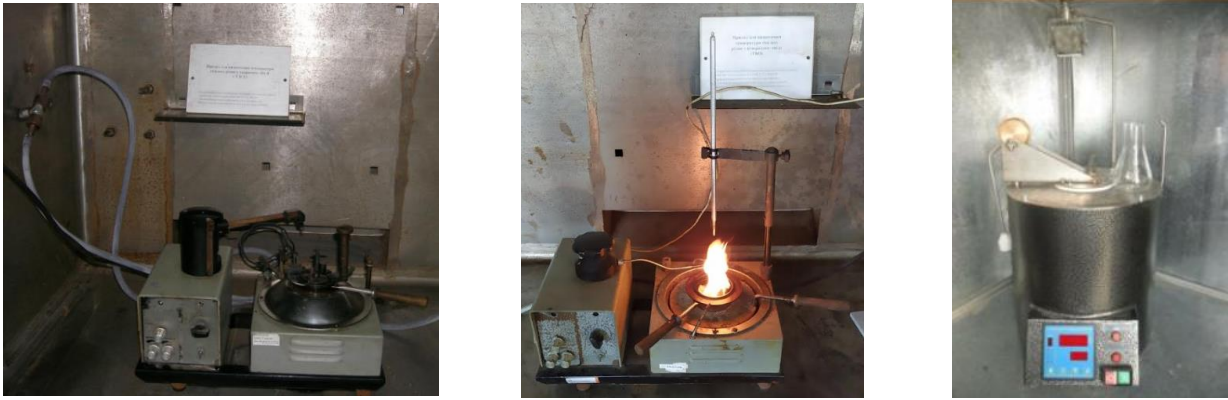


Рисунок 4.1 – Робочі моменти експериментальних досліджень показників пожежонебезпечності досліджуваного палива

На рисунку 4.2 відображено залежність зміни показників пожежонебезпечності від вмісту БДП в сумішевому паливі.

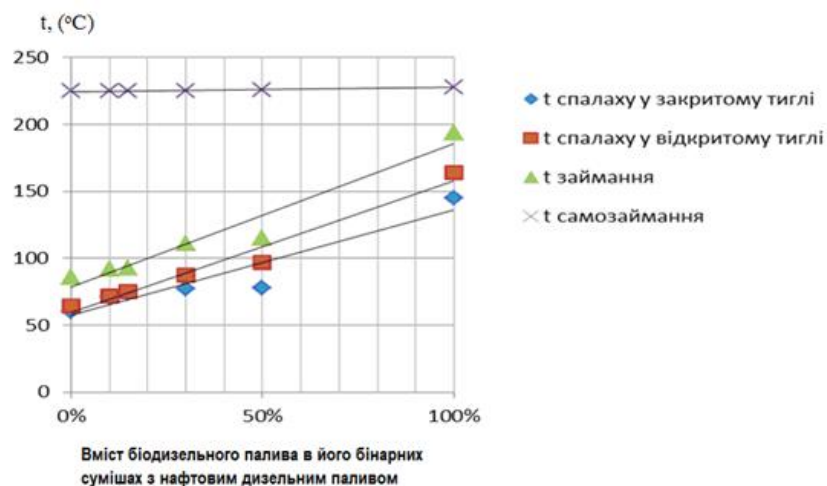


Рисунок 4.2 – Залежність показників пожежонебезпечності від вмісту БДП в бінарних сумішах з ДП

Проведені дослідження дали змогу встановити та оцінити основні показники пожежонебезпечності БДП та порівняти їх з аналогічними показниками для ДП, при цьому вперше ці показники встановлені для бінарних сумішей ДП з БДП, зокрема суміші з максимально рекомендованою добавкою ЕМЖК у кількості 30 % (об.) згідно із [31], для якої температура спалаху в закритому тиглі склала 77 °C, температура спалаху в відкритому тиглі – 87 °C, температура займання – 111 °C та температура самозаймання – 225 °C.

Також, для зразка ЕМЖК та його бінарних сумішей з ДП експериментально визначено вищу теплоту згорання, значення якої узагальнено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати експериментальних досліджень з визначення вищої теплоти згорання БДП (ЕМЖК) та його бінарних сумішей з ДП

Зразок палива	Вища теплота згорання, МДж/кг
ЕМЖК – 100 % (об.)	36,5
ДП – 70 % (об.), ЕМЖК – 30 % (об.)	38,2
ДП – 85 % (об.), ЕМЖК – 15 % (об.)	39,8
ДП – 90 % (об.), ЕМЖК – 10 % (об.)	41,1

Примітка: Розширена невизначеність результатів вимірювання вищої теплоти згорання не перевищувала 1,0 МДж/кг

4.1.2 Параметри процесів горіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом

Експериментальні дослідження параметрів процесів горіння (температури полум'я та масової швидкості вигорання) проводили із застосуванням устаткування, описаного у підрозділі 2.2 (рисунок 4.3), і підходу, описаного в роботі [110], а також матеріалів монографії [115] та публікації [116].



Рисунок 4.3 – Робочі моменти експериментальних досліджень параметрів процесів горіння досліджуваних зразків палива

У таблиці 4.4 та на рисунках 4.4-4.7 узагальнено результати цих експериментальних досліджень.

Таблиця 4.4 – Результати експериментальних досліджень температур полум'я та масової швидкості вигорання БДП та його бінарних сумішей з ДП

Зразок палива	Максимальна температура полум'я, °С	Масова швидкість вигорання, кг/с	Питома масова швидкість вигорання у деку модельного вогнища пожежі 34В, кг/(м ² ·с)	Середня питома масова швидкість вигорання у деку модельного вогнища пожежі 34В, кг/(м ² ·с)
Зразок № 1 (ЕМЖК)	651,3 (на 68 с)	0,010...0,027	0,009...0,025	0,017
Зразок № 2 (суміш ДП 70 % (об.) з ЕМЖК 30 % (об.))	866,5 (на 239 с)	0,008...0,031	0,007...0,029	0,018
Зразок № 3 (ДП)	897,0 (на 250 с)	0,030...0,039	0,028...0,036	0,032

Примітка: Розширена невизначеність результатів вимірювання температури не перевищувала 5,0 °С; маси – 0,1 кг; часу – 0,5 с.

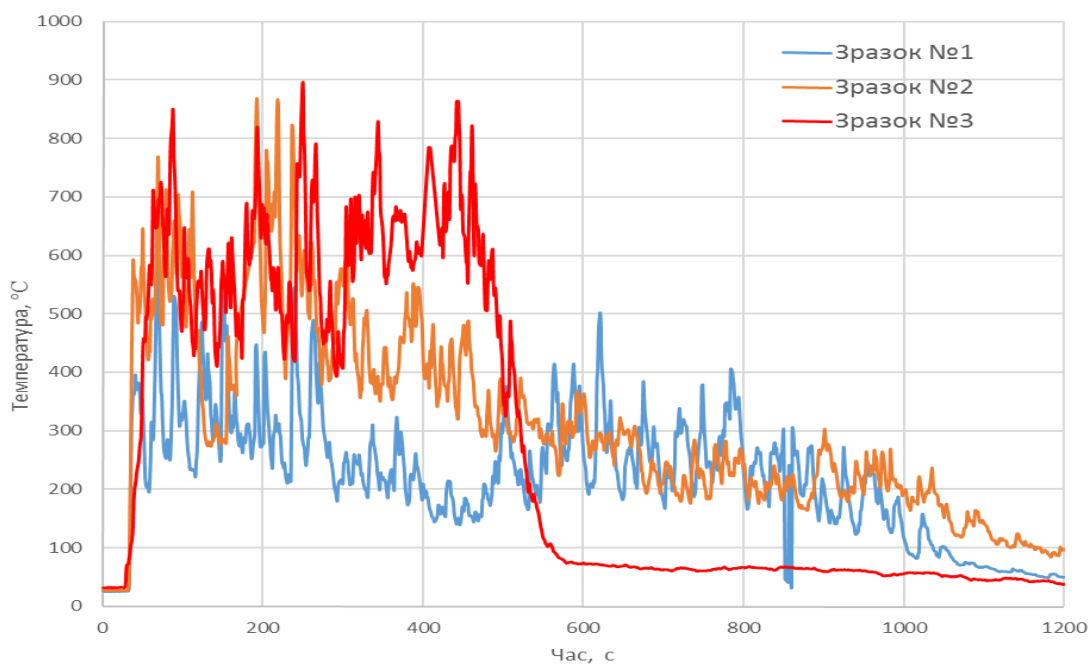


Рисунок 4.4 – Залежність температури полум'я від тривалості горіння досліджуваних зразків палива

За результатами цих експериментальних досліджень встановлено, що максимальні температури полум'я для досліджуваних речовин склали 651 °С (для БДП), 866 °С (для сумішевого палива) та 897 °С (для ДП).

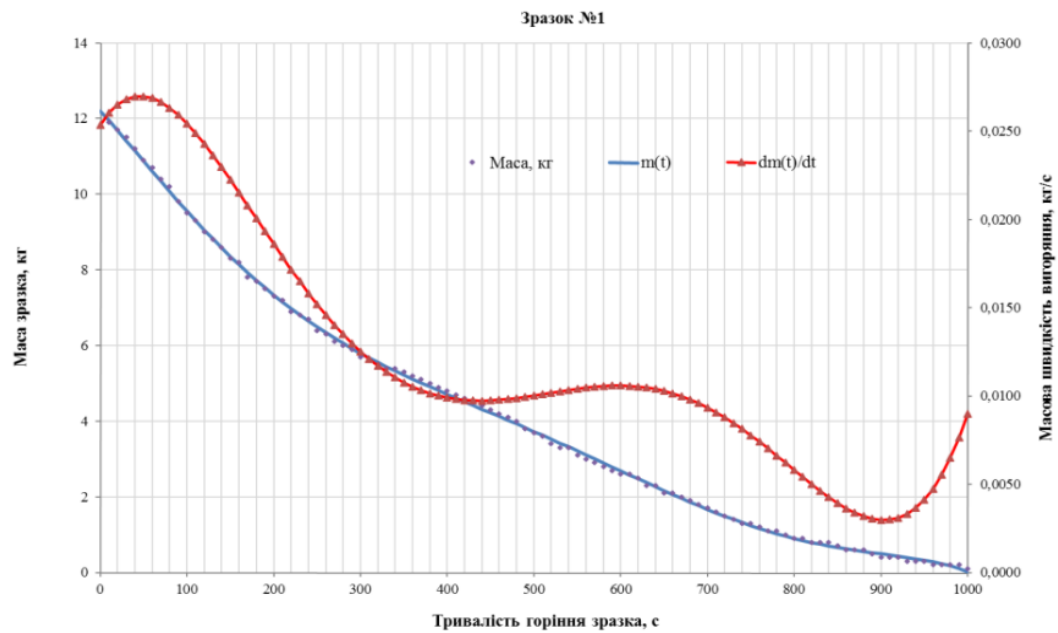


Рисунок 4.5 – Залежності зміни маси ЕМЖК та масової швидкості його вигорання від тривалості горіння

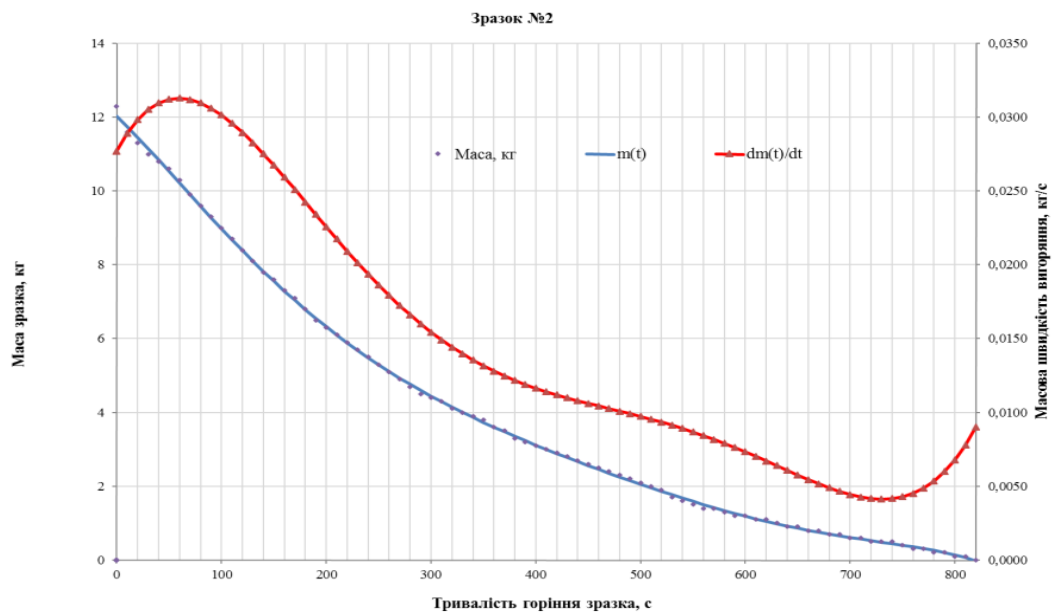


Рисунок 4.6 – Залежності зміни маси суміші ДП з ЕМЖК та масової швидкості її вигорання від тривалості горіння

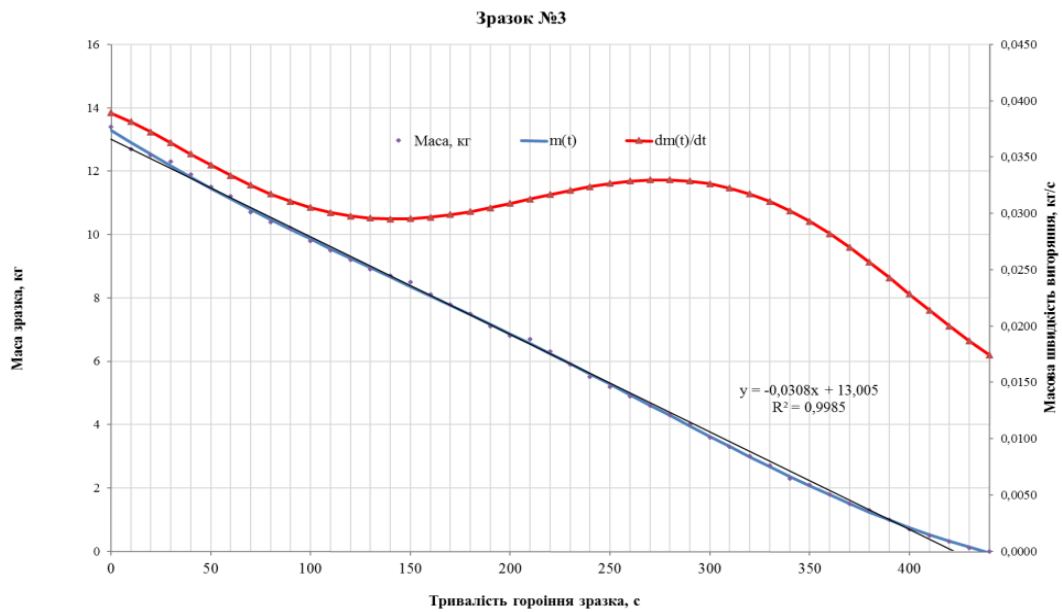


Рисунок 4.7 – Залежності зміни маси ДП та масової швидкості його вигорання від тривалості горіння

Середні питомі масові швидкості вигорання БДП та бінарної суміші ДП з БДП з вмістом останнього 30 % (об.) становлять $0,017 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $0,018 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно, що майже удвічі менше за аналогічний показник для ДП ($0,032 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$).

Отримані дані вказують, що додавання БДП до складу ДП сприяє зниженню температури полум'я та масової швидкості вигорання. При цьому візуальні спостереження показали, що процес горіння БДП більш подібний до горіння жирів рослинного та тваринного походження, для яких характерними ознаками є шипіння та потріскування рідини. Процес горіння сумішевого палива з вмістом БДП у кількості 30 % (об.) більш подібний до горіння класичного ДП.

4.2 Ефективність вогнегасних речовин у разі їх застосування для гасіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з нафтовим дизельним паливом

Кожна окрема пожежа – це явище індивідуальне, для гасіння якої не існує ані універсальних ВР, ані універсальних підходів їх застосування. Ймовірно, і

найближчим часом людство не винайде нових видів ВР, а у подальшому удосконалюватиме їх рецептури, способи і засоби подавання [117]. Відповідно, результати досліджень, відображені у цьому розділі, спрямовані першочергово на отримання нової актуальної інформації стосовно взаємодії класичних ВР з полум'ям у разі горіння БДП та його бінарних сумішей з ДП, що стануть у нагоді фахівцям із забезпечення пожежної безпеки об'єктів, а також персоналу пожежно-рятувальних підрозділів, які безпосередньо залучаються до ліквідації пожеж та надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ними.

4.2.1 Дослідження з гасіння палива повітряно-механічною піною

Повітряно-механічна піна є основним засобом пожежогасіння, що застосовується для гасіння пожеж горючих та легкозаймистих рідин. Зокрема, її застосування є незамінним під час гасіння пожеж резервуарів і технологічних установок із значною кількістю таких речовин [118 – 120].

Піною називають плівково-чарункову структуру, що складається з водного розчину поверхнево-активних речовин і газового дисперсійного середовища, яка характеризується кратністю і показниками стійкості [121].

Піну середньої кратності застосовують переважно для гасіння пожеж поверхневим способом, а піну низької кратності залежно від природи та призначення піноутворювача, а також особливостей пожежі і використовуваного протипожежного обладнання застосовують для гасіння пожеж поверхневим способом або подаванням у шар горючої рідини.

Експериментальні дослідження вогнегасної ефективності повітряно-механічної піни проводили із застосуванням устаткування, описаного у підрозділі 2.3 (рисунки 4.6, 4.7), за Методикою № 2000/2-ПУ-10 [9] та згідно із положеннями ДСТУ 3789 [6].

Піну генерували з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення “ПО-ЗНП”, виготовленого згідно [122], та піноутворювачів спеціального призначення “Tridol 6 –10°C” (фторсинтетичний

плівкоутворювальний) [123] й “Fluoropolydol” (фторпротеїновий для гасіння водонерозчинних і водорозчинних горючих рідин) [124].

У таблицях 4.5-4.7 узагальнено результати цих експериментальних досліджень [97, 125].



Рисунок 4.8 – Робочі моменти експериментальних досліджень вогнегасної ефективності піни середньої кратності

Таблиця 4.5 – Експериментальні дані, одержані під час досліджень з визначення показників вогнегасної ефективності піни середньої кратності у разі гасіння БДП, ДП, а також їх бінарних сумішей

Досліджуваний зразок	Діаметр модельного вогнища пожежі, мм	Інтенсивність подавання робочого розчину, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Тривалість гасіння, с (середнє значення)	Критична інтенсивність подавання робочого розчину ($I_{\text{кр}}$), $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
1	2	3	4	5
ДП (виробник А)	381,5	0,018	215	0,016
	436,2	0,013	не погашено	

Закінчення таблиці 4.5

1	2	3	4	5
ДП (виробник Б)	381,5	0,018	203	0,016
	436,2	0,013	не погашено	
БДП (виробник В)	357,9	0,020	52	0,012
	381,5	0,018	74	
	436,2	0,013	119	
	477,9	0,011	не погашено	
БДП (виробник Г)	381,5	0,018	109	0,012
	436,2	0,013	204	
	477,9	0,011	не погашено	
ЕМЖК	381,5	0,018	98	0,012
	436,2	0,013	196	
	477,9	0,011	не погашено	
Суміш ДП 70 % (об.), ЕМЖК 30 % (об.)	381,5	0,018	110	0,016
	436,2	0,013	не погашено	
Суміш ДП 85 % (об.), ЕМЖК 15 % (об.)	381,5	0,018	123	0,016
	436,2	0,013	не погашено	

Примітка: Розширені невизначеності результатів визначення тривалості гасіння та критичної інтенсивності подавання робочого розчину не перевищували 12 с та $0,001 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно.

Дані наведені у таблиці 4.5, вказують на те, що критична інтенсивність подавання робочого розчину під час гасіння піною середньої кратності досить низька як для гасіння ДП і БДП, так і для сумішевого палива і складає $0,016 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно. Але, не зважаючи на це, характер взаємодії піни середньої кратності з полум'ям під час гасіння поверхневим способом досліджуваних видів палива дещо відрізняється.

У випадку з ДП на поверхні рідини досить швидко відбувається накопичення піни, а у випадку з БДП накопичення піни відбувається повільно, частина її руйнується, має місце розлітання гарячих краплин рідини, разом з тим, гасіння останнього відбувається приблизно удвічі швидше. Гасіння БДП відбувається переважно за рахунок пароутворення.



Рисунок 4.9 – Робочі моменти експериментальних досліджень вогнегасної ефективності піни низької кратності

Таблиця 4.6 – Експериментальні дані, одержані під час досліджень з визначення показників вогнегасної ефективності піни низької кратності, генерованої з робочого розчину піноутворювача “Tridol 6 –10°C”

Досліджуваний зразок	Діаметр модельного вогнища пожежі, мм	Інтенсивність подавання робочого розчину, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Тривалість гасіння, с (середнє значення)	Проміжок часу до повторного займання, с (середнє значення)
ДП (виробник А)	589,0	0,046	30	690
БДП (виробник В)	589,0	0,046	16	760
Суміш ДП 70 % (об.), ЕМЖК 30 % (об.)	589,0	0,046	12	750

Примітка: Розширені невизначеності результатів визначення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання не перевищували 1,3 с та 26,5 с, відповідно.

Таблиця 4.7 – Експериментальні дані, одержані під час досліджень з визначення показників вогнегасної ефективності піни низької кратності, генерованої з робочого розчину піноутворювача “Fluoropolydol”

Досліджуваний зразок	Діаметр модельного вогнища пожежі, мм	Інтенсивність подавання робочого розчину, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Тривалість гасіння, с (середнє значення)	Проміжок часу до повторного займання, с (середнє значення)
БДП (виробник В)	589,0	0,046	17	420

Примітка: Розширені невизначеності результатів визначення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання не перевищували 1,3 с та 26,5 с, відповідно.

Дані, наведені в таблицях 4.6 і 4.7, вказують на ефективність піни низької кратності, генерованої з розчинів піноутворювачів спеціального призначення “Tridol 6 –10°C” і “Fluoropolydol”. Гасіння в усіх випадках відбувалося досить швидко – до 30 с з моменту початку подавання піни на поверхню речовини за інтенсивності $0,046 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, що є нижчою за нормативну ($0,05 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$). Проміжок часу до повторного займання речовини досить тривалий і становить від 7 хв до 10 хв.

4.2.2 Дослідження з гасіння палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами

Перевагами води є її дешевизна і доступність, відносно висока питома теплоємність, висока питома теплота випаровування, а також хімічна інертність у відношенні до більшості речовин і матеріалів.

Найбільш ефективним способом подавання води є її розпилювання під високим тиском з отриманням краплин певного розміру. Крім того, з метою підвищення вогнегасної ефективності води і, відповідно, з метою зменшення її кількості для потреб пожежогасіння до складу води нерідко додають різноманітні добавки, в результаті чого утворюються відповідні водні вогнегасні речовини [126].

Експериментальні дослідження вогнегасної ефективності тонкорозпилених ВВР проводили із застосуванням устаткування, описаного у підрозділі 2.3

(рисунок 4.8), за Експерс-методикою УкрНДІЦЗ № 2013/166-1Ц [11], результати яких узагальнено у таблицях 4.8–4.9.



Рисунок 4.10 – Робочі моменти експериментальних досліджень вогнегасної ефективності тонкорозпилених ВВР

Таблиця 4.8 – Результати вимірювань та розрахунку середніх значень показника $D_{v0,9}$ для досліджуваних тонкорозпилених ВВР

Вогнегасна речовина	Середнє значення показника $D_{v0,9}$, мкм	Критерій оцінки за [111] (для тонкорозпиленої води $D_{v0,9} \leq 1000$, мкм)
ТРВ	145,3	відповідає
Водний розчин K_2CO_3 1,0%	110,0	відповідає
Водний розчин “АFFF” (плівкоутворювальний фторсинтетичний піноутворювач) 0,1%	97,3	відповідає
Водний розчин “Пірена-1” (піноутворювач загального призначення) 0,1%	103,1	відповідає
Водний розчин K_2CO_3 (2,5%) та “АFFF” (0,25%)	124,8	відповідає

Як видно із таблиці 4.8, дисперсність ВВР, вогнегасна ефективність яких досліджувалась, відповідає вимогам нормативного документа, що регламентує критерії віднесення ВВР до тонкорозпилених.

Таблиця 4.9 – Результати експериментальних досліджень з визначення критичних інтенсивностей подавання тонкорозпилених ВВР під час гасіння БДП, ДП, а також їх бінарних сумішей

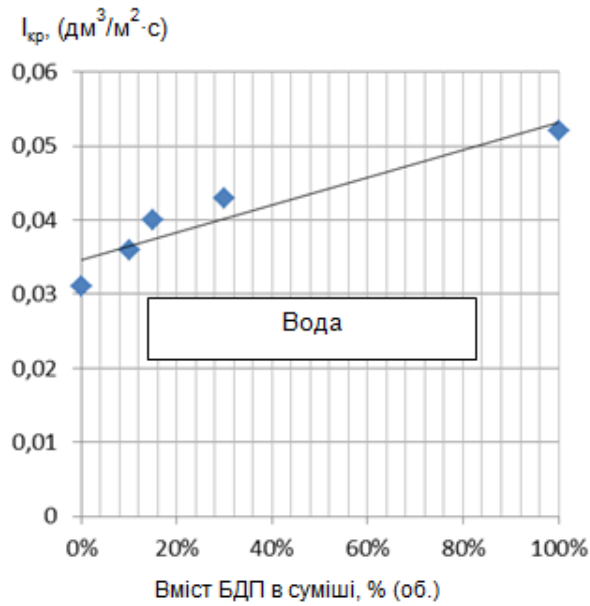
Вогнегасна речовина	Горюча речовина (співвідношення ДП % (об.): ЕМЖК % (об.))	Густина вогнегасної речовини, г/см ³	Діаметр погашеного модельного вогнища пожежі класу В, м	Критична інтенсивність подавання вогнегасної речовини, дм ³ / (м ² ·с)
1	2	3	4	5
ТРВ	ДП	1,000	0,130	0,031
	ЕМЖК		0,100	0,052
	90:10		0,120	0,036
	85:15		0,120	0,040
	70:30		0,110	0,043
5,0% водний розчин К ₂ СО ₃	ДП	1,042	0,250	0,013
	ЕМЖК		>0,200	<0,013
	90:10		0,190	0,015
	85:15		0,200	0,014
	70:30		0,200	0,013
2,5% водний розчин К ₂ СО ₃	ДП	1,019	0,160	0,019
	ЕМЖК		>0,180	<0,016
	90:10		0,160	0,019
	85:15		0,160	0,019
	70:30		0,170	0,018
1,0% водний розчин К ₂ СО ₃	ДП	1,008	0,150	0,024
	ЕМЖК		0,170	0,018
	90:10		0,150	0,024
	85:15		0,150	0,020
	70:30		0,160	0,020
0,5% водний розчин “АFFF” (плівкоутворювальний фторсинтетичний піноутворювач)	ДП	1,002	0,150	0,022
	ЕМЖК		0,190	0,014
	90:10		0,150	0,022
	85:15		0,160	0,016
	70:30		0,170	0,017
0,25% водний розчин “АFFF” (плівкоутворювальний фторсинтетичний піноутворювач)	ДП	1,002	0,150	0,022
	ЕМЖК		0,190	0,014
	90:10		0,150	0,022
	85:15		0,160	0,019
	70:30		0,170	0,017

Закінчення таблиці 4.9

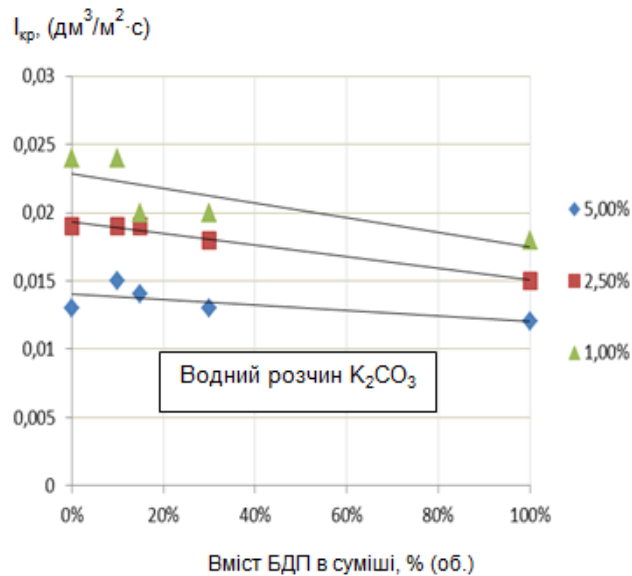
1	2	3	4	5
0,1% водний розчин “AFFF” (плівкоутворювальний фторсинтетичний піноутворювач)	ДП	1,000	0,150	0,026
	ЕМЖК		0,190	0,014
	90:10		0,150	0,022
	85:15		0,160	0,020
	70:30		0,170	0,018
0,5% водний розчин “Пірена-1” (піноутворювач загального призначення)	ДП	1,002	0,170	0,017
	ЕМЖК		0,200	≤0,012
	90:10		0,170	0,017
	85:15		0,170	0,017
	70:30		0,180	0,015
0,25% водний розчин “Пірена-1” (піноутворювач загального призначення)	ДП	1,002	0,150	0,022
	ЕМЖК		0,190	0,014
	90:10		0,160	0,019
	85:15		0,160	0,019
	70:30		0,170	0,017
0,1% водний розчин “Пірена-1” (піноутворювач загального призначення)	ДП	1,002	0,150	0,021
	ЕМЖК		0,190	0,013
	90:10		0,160	0,019
	85:15		0,160	0,019
	70:30		0,170	0,016
Водний розчин K ₂ CO ₃ (2,5%) та “AFFF” (0,25%)	ДП	1,022	0,160	0,019
	ЕМЖК		0,200	<0,013
	90:10		0,160	0,019
	85:15		0,160	0,019
	70:30		0,170	0,017

Примітка: Розширені невизначеності результатів визначення критичної інтенсивності подавання ТРВ та тонкорозпилених ВВР не перевищували $0,001 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

На рисунках 4.11 – 4.13 у графічному вигляді візуалізовано результати експериментальних досліджень з визначення критичних інтенсивностей подавання тонкорозпилених ВВР, наведених у таблиці 4.9.



а)

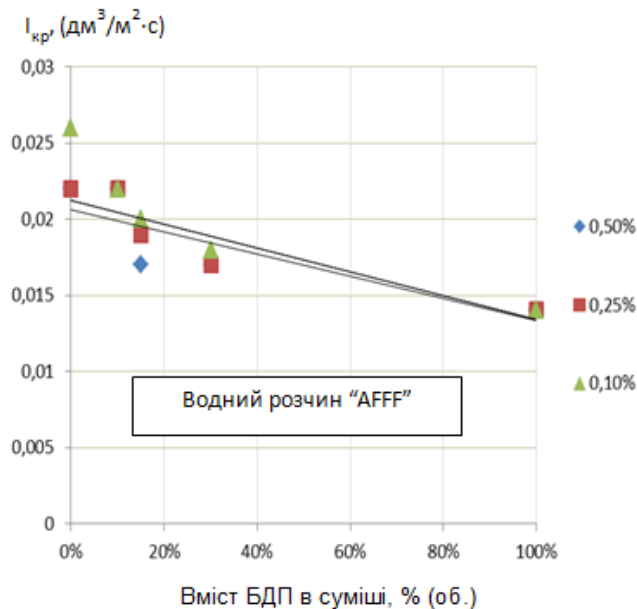


б)

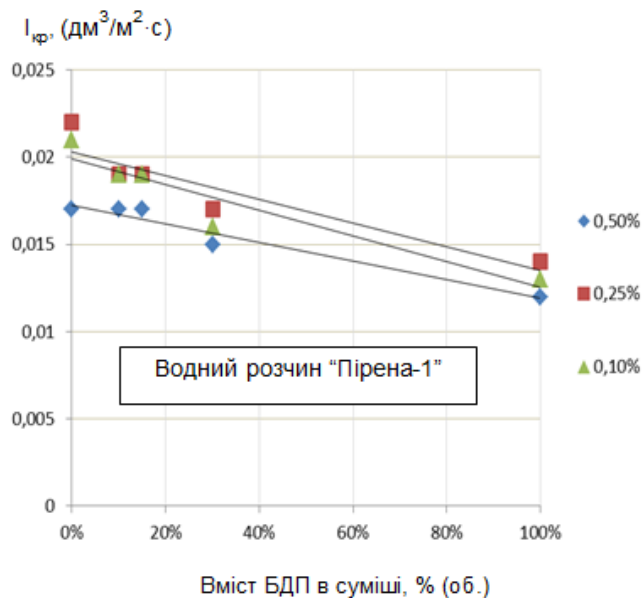
Рисунок 4.11 – Вогнегасна ефективність ТРВ (а) та тонкорозпиленого водного розчину K_2CO_3 (б) за різного вмісту БДП в суміші з ДП

З рисунку 4.11 видно, що критична інтенсивність подавання ТРВ під час гасіння БДП складає $0,052 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. У порівнянні з аналогічним показником для ДП ($0,031 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) її значення більше на 40 %. Це означає, що гасіння БДП ТРВ без добавок можливе, але менш ефективно, ніж гасіння ДП. Разом з тим, у разі змішування БДП до 30 % (об.) з ДП значення критичної інтенсивності подавання досліджених ВВР (окрім ТРВ без добавок) зменшуються.

У разі гасіння БДП тонкорозпиленним водним розчином 5,0%, 2,5% та 1,0% K_2CO_3 критична інтенсивність подавання ВР складає 0,013 $dm^3/(m^2 \cdot c)$, 0,016 $dm^3/(m^2 \cdot c)$ та 0,018 $dm^3/(m^2 \cdot c)$, відповідно. Іншими словами, додавання до води певної кількості K_2CO_3 дозволяє підвищити її вогнегасну ефективність під час гасіння БДП у декілька разів.



а)



б)

Рисунок 4.12 – Вогнегасна ефективність тонкорозпиленого водного розчину піноутворювача типу "АFFF" (а) та піноутворювача загального призначення "Пірена-1" (б) за різного вмісту БДП в суміші з ДП

Дані рисунка 4.12 вказують на те, що у разі гасіння БДП тонкорозпилим водним розчином піноутворювача класу “AFFF” (“Tridol 6 –10°C”) з концентрацією 0,5 %, 0,25 % та 0,1 %, критична інтенсивність подавання ВР складає $0,014 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ для всіх трьох концентрацій. Критична інтенсивність подавання тонкорозпиленого водного розчину з концентрацією піноутворювача загального призначення “Пірена-1” 0,5 %, 0,25 % та 0,1 % під час гасіння БДП складає $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $0,014 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і $0,013 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно, тобто вогнегасна ефективність води також підвищується у декілька разів.

У разі гасіння БДП водним розчином K_2CO_3 (2,5 %) та “AFFF” (0,25 %) критична інтенсивність подавання ВР складає $0,013 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Для такої ВР спостерігається ефект синергізму, оскільки значення критичної ефективності зменшилося в порівнянні зі значеннями критичних інтенсивностей подавання ВВР з хімічними речовинами, що входять до його складу (рисунок 4.13).

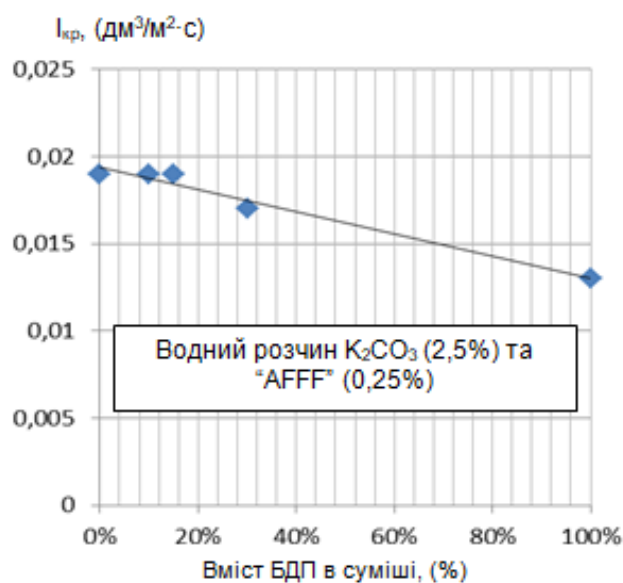


Рисунок 4.13 – Вогнегасна ефективність водного розчину K_2CO_3 (2,5%) та “AFFF” (0,25%) за різного вмісту БДП в суміші з ДП

До того ж, додавання до води всіх використаних функціональних добавок змінює характер залежності критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої ВВР від вмісту БДП в суміші на протилежний.

4.2.3 Дослідження з гасіння палива вогнегасним порошком

Відомо, що вогнегасні порошки застосовуються для гасіння пожеж різних горючих речовин. Найбільшого поширення набули багатоцільові вогнегасні порошки типу АВС. Такі вогнегасні порошки призначені для використання у вогнегасниках, стаціонарних і пересувних системах пожежогасіння, пожежних автомобілях спеціального призначення та є ефективними під час гасіння пожеж на нафтобазах, газових і нафтових свердловинах, складах горючих і мастильних матеріалів, лаків і фарб, у виробничих приміщеннях тощо [127].

Для ефективного гасіння пожеж із застосуванням вогнегасних порошків, зокрема пожеж неполярних рідин (в т.ч нафтопродуктів) та полярних рідин (спирти, ацетон, ефіри тощо) слід забезпечувати відповідні параметри їх подавання.

Для складів нафти та нафтопродуктів ці дані зазначені в нормах [89], про них йшлося вище. У довіднику [54] в примітці до таблиці 4 зазначається, що ефективність застосування вогнегасних порошків подається у вигляді показника вогнегасної ефективності, а вихідні дані щодо параметрів його подавання повинні додатково розраховуватися. У довіднику [128] в таблиці 1.5 наводиться витрата вогнегасних порошків (залежно від марки), зокрема для гасіння пожеж класу В, в межах від $0,3 \text{ кг/м}^2$ до $3,5 \text{ кг/м}^2$.

Експериментальні дослідження вогнегасної ефективності вогнегасного порошку проводили із застосуванням устаткування, описаного у підрозділі 2.3, враховуючи водночас національні підходи до оцінювання вогнегасної здатності переносних вогнегасників. При цьому застосовували вогнегасний порошок АВС-70, виготовлений відповідно до [129].

Для моделювання пожежі класу В застосовували модельне вогнища рангу 34В, що являє собою металеве деко діаметром (1170 ± 10) мм, площа поверхні горіння якого становить $1,07 \text{ м}^2$ [109]. Горюча речовина у кількості 23 л заливалася у деко по водяній подушці.

На рисунку 4.14 показано робочі моменти експериментальних досліджень вогнегасної ефективності вогнегасного порошку, а їх результати узагальнено в таблиці 4.10 та на рисунку 4.15 [127].



Рисунок 4.14 – Робочі моменти експериментальних досліджень вогнегасної ефективності вогнегасного порошку

Таблиця 4.10 – Результати експериментальних досліджень з визначення інтенсивності подавання та питомої витрати вогнегасного порошку під час гасіння БДП, ДП, а також їх бінарних сумішей

Параметр	Зразок палива					
	ЕМЖК		ДП		Суміш ДП 50 % (об), ЕМЖК 50 % (об.)	
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2
Тривалість гасіння, с (τ)	6,0	4,6	10,2	9,5	8,6	9,0
Маса витраченого вогнегасного порошку, кг (m)	0,95	0,85	1,44	1,30	1,25	1,33
Питома витрата вогнегасного порошку на одиницю площі горіння, кг/м ² (Q)	0,89	0,79	1,35	1,21	1,17	1,24

Примітка: Розширені невизначеності результатів визначення тривалості гасіння, інтенсивності подавання та питомої витрати вогнегасного порошка не перевищували 0,5 с, 0,01 кг/(м²·с) та 0,01 кг/м², відповідно.

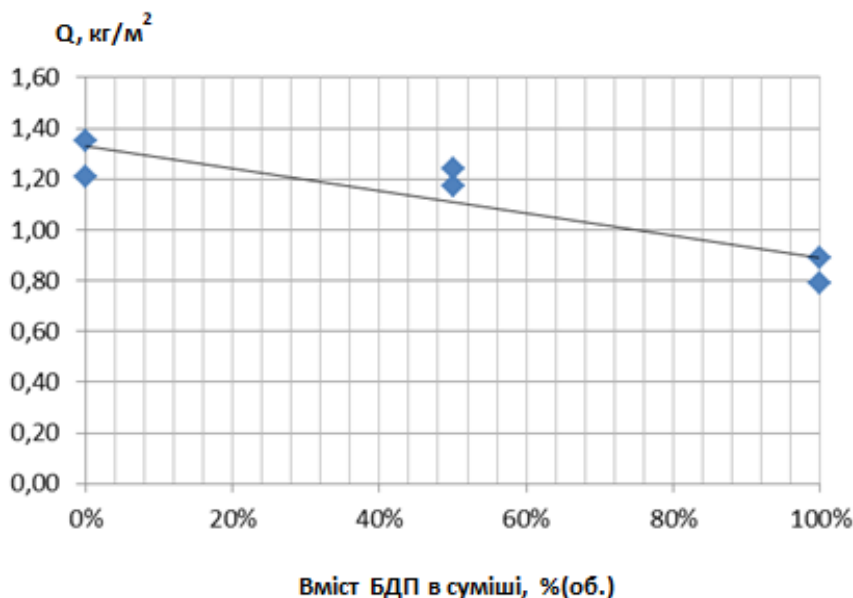


Рисунок 4.15 – Питома витрата вогнегасного порошку за різного за різного вмісту БДП в суміші з ДП

Отримані в ході цих експериментальних досліджень дані вказують, що вогнегасний порошок придатний для гасіння БДП. Разом з тим, його питомі витрати у разі гасіння БДП, ДП та їх бінарної суміші за однакових умов відрізняються і знаходяться в межах $0,79...0,89 \text{ кг/м}^2$, $1,21...1,35 \text{ кг/м}^2$ та $1,17...1,24 \text{ кг/м}^2$, відповідно.

4.2.4 Дослідження з гасіння палива газовими вогнегасними речовинами

Аналіз вітчизняної та європейської нормативної бази, а також практики протипожежного захисту пожежонебезпечних об'єктів в Україні свідчить, що поряд з водними, порошковими, водопінними та аерозольними вогнегасними речовинами в СПБ досить широко застосовуються й ГВР [130].

Як ГВР використовують ряд інгібіторів горіння та інертних розріджувачів, перелік і вимоги щодо яких встановлено серією національних стандартів згармонізованих з EN 15004, а також діоксид вуглецю. В раніше змонтованих системах пожежогасіння використовуються також ряд інших, зокрема, озононебезпечних, ГВР класу інгібіторів горіння, до яких належать хладон 13В1

(газон 1301), хладон 114В2 (галон 2402), брометил та різноманіті суміші хімічних речовин.

Експериментальні дослідження вогнегасної ефективності ГВА проводили із застосуванням устаткування, описаного у підрозділі 2.3 (рисунок 4.16). При цьому як ГВР застосовували діоксид вуглецю, що відповідає вимогам ДСТУ 5092 [131], галон 2402 згідно ГОСТ 15899 [132] та азот.



Рисунок 4.16 – Робочі моменти експериментальних досліджень мінімальної вогнегасної концентрації ГВР

У таблиці 4.11 подано узагальнені результати експериментальних досліджень.

Таблиця 4.11 – Експериментальні дані щодо мінімальних вогнегасних концентрацій і розрахункової питомої витрати досліджуваних ГВР під час гасіння БДП, ДП, а також їх бінарних сумішей

Витрата окисника, дм ³ /хв	Витрата ГВР, за якої досягається гасіння полум'я в модельному осередку, дм ³ /хв			Мінімальна вогнегасна концентрація ГВР, % (об.)			Розрахункова витрата ГВР, за якої досягається гасіння полум'я, кг/м ³		
	CO ₂	N ₂	Галон 2402	CO ₂	N ₂	Галон 2402	CO ₂	N ₂	Галон 2402
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМЖК									
9,5 (30,0 для галону 2402)	2,70	5,35	0,41	22,1	36,02	1,35	0,40	0,42	0,15

Закінчення таблиці 4.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДП									
9,5 (30,0 для галону 2402)	3,10	6,43	0,51	24,6	40,30	1,67	0,44	0,47	0,18
Суміш ДП 70 % (об.) та ЕМЖК 30 % (об.)									
9,5 (30,0 для галону 2402)	2,95	6,05	0,48	23,7	38,90	1,57	0,43	0,46	0,17
Суміш ДП 85 % (об.) та ЕМЖК 15 % (об.)									
9,5 (30,0 для галону 2402)	3,05	6,20	0,49	24,3	39,50	1,61	0,44	0,46	0,17
Суміш ДП 90 % (об.) та ЕМЖК 10 % (об.)									
9,5 (30,0 для галону 2402)	3,05	6,30	0,50	24,3	39,80	1,64	0,44	0,47	0,18

Примітка: Довірчі межі похибки результатів вимірювання мінімальної вогнегасної концентрації під час досліджень не перевищували 1,3 % відносних.

На рисунках 4.17 – 4.19 представлено залежності мінімальної вогнегасної концентрації досліджуваних ГВР за різного вмісту БДП в суміші з ДП, а на рисунку 4.20 розрахункові питомі витрати ГВР.

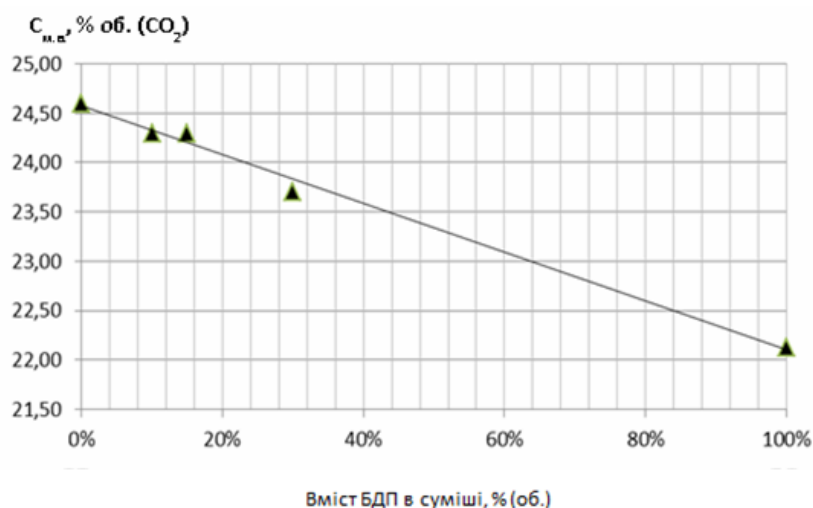


Рисунок 4.17 – Мінімальна вогнегасна концентрація діоксиду вуглецю за різного вмісту БДП в суміші з ДП

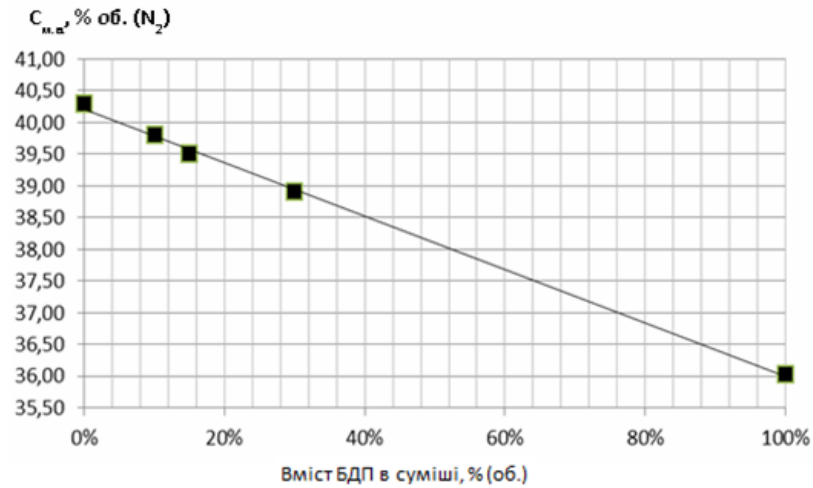


Рисунок 4.18 – Мінімальна вогнегасна концентрація азоту за різного вмісту БДП в суміші з ДП

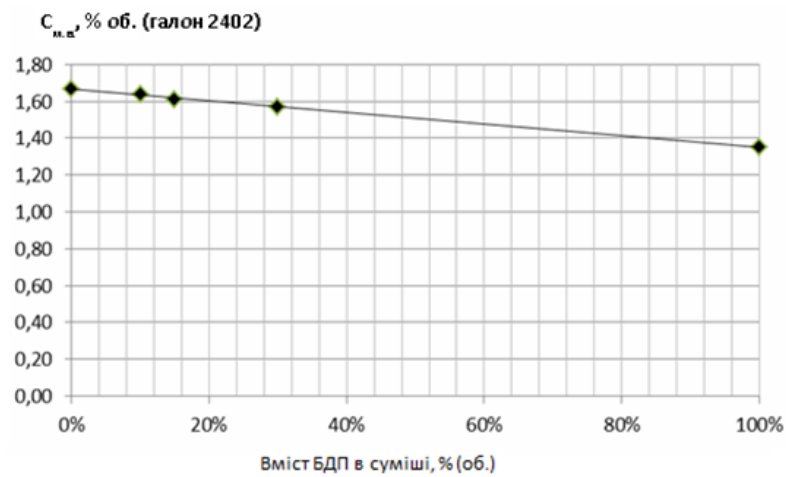


Рисунок 4.19 – Мінімальна вогнегасна концентрація галону 2402 за різного вмісту БДП в суміші з ДП

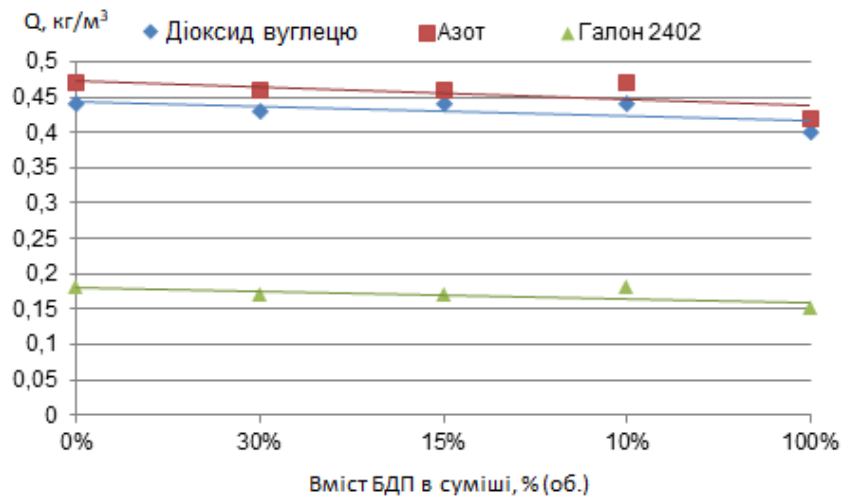


Рисунок 4.20 – Питома розрахункова витрата ГВР, за якої досягається гасіння, за різного вмісту БДП в сумішах з ДП

У результаті досліджень визначено мінімальні вогнегасні концентрації та розрахункові питомі витрати діоксиду вуглецю, азоту та галону 2402 для гасіння БДП, ДП та їх бінарних сумішей. Встановлено, що зі збільшенням частки БДП в суміші з ДП мінімальні вогнегасні концентрації та питомі розрахункові витрати як інертних розріджувачів (діоксид вуглецю, азот), так й інгібітору горіння (галон 2402) дещо знижуються. Значення питомої розрахункової витрати у разі гасіння бінарної суміші ДП з БДП із вмістом останнього 30 % (об.) становлять: для діоксиду вуглецю – $0,43 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, для азоту – $0,46 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та для галону 2402 – $0,17 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Результати цих досліджень підтверджують придатність ГВР класів інгібіторів горіння та інертних розріджувачів для гасіння БДП і його бінарних сумішей з ДП.

4.3 Висновки за розділом

1. Експериментально визначено, що максимальна температура полум'я для БДП склала $651 \text{ }^\circ\text{C}$, для суміші БДП 30 % (об.) та ДП 70% (об.) – $866 \text{ }^\circ\text{C}$, для ДП – $897 \text{ }^\circ\text{C}$, що непрямо вказує на відсутність процесів утворення нових сполук, асоціатів тощо під час змішування ДП і БДП.

2. Встановлено, що за параметрами процесів горіння БДП більш подібні до рослинних жирів, аніж до ДП, причому масова швидкість вигорання БДП вдвічі менша відносно аналогічного показника для ДП та знаходиться у межах від $0,009 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ до $0,025 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Середні питомі масові швидкості вигорання БДП палива та бінарної суміші ДП з БДП з вмістом останнього 30 % (об.) склали $0,017 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $0,018 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Додавання БДП до складу ДП сприяє зниженню останнього масової швидкості вигорання та температури полум'я.

3. Експериментально встановлено, що гасіння БДП повітряно-механічною піною, генерованою з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення, відбувається переважно за рахунок пароутворення. Водночас, накопичення піни на поверхні відбувається повільно, частина її руйнується й відмічається розлітання гарячих краплин рідини. Значення критичної інтенсивності подавання робочого

розчину піноутворювача загального призначення як для БДП так і його бінарних сумішей з ДП складає $0,012 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП піною низької кратності, генерованою з робочих розчинів плівкоутворювального та фторсинтетичного піноутворювачів, можливе за інтенсивності їх подавання $0,046 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, що менше за нормативне значення для гасіння рідин з такими показниками пожежонебезпечності.

4. Виявлено, що водні, порошкові та газові ВР придатні для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП. Найбільш ефективними ВР для гасіння БДП є водні розчини карбонату калію у концентрації не більше 5% та піноутворювача для гасіння пожеж у концентрації до 0,5 %, критична інтенсивність подавання яких складає $0,013 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $0,014 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно.

5. Отримані експериментальні дані щодо умов припинення горіння БДП та його бінарних сумішей з ДП у разі застосування традиційних ВР потребують опрацювання та розроблення з їх урахуванням параметрів подавання цих ВР технічними засобами пожежогасіння.

РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Пропозиції щодо удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива

Враховуючи положення нормативного документа [83] та результати проведених аналітичних, теоретичних та експериментальних досліджень для удосконалення СПБ об'єктів виробництва та застосування БДП слід враховувати такі основні проектні, технічні, технологічні та організаційні заходи:

– під час проектування об'єктів слід враховувати вимоги чинних національних будівельних норм, що стосуються як об'єктів виробництва, зберігання та застосування нафтопродуктів [88-91], так і об'єктів зберігання та переробки насіння олійних рослинних культур [85-87];

– під час розробки технічної та технологічної документації на процеси виробництва, зберігання та застосування БДП слід враховувати фізико-хімічні характеристики як кінцевих продуктів, так і речовин, що обертаються у технологічному процесі, враховуючи при цьому вимоги національних стандартів [1, 32, 33]. Значної уваги потребує питання очищення кінцевого продукту (БДП) від спирту. Наявність слідів спирту в БДП суттєво змінює його пожежонебезпечні характеристики й відповідно може зводити нанівець передбачені протипожежні заходи;

– на технологічному майданчику підприємства із виробництва БДП як одну з найбільш вибухопожежонебезпечних ділянок слід розглядати ділянку етерифікації, що включає в себе приміщеннями реакторного відділення та приміщення приготування каталізатора, в яких в певний момент часу знаходиться значна кількість легкозаймистих і горючих рідин. При цьому, ці два приміщення обов'язково мають бути не суміжними;

– під час визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпеками для приміщення реакторного відділення ділянки етерифікації слід розглядати найгірший сценарій розрахункової аварії, тобто коли відбувається руйнування трубопровода закачування каталізатора в реактор або руйнування

безпосередньо реактора, і у приміщення надходить каталізатор на основі метанолу (етанолу), які відповідно мають властивість випаровуватися та утворювати вибухонебезпечне горюче середовище;

– зниження категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення реакторного відділення можна досягти шляхом улаштування засобів обмеження площі розливу легкозаймистих рідин у разі виникнення аварійних ситуацій, а також улаштування місцевих аварійних вентиляційних систем;

– у разі віднесення приміщення реакторного відділення чи приміщення приготування каталізатора до категорії А за вибухопожежною та пожежною небезпекою, здійснення розрахунків легкоскрипних конструкцій для цих приміщень є обов'язковими;

– улаштування АСПГ у виробничих та складських приміщеннях БДП здійснювати згідно з нормами [97], при цьому під час вибору ВР для АСПГ, перевагу слід віддавати ТРВ та тонкорозпиленим ВВР, що є найбільш ефективними для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП. Рекомендовані параметри подавання ВР під час проектування АСПГ слід приймати відповідно до даних, наведених нижче у таблиці 5.2;

– для гасіння пожеж резервуарів з БДП слід віддавати перевагу повітряно-механічній піні низької кратності, генерованій з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення, що подається на поверхню горючої рідини з інтенсивністю на менше ніж $0,046 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$. Застосування піни середньої кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення, для гасіння таких пожеж слід уникати у зв'язку з можливим нараженням особового складу пожежно-рятувальних підрозділів на небезпеку, пов'язану із скипанням горючої речовини та виходу її за межі резервуара;

– для цілей пожежогасіння у приміщеннях приготування каталізатора, які, як правило, мають невеликий об'єм та проектуються окремо від основного виробничого приміщення, серед АСПГ доцільно надавати перевагу стаціонарним модульним порошковим системам пожежогасіння;

– вибір первинних засобів пожежогасіння (переносних та пересувних вогнегасників), як для виробничих і складських приміщень, так і для об'єктів застосування БДП, зокрема автозаправних станцій, слід здійснювати згідно із правилами [96], при цьому віддавати перевагу вогнегасникам із зарядом вогнегасного порошку, що є ефективними для гасіння загорянь БДП на початкових стадіях, а також найбільш доступними та поширеними на ринку України;

– режимні заходи заперечення пожежної безпеки на об'єктах виробництва, зберігання та застосування БДП слід здійснювати із додержанням загальнодержавних правил пожежної безпеки [92].

Запропоновані вище заходи актуальні й для заводу з виробництва БДП, що створений у відокремленому підрозділі “Агрономічна дослідна станція” (с. Пшеничне, Васильківський район, Київська обл.) Національного університету біоресурсів і природокористування України, якому надано відповідні рекомендації.

5.2 Розрахунок рівня пожежонебезпеки типового об'єкта виробництва біодизельного палива із застосуванням удосконаленого методу Гретенера

У цьому підрозділі подано результати розрахунку рівня пожежонебезпеки об'єкта за методом Гретенера, викладеного в [3], з урахуванням запропонованого значення чинника ($S_5=2,0$) для АСПГ (спринклерних, дренчерних, пожежогасіння тонкорозпиленою водою) як таких, що можуть бути найбільш ефективними згідно з результатами проведених експериментальних досліджень процесів припинення горіння БДП та його бінарних сумішей з ДП.

Незважаючи на те, що в цьому розрахунку враховували наявність на ділянці етерифікації АСПГ, як недолік методу Гретенера слід визнати, що він не передбачає коректної диференційної оцінки впливу на рівень пожежної небезпеки виду ВР, використовуваної в АСПГ (зокрема, системи пінного пожежогасіння чинником S_5 взагалі не передбачені), залежно від якої АСПГ за фективністю можуть значно відрізнятися між собою. Відповідно, у разі застосування цього методу для оцінки рівня пожежної небезпеки об'єктів виробництва рідких

альтернативних видів біопалива, його доцільно удосконалити шляхом застосування значень чинника (S_5) з урахуванням виду ВР, що застосовується в АСПГ, які у випадку біодизельного палива мають такі величини:

2,00 – для АСПГ із застосуванням ТРВ та тонкорозпилених ВВР;

1,75 – для АСПГ із застосуванням ГВР та вогнегасних порошків;

1,35 – для АСПГ пінного пожежогасіння;

1,00 – у разі відсутності АСПГ.

Зазначені величини розраховано як співвідношення питомої витрати найбільш ефективних вогнегасних речовин (ТРВ та тонкорозпилених ВВР), що має місце за рекомендованої інтенсивності їх подавання, до питомої витрати вогнегасних речовин кожного з видів під час гасіння модельних вогнищ пожежі, визначеної також за рекомендованої інтенсивності їх подавання.

Мінімальні та максимальні значення чинника (S_5) не суперечать загальній концепції розрахунку згідно з методом Гретенера, наведеним у [3].

Отримані дані у порівнянні з результатами розрахунку, наведеного у підрозділі 3.1, узагальнено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку рівня пожежонебезпеки реакторного відділення дільниці етерифікації об'єкта з виробництва БДП до та після удосконалення методу Гретенера

<u>Вихідні дані для розрахунку:</u>		
Дільниця етерифікації об'єкта виробництва БДП, що розміщена в одноповерховій залізобетонній будівлі II ступеню вогнестійкості, розміром 40 м на 80 м та висотою 10 м, в якій близько 90 % загальної площі займає реакторне відділення. Максимальна продуктивність підприємства – 20 тис. л БДП та 2 тис. л гліцерину на добу		
Найменування показника	Результати розрахунків за методом Гретенера до його удосконалення	Результати розрахунків за методом Гретенера після його удосконалення
1	2	3
Добова пожежна навантага, Q_n	485,6 МДж/м ²	485,6 МДж/м ²
Потенційна небезпека об'єкта, P	5,2	5,2
Загроза виникнення пожежі, O_n	7,5	7,5
Чинник нормативних заходів, N	1,0	1,0

Закінчення таблиці 5.1

1	2	3
Чинник спеціальних заходів, S	3,3	3,9
Чинник вогнестійкості будівельних конструкцій, F	1,5	1,5
Пожежозахищеність, Z	4,9	5,9
Пожежонебезпека, P	1,5	1,3
Допустима пожежонебезпека, P_d	1,3	1,3
Рівень пожежонебезпеки, U	1,2	1,0

Наведене у таблиці 5.1 вказує на те, що правильний вибір АСПГ з відповідною ВР для захисту реакторного відділення дільниці етерифікації об'єкта виробництва БДП, у цьому випадку АСПГ, що забезпечує гасіння ТРВ або тонкорозпиленою ВВР (вода з добавками), є одним з можливих способів удосконалення СПБ цього об'єкта. При цьому слід відзначити, що пожежозахищеність об'єкта (Z) підвищилася до значення 5,9, значення пожежонебезпеки (P) знизилася до 1,3, тобто до допустимого рівня (P_d) для цього об'єкта, а значення рівня пожежонебезпеки (U) склало 1,0, що також не перевищує допустимого значення згідно з [3].

5.3 Рекомендовані параметри подавання вогнегасних речовин для гасіння біодизельного палива та його бінарних сумішей з дизельним паливом із застосуванням технічних засобів пожежогасіння

З урахуванням даних отриманих в ході проведення експериментальних досліджень щодо процесів припинення горіння БД та його бінарних сумішей з ДП у разі застосування класичних ВР, запропоновано рекомендовані параметри подавання ВР у разі застосування технічних засобів пожежогасіння, які узагальнено у таблиці 5.2. Зазначені параметри прийнято з урахуванням хімічної природи та експлуатаційних властивостей вогнегасних речовин різних типів. Зокрема, враховано порівняльну ефективність піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж.

Таблиця 5.2 – Рекомендовані параметри подавання ВР технічними засобами пожежогасіння для гасіння пожеж БДП та його бінарних сумішей з ДП

Вогнегасна речовина		БДП	Бінарна суміш БДП 30 % (об.) з ДП 70 % (об.)
Інтенсивність	ТРВ	$\geq 0,13 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$	$\leq 0,13 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$
	Тонкорозпилений водний розчин карбонату калію (концентрацією 5 %)	$\leq 0,033 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$	$\geq 0,033 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$
	Тонкорозпилений водний розчин піноутворювача загального призначення (концентрацією до 0,5 %)	$\geq 0,030 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$	$\geq 0,040 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$
	Тонкорозпилений водний розчин плівкоутворювального піноутворювача (концентрацією до 0,1 %)	$\geq 0,035 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$	$\geq 0,035 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$
	Піна середньої кратності, генерована з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення	$\geq 0,041 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$	$\geq 0,041 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$
	Піна низької кратності, генерована з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення	$\geq 0,046 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$	$\geq 0,046 \text{ дм}^3/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$
Питома витрата	Вогнегасний АВС-порошок	$\geq 1,09 \text{ кг/м}^2$	$\geq 1,57 \text{ кг/м}^2$
	Діоксид вуглецю	$\geq 0,52 \text{ кг/м}^3$	$\geq 0,56 \text{ кг/м}^3$
	Азот	$\geq 0,55 \text{ кг/м}^3$	$\geq 0,60 \text{ кг/м}^3$
	Галон 2402	$\geq 0,20 \text{ кг/м}^3$	$\geq 0,22 \text{ кг/м}^3$

Дані, наведені в таблиці 5.2, є добутком значень експериментально отриманих параметрів подавання ВР з їх коефіцієнтами безпеки.

Як коефіцієнти безпеки залежно від виду ВР та способу гасіння, за результатами аналізування стандартів і літературних джерел, зокрема [133-135] прийнято такі їх значення:

- для ТРВ та тонкорозпилених ВВР – 2,5;
- для піни середньої кратності – 2,3;
- для піни низької кратності – 2,2;
- для ГВР та вогнегасних порошоків – 1,3.

Нормативні параметри подавання ВР для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП із застосуванням технічних засобів пожежогасіння мають бути обґрунтовані шляхом проведення натурних полігонних випробувань, що є предметом подальших досліджень.

5.4 Висновки за розділом

1. Застосування розроблених пропозицій, що ґрунтуються на результатах аналітичних, теоретичних та експериментальних досліджень, сприяє зниженню рівня пожежонебезпеки об'єктів із наявністю БДП та його бінарних сумішей з ДП та відповідно призводить до удосконалення їх СПБ.

2. Набуває актуальності питання проведення подальших досліджень, спрямованих на обґрунтування з урахуванням рекомендованих параметрів подавання ВР нормативних параметрів подавання ВР для гасіння БДП та його бінарних сумішей з ДП, а також внесення змін і доповнень у вітчизняні нормативні документи, що стосуються забезпечення пожежної безпеки об'єктів з наявністю горючих рідин.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною кваліфікаційною науковою працею, вирішено прикладну наукову задачу, яка полягає в розкритті особливостей впливу чинників на пожежонебезпечність БДП і його бінарних сумішей з ДП, параметри процесів горіння, процеси його припинення у разі застосування ВР як наукового підґрунтя удосконалення СПБ об'єктів виробництва та застосування такого палива.

Отримано наукові та практичні результати, які наведено нижче.

1. Встановлено, що питання стану СПБ об'єктів виробництва та застосування альтернативних видів біопалива, зокрема БДП, є актуальним й потребує вивчення та виявлення можливих шляхів їх удосконалення. Зокрема, це підтверджується відсутністю обґрунтованих нормативних та літературних даних щодо параметрів подавання ВР для гасіння саме БДП та його бінарних сумішей з ДП, недостатнім вивченням з точки зору побудови СПБ об'єктів виробництва такого палива на лініях етерифікації рослинної олії, додавання присадок, зберігання тощо, а також відсутністю інформації стосовно пожежонебезпечних характеристик БДП та його бінарних сумішей з ДП, що в цілому унеможлиблює побудову ефективних СПБ та комплексу протипожежних заходів для об'єктів де таке паливо обертається.

2. Теоретичним розрахунком за методом Гретенера для типового об'єкта виробництва біодизельного палива встановлено, що з урахуванням вимог вітчизняної нормативної бази значення пожежонебезпеки об'єкта (I) становить 1,5, а рівень пожежобезпеки ($У$) – 1,2, що перевищує граничні значення цих показників й вказує на недостатній рівень СПБ такого об'єкта. Зроблено припущення, що удосконалення СПБ об'єкта виробництва БДП можливо досягти підвищенням ефективності її окремих елементів, зокрема, раціональним вибором виду і кількості ВР для АСПГ такого об'єкта. Запропоновано удосконалення методу Гретенера для об'єктів з наявністю БДП, що дає змогу проводити розрахунки більш коректно і, відтак, обґрунтовано визначати шляхи зниження рівня пожежонебезпеки таких об'єктів.

3. Проведені експериментальні дослідження дали змогу оцінити пожежонебезпечність БДП у порівнянні з ДП. Їх результати показали, що БДП є менш пожежонебезпечним, але особливістю процесу його горіння є наявність ознак, характерних для процесів горіння жирів рослинного та тваринного походження. Зі збільшенням частки БДП у бінарній суміші з ДП до 30 % (об.) пожежонебезпечність останньої зменшується, а температури спалаху в закритому/відкритому тиглі, займання і самозаймання становлять 77 °С/87 °С, 111 °С і 225 °С, відповідно. З'ясовано, що за параметрами процесів горіння БДП більше подібне до рослинних жирів, аніж до ДП, причому питома масова швидкість вигорання БДП удвічі менша за аналогічний показник для ДП та знаходиться у межах від 0,009 кг/(м²·с) до 0,025 кг/(м²·с), а її середнє значення становить 0,017 кг/(м²·с).

4. Встановлено, що значення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювача загального призначення під час гасіння піною середньої кратності як для БДП, так і його бінарних сумішей з ДП знаходиться в межах від 0,012 дм³/(м²·с) до 0,016 дм³/(м²·с). Гасіння піною низької кратності, генерованою з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення, досягається у всіх випадках за інтенсивності подавання, що є нижчою за нормативну.

5. Виявлено, що найбільш ефективними тонкорозпиленими ВВР для гасіння БДП є водні розчини карбонату калію з концентрацією до 5 % і водні розчини піноутворювачів для гасіння пожеж з концентрацією до 0,5 %, критична інтенсивність їх подавання становить 0,013 дм³/(м²·с) та 0,012...0,014 дм³/(м²·с) відповідно. До того ж, додавання до води цих добавок призводить до інверсії характеру залежності критичної інтенсивності подавання ВВР від вмісту БДП в його бінарних сумішах з ДП.

6. Показано, що питома витрата вогнегасного порошку для гасіння БДП менша, ніж для ДП, і становить у середньому 0,84 кг/м². Аналогічний показник для бінарної суміші ДП з БДП із вмістом останнього 50 % (об.) дорівнює 1,30 кг/м². Питомі витрати діоксиду вуглецю, азоту та галону 2402, за яких досягається гасіння БДП, становлять не менше ніж 0,40 кг/м³, 0,42 кг/м³ та 0,15 кг/м³,

відповідно, при цьому виявлено, що питома витрата ГВР класів “інгібітори горіння” та “інертні розріджувачі” майже не залежить від компонентного складу суміші БДП з ДП.

7. З урахуванням особливостей пожежонебезпечності та процесів припинення горіння БДП та його бінарних сумішей з ДП розроблено пропозиції щодо удосконалення СПБ об’єктів виробництва та застосування БДП, зокрема за рахунок вибору найбільш ефективних для їх гасіння ВР та обґрунтовано рекомендовані параметри їх подавання технічними засобами пожежогасіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови. Чинний від 2015–05–28. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 18 с.

2. Закон України «Про альтернативні види палива» № 1391–XIV від 14.01.2000. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>.

3. Осипова М.Н. Методическое пособие по оценке пожароопасности помещений методом Гретенера. М.: НОУ «Такир», 1998. 68 с.

4. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою категорійність. Чинний від 2017–07–01. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 60 с.

5. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. Чинний від 2020–01–01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 146 с.

6. ДСТУ EN ISO 1716:2019 Випробування виробів щодо реакції на вогонь. Визначення величини теплоти згорання (теплотворна здатність) (EN ISO 1716:2018, IDT; ISO 1716:2018, IDT). Чинний від 2020–01–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 25 с.

7. ДСТУ 3789:2015 Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування. Чинний від 2016–07–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 33 с.

8. ДСТУ EN 615:2017 Протипожежний захист. Вогнегасні речовини. Вимоги до вогнегасних порошків (крім порошків для гасіння пожеж класу D) (EN 615:2009, IDT). Чинний від 2017–10–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 38 с.

9. ДСТУ 3958:2015 Пожежна безпека. Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників якості. Загальні технічні вимоги і методи випробування. Чинний від 2016–07–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 19 с.

10. Методика УкрНДПБ № 2000/2-ПУ-10 з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача для піни середньої кратності при гасінні горючих рідин. К.:УкрНДПБ, 2000. 12 с.

11. Методика УкрНДПБ № 64 з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності. К.:УкрНДПБ, 2006. 12 с.

12. Експрес-методика УкрНДЦЗ № 2013/166-1Ц з дослідження вогнегасної ефективності вождних вогнегасних речовин під час гасіння вогнищ пожежі класу В їх тонко розпиленими струменями. К.:УкрНДЦЗ, 2013. 9 с.

13. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2019 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: https://undicz.dsns.gov.ua/files/2020/1/27/Analitchna%20dovidka%20pro%20pojeji_12.2019.pdf.

14. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://korrespondent.net/world/4128304-v-brazylyu-horyt-zavod-po-proyuzvodstvu-byotoplyva>.

15. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://prm.ua/pid-odesoyu-masshtabna-pozhezha-na-maslopererobnomu-zavodi-lyudey-evakuyuyut-pershi-video-ta-podrobisi>.

16. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://espreso.tv/news/2018/11/07/v-odesi-stalasya-masshtabna-pozhezha-na-maslopererobnomu-zavodi>.

17. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://unian.ua/incidents/10163600-pozhezha-na-spirtzavodi-u-zbarazhi-ryatuvalniki-evakuyuvani-350-miscevih-meshkanciv-foto.html>.

18. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://youtube.com/watch?v=1x4hO23P0KY>.

19. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://tsn.ua/svit/v-ispaniyi-gorit-zavod-biopaliva-ye-zhertvi-586048.html>.

20. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://rediff.com/news/report/pix-raging-inferno-envelops-bio-diesel-unit-at-vizag/20160427.htm>.

21. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%D0%9F%D0%BE%...96>.
22. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://ru.tsn.ua/auto/video/video-novini/vo-floride-gorit-zavod-po-proizvodstvu-biodizelya.html>.
23. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://rus.delfi.ee/daily/criminal/foto-spasateli-desyat-chasov-tushili-pozhar-na-zavode-v-antsla?id=69656083>.
24. Major accident hazard in biodiesel production processes. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.014>.
25. Calvo Olivares, Romina & Rivera, Selva & Núñez Mc Leod, Jorge. (2014). Database for accidents and incidents in the biodiesel industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2014. Volume 29. P. 245-261.
26. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://researchgate.net/publication/256001513_Emerging_safety_issues_for_biodiesel_production_plant.
27. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://researchgate.net/publication/44262138_Human_Error_in_Biofuel_Plants_Accidents.
28. Explosion rocks biodiesel plant, Meridian man killed. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://ktvb.com/news/localnews/stories/ktvbn-jul0706-new_plymouth.3504db03.html.
29. Biodiesel Plant Safety. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://biodieselmagazine.com/articles/4055/biodiesel-plant-safety>.
30. Guy Marlair, Patricia Rotureau, Hervé Breulet, Sylvain Brohez. Biofuels for transport in the 21st century: why fire safety is a real issue. *11 International Conference fire and material*. San Francisco, USA, Jan 2007. P.p.NC. ineris-00976177.
31. Carine Riviere, Guy Marlair, Alexis Vignes. Learning of the root factors of incidents potentially impacting the biofuel supply chains from some 100 significant cases. *13 International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industry*. Bruges, Belgium, Jun 2010. P. 35-42.

32. Друкований М.Ф., Алексевич І.М. Робота дизельних двигунів на біодизельному паливі рослинного походження. *Вібрації в техніці та технологіях: Журнал ВНАУ*. 2016. № 1 (81). С. 132–135.

33. ДСТУ 6081:2009 Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги. Чинний від 2010–03–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2009. 16 с.

34. ДСТУ 7178:2010 Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання. Чинний від 2011–07–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2010. 16 с.

35. EN 14214:2012+A2:2019 Liquid petroleum products-Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications-Requirements and test methods. В: European Committee for Standardization, 2012. 30 p.

36. ASTM D 6751 Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

37. DIN V 51606:1994 Liquid fuels - Diesel fuel of fatty acid methylester (FAME)- Specifications. Deutsches Institut für Normung, 1997.

38. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Шляхи забезпечення протипожежного захисту процесів виробництва рідкого моторного біопалива та об'єктів з його наявністю. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2011. № 2 (24). С. 124–131.

39. Marlair G., Rotureau P., Breulet H. and Brohez S. Booming development of biofuels for transport: Is fire safety of concern? *Fire Mater.* 33. 2009. P. 1-19. doi:10.1002/fam.976.

40. Ballerini D. Biofuels: State of the art, perspectives & development issues (in French). *IFP Publications*. Paris, 2006.

41. Safety Data Sheet “Biodiesel Blend (B5 Biodiesel, B20 Biodiesel, B50 Biodiesel)”. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://static1.squarespace.com/static/54f0b505e4b017cb0d7a6f26/t/55686b7ce4b0e0f69ff4dc5d/1432906620844/Tesoro+Biodiesel+Blend+SDS.pdf>.

42. Кирилов Н.Г. Альтернативные моторные топлива XXI века. *Автогазозаправочный комплекс+альтернативное топливо*. 2003. № 3. С. 58–63.
43. Марков В.А., Гайворонский А.И., Девянин С.Н. и др. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля. *Автомобильная промышленность*. 2006. № 2. С. 1–3.
44. Семенов В.Г. Оптимизация состава бинарного альтернативного дизельного топлива. *Химия и технология топлив и масел*. 2003. № 4. С. 29–32.
45. Марченко А.П., Семенов В.Г., Семенова Д.У. и др. Исследования физико-химических показателей альтернативного биотоплива на основе рапсового масла. *Вестник харьковского государственного политехнического университета. Машиностроение*. 2000. Вып. 101. С. 159–163.
46. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). Чинний від 2016–01–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2014. 5 с.
47. ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров. Введен 1988–01–01. М.: Министерством внутренних дел СССР, 1987. 4 с.
48. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Боровиков В.О. Особливості процесів горіння дизельного біопалива, його сумішей з нафтовим дизельним паливом та процесів взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям під час їх гасіння. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2019. № 11 (73), том 2. С. 52–63.
49. NFPA 17A-2017 Standard for Wet Chemical Extinguishing Systems. USA: National Fire Protection Association, 2017.
50. EN 16282-7:2017 Equipment for commercial kitchens – Components for ventilation in commercial kitchens – Part 7: Installation and use of fixed fire suppression systems. В: European Committee for Standardization, 2017. 13 p.
51. NFPA 36-2017 Standard for Solvent Extraction Plants. USA: National Fire Protection Association, 2017.
52. NFPA 16-2019 Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems. USA: National Fire Protection Association, 2019.

53. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. в 2-х ч. изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Асс. “Пожнаука”, 2004. 713 с.

54. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. в 2 книгах. М.: Химия, 1990. 496 с.

55. Білкун Д.Г., Боровиков В.О., Скоробагатько Т.М., Чеповський В.О. Проблеми пошуку ефективних засобів гасіння біобензину. *Збірник наукових праць: Пожежна безпека*, ЛДУ БЖД. 2009. № 15. С. 101–107.

56. Tokahashi Nobuyuki, Kuroda Yuji Эффективность огнетушащих средств при тушении этилированного бензина. The effectiveness of fire extinguishing agents in extinguishing leaded gasoline. *РЖ Пожарная охрана*. 2008, 2745. № 10. С. 77–84.

57. Dimaio Louis R. Тушение этилированного бензина. Extinguishing gasohol fires. *РЖ Пожарная охрана*. 1980, 12A178. т. 74, № 2. С. 60–63.

58. Noll Greg Тушение спиртобензиновых смесей пеной. Evaluating the use of firefighting foams. *РЖ Пожарная охрана*. 1986, 12A351. т. 139, № 2. С. 44, 46, 47, 49.

59. Корольченко А.Я., Шароварников С.А. Тушение смесевых топлив фторсодержащими пенообразователями. *Транспорт и хранение нефтепродуктов*. М.: ЦНИИТЭНефтехим. 1996. Вып. 8-9. С. 14–17.

60. Воевода С.С., Макаров С.А., Грошев М.А. Математическое моделирование тушения пламени нефтепродуктов пленкообразующей пеной. *Пожаровзрывобезопасность*. 2003. т. 12, № 6. С. 43–45, 98.

61. Воевода С.С., Макаров С.А., Шароварников А.Ф., Шароварников С.А. Комплексные исследования свойств фторсинтетической пены для тушения нефтепродуктов. *Пожаровзрывобезопасность*, 2003. т. 12, № 6. С. 39–42, 98.

62. Макаров С.А., Кряквин А.К., Беляев С.Г., Грошев М.А. Низкократная фторсинтетическая пленкообразующая пена – эффективное средство тушения пожаров нефтепродуктов: юбилейный сборник научных трудов Академии

государственной противопожарной службы МВД России. Иваново: Изд. ИВГУ, 2001. С. 86–91.

63. Применение пены для тушения пожаров резервуаров с горючими жидкостями. *РЖ Пожарная охрана*. 1987, 8А144. т. 79, № 983. С. 35.

64. Ryderman Anders Испытание пены в качестве огнетушащего агента для полярных растворителей и нефтепродуктов. Testing of foam as a fire extinguishing medium for polar solvent and petroleum fires. *РЖ Пожарная охрана*. 1983, 3А131. С. 12-16.

65. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://latifundist.com/novosti/39424-mirovloe-proizvodstvo-biodizelya-v-2018-g-sostavit-375-mln-t>.

66. Директива Ради 2003/30/ЕС Европейського Парламенту та Ради від 08.05.2003 “Про сприяння використанню біопалива або іншого відновлюваного палива для транспорту”. [Електронний ресурс]. Режим доступа: URL: http://sae.gov.ua/documents/dyrektyva_2003_30_ES.pdf.

67. Dongquan H., Wang M. Contribution feedstock and fuel transportation to total fuel-cycle tnergy use and emissions. *SAE Transactions*. 2000. Vol. 109. P. 3097–3111.

68. Деревянин С.Н., Макаров В.А., Семеев В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Х.: Новое слово, 2007. 452 с.

69. Desantes. J., Arrègle J., Ruiz S. Characterisation of the InjectionCombustion Process in a diesel engine running with rape oil methyl tster. *SAE Technical Paper Series*. 1999. №1999-01-1497. P. 1–8.

70. Hohl G.H. Rape oil methyl ester (RME) and used cooking oil meth yl ester (UOME) as alternative fuels. *SAE Technical Paper Series*. 1995. № 952755. P. 163–170.

71. May H., Hattingen K., Birkner C., & adt Neuere untersuchungen ueber die umweltvertraeglichkeit und die dauerstandfestigkeit von vorkammer-und direkteinspritzenden dieselmotoren bei betrieb mit rapsoel und rapsoelmethylester. *VDI-Berichte*. 1992. Vol. 1020. P. 189–212.

72. Широкомасштабні експерименти по введенню рапсового масла в дизельне паливо. *Автомобільна промисловість США*. 1997. № 3. С. 5–9.

73. Лютко В., Луканин В., Хачиян А. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. 311 с.

74. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.

75. “Про затвердження програми розвитку виробництва біодизельного палива”. Постанова КМУ № 1774 від 22.12.2006. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1774-2006-%D0%BF#Text>.

76. Особливості виробництва біодизельного палива. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://ihf.kpi.ua/files/downloads/%D1%81%D1%82 %D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F16pdf.pdf>.

77. Голуб Г.А., Павленко М.Ю., Чуба В.В. Виробництво та використання дизельного біопалива. Механіко-технологічні основи: монографія. К.: НУБіП України, 2017. 340 с.

78. Поліщук М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2013. Вип. 185, ч.1. С.161-166.

79. Деревянин С.Н., Марков В.А., Кршунов Д.А. Использование смесевых биотоплив в дизелях. *Сборник научных трудов по проблемам двигателестроения, посвященный 175 летию МГТУ им. Н.Э. Баумана*. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. С. 63–68.

80. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%B%D1%8C>.

81. Проблемні питання розвитку біодизельного виробництва в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://brc.undp.org.ua/img/publications/Problems_of_biodiesel_production_ua.pdf.

82. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Білкун Д.Г. Оцінка пожежної небезпеки дільниці етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива методом Гретенера. *Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал*. 2012. № 1 (25). С. 54–59.

83. Девянін С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Рослинні олії і палива на їх основі для дизельних двигунів. Х.: Нове слово, 2007. 452 с.

84. Скоробагатько Т.М., Білкун Д.Г., Боровиков В.О. Пожежна небезпека дизельного палива та проблемні питання його гасіння. *Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал*. 2009. № 2 (20). С. 52–56.

85. СНИП 02.09.02-85* Производственные здания. Действует с 1987–01–01. М.: Госстрой СССР, 1985. 17 с.

86. СНИП 02.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий. Изменение № 1 (национальное). Действует с / 2005–04–01. К.: Госстрой Украины, 2004. 3 с.

87. ВНТП 20-91 Ведомственные нормы технологического проектирования предприятий по производству растительных масел из семян масличных культур (подсолнечника, сои). С изменением. Действует с 1992–10–01. М.: Гипропищепром, 1991. 17 с.

88. ВБН В.2.2-58.1-94 Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Действует с 1994–04–01. М.: МНТКБ, 1994. 149 с.

89. ВБН В.2.2-58.2-94 Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Действует с 1994–10–01. К.: Держкомнафтогаз України, 1994. 98 с.

90. ДСТУ Б В.2.6-183:2011 Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів. Загальні технічні умови (ГОСТ 31385-2008, NEQ). Чинний від 2012–10–01. К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 2011. 82 с.

91. ДБН А.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. Чинний від 2019–10–01. К.: Мінрегіонбуд, 2019. 177 с.

92. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.201 № 1417. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>.

93. Правила безпеки для олійно-жирового виробництва, затверджені наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 22.04.1997 № 99. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://sop.zp.ua/norm_praop_15_4-1_06-97_02_ua.php.

94. Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів, затверджені наказом Мінпаливенерго України 04.12.2008 року № 658. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-09#Text>.

95. Правила пожежної безпеки для підприємств з переробки ефірно-олійної сировини, затверджені Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи 10.04.2007 № 252/235. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0495-07#Text>.

96. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України від 15.01.2018 № 25. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

97. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту (зі зміною №1). Чинний від 2015–07–01. К.: Мінрегіон України, 2015. 127 с.

98. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. Чинний від 2020–01–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 132 с.

99. ДСТУ Б EN 12845:2016 Стаціонарні системи пожежогасіння. Автоматичні спринклерні системи. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 12845:2015, IDT). Чинний від 2016–09–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 207 с.

100. ДСТУ Б CEN/TS 14816:2013 Стаціонарні системи пожежогасіння. Дренчерні системи. Проектування, монтування та технічне обслуговування

(CEN/TS 14816:2008, IDT). Чинний від 2014-04-01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2013. 45 с.

101. ДСТУ Б 13565-2:2013 Стационарні системи пожежогасіння. Системи пінного пожежогасіння. Частина 2. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 13565-2:2009, IDT). Чинний від 2014-04-01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2013. 98 с.

102. ДСТУ 4578:2006 Системи пожежогасіння діоксидом вуглецю. Проектування та монтаж. Загальні вимоги. Чинний від 2007-01-01. К.: Держспоживстандарт, 2006. 42 с.

103. “Про забезпечення колісних транспортних засобів первинними засобами пожежогасіння”. Постанова КМУ № 934 від 03.09.2009. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1128-97-%D0%BF#Text>.

104. Федоровський В.В. Підвищення ефективності систем забезпечення пожежної безпеки підприємств олійно-жирового виробництва: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Львів, 2018. 202 с.

105. Деревинський Д.М. Обґрунтування умов застосування вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту газокompресорних станцій: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Київ, 2005. 191 с.

106. Баланюк В.М. Удосконалення аерозолевої вогнегасної речовини на основі солей калію та обґрунтування умов її застосування: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Львів, 2007. 172 с.

107. Шкоруп О.І. Визначення раціональних параметрів комбінованої подачі вогнегасних речовин для підвищення ефективності пожежогасіння: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Макіївка, 2003. 211 с.

108. Цапко Ю.В. Дослідження умов флегматизування горючих газових середовищ озононеруйнівними газовими вогнегасними речовинами: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Київ, 2003. 196 с.

109. ДСТУ 3675–98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. Зі зміною № 1. Чинний від 1999–01–01. К.: Держспоживстандарт України, 1998. 98 с.

110. Дунюшкін В.О., Огурцов С.Ю., Цимбалістий С.З. Дослідження параметрів горіння модельних вогнищ класу А. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2011, № 1 (23). С. 37–47.

111. ДСТУ CEN/TS 14972:2016 Стаціонарні системи пожежогасіння. Системи пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Проектування та монтування (CEN/TS 14972:2011, IDT). Чинний від 2016–08–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 84 с.

112. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT). Чинний від 2018–01–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 32 с.

113. Білошицький М.В. Посібник з практичного застосування ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. К.: ТОВ “Київська книжково-журнальна фабрика”, 2018. 192 с.

114. ДСТУ 3868–99 Паливо дизельне. Технічні умови. – Чинний від 1999–01–01 (скасований у 2014 році). К.: Держстандарт України, 1999. 34 с.

115. Горшков В.И. Тушение пламени горючих гидкостей: монография. М.: Пожнаука, 2007. 267 с.

116. Скоробагатько Т.М., Огурцов С.Ю., Стилик І.Г., Бенедюк В.С. Дослідження параметрів горіння біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2015. № 2 (32). С. 95–100.

117. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=775.

118. Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П., Жартовський В.М., Ковалишин В.В. Вогнегасні речовини: посібник. К.: Пожінформтехніка, 2004. 176 с.

119. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Химия, 1983. 264 с.

120. Шароварников А.Ф. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. М.: Пожнаука, 2005. 335 с.

121. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии: изд. 2-е. М.: Химия, 1975. 416 с.

122. ТУ 38-00-05807999-20-93 Пенообразователь “ПО-ЗНП” (с изим. 1–6).

123. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://markogroup.com/ru/Firefighting_Foam%20Concentrate.

124. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://books.google.com.ua/books?id=zjAsDwAAQBAJ&pg=PA77&lpg=PA77&dq=%E2%80%9CFluoropolydol%E2%80%9D&source=bl&ots=haQmmo4JGB&sig=ACfU3U180iO43pP34LNxhlTB1xn4BNa06g&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwiM-7Tq17roAhW0QUEAHc3WDDMQ6AEwA3oECAoQAQ#v=onepage&q=%E2%80%9CFluoropolydol%E2%80%9D&f=fals>.

125. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Результати експериментальних досліджень гасіння окремих зразків моторного біопалива та палива моторного сумішевого пінами середньої та низької кратності. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2010. № 2 (22). С. 142–147.

126. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Копильний М.І. Ефективність гасіння бінарних сумішей дизельного та біодизельного палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2013. № 1 (27). С. 92–99.

127. Скоробагатько Т.М., Копильний М.І., Маладика І.Г. Ефективність гасіння вогнегасним порошком біодизельного палива та його суміші з дизельним паливом. *Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал*. 2015. № 2 (32). С. 77–81.

128. Терещев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: ИБС-Холдинг, 2005. 248 с.

129. ТУ 2149-238-10968286-2011 Порошок огнетушащий ВЕКСОН-АВС70

Модуль. Технические условия.

130. Скоробагатько Т.М., Копильний М.І., Боровиков В.О. Ефективність гасіння деякими газовими вогнегасними речовинами біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 1 (3). С. 73–76.

131. ДСТУ 5092:2008 Пожежна безпека. Вогнегасні речовини. Діоксид вуглецю (EN 25923:1993 (ISO 5923:1989), MOD). Чинний від 2010–10–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2008. 19 с.

132. ГОСТ 15899-93. 1, 1, 2, 2-тетрафтордигалогенметан (Хладон 114В2). Технические условия. Введен 1995–01–01. М.: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. 19 с.

133. ДСТУ EN 15004-1:2014 Стационарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Частина 1. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 15004-1:2008, IDT). Чинний від 2016–10–01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2014. 110 с.

134. Боровиков В.О. Одержання та застосування екологічно безпечних піноутворювачів для гасіння пожеж: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Київ, 2002. 237 с.

135. Турчин А.І. Протипожежний захист об'єктів установками пожежогасіння модульного типу з використанням тонкого розпилення водних вогнегасних речовин: дис. канд.: 21.06.02-пожежна безпека. Львів, 2011. 189 с.

136. Скоробагатько Т.М., Білошицький М.В., Маладика І.Г. Категоризація за вибухопожежною та пожежною небезпекою підприємства з виробництва біодизельного палива. *Науковий вісник УкрНДНЦ: Науковий журнал*. 2014. № 2 (30). С. 23–29.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи та
відомості про апробацію її результатів

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Білкун Д.Г., Боровиков В.О., Скоробагатько Т.М., Чеповський В.О. Проблеми пошуку ефективних засобів гасіння біобензину. Збірник наукових праць: Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2009. № 15. С. 101–107.
2. Скоробагатько Т.М., Білкун Д.Г., Боровиков В.О. Пожежна небезпека дизельного палива та проблемні питання його гасіння. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2009. № 2 (20). С. 52–56.
3. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Результати експериментальних досліджень гасіння окремих зразків моторного біопалива та палива моторного сумішевого пінами середньої та низької кратності. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2010. № 2 (22). С. 142–147.
4. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Шляхи забезпечення протипожежного захисту процесів виробництва рідкого моторного біопалива та об'єктів з його наявністю. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2011. № 2 (24). С. 124–131.
5. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Білкун Д.Г. Оцінка пожежної небезпеки дільниці етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива методом Гретенера. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2012. № 1 (25). С. 54–59.
6. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Копильний М.І. Ефективність гасіння бінарних сумішей дизельного та біодизельного палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2013. № 1 (27). С. 92–99.
7. Скоробагатько Т.М., Білошицький М.В., Маладика І.Г. Категорування за вибухопожежною та пожежною небезпекою підприємства з виробництва біодизельного палива. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2014. № 2 (30). С. 23–29.

8. Скоробагатько Т.М., Огурцов С.Ю., Стилик І.Г., Бенедюк В.С. Дослідження параметрів горіння біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2015. № 2 (32). С. 95–100.

9. Скоробагатько Т.М., Копильний М.І., Маладика І.Г. Ефективність гасіння вогнегасним порошком біодизельного палива та його суміші з дизельним паливом. Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. 2015. № 2 (32). С. 77–81.

10. Скоробагатько Т.М., Копильний М.І., Боровиков В.О. Ефективність гасіння деякими газовими вогнегасними речовинами біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2017. № 1 (3). С. 73–76.

11. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Боровиков В.О. Особливості процесів горіння дизельного біопалива, його сумішей з нафтовим дизельним паливом та процесів взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям під час їх гасіння. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2019. № 11 (73), том 2. С. 52–63.

12. Antonov A.V., Skorobagatko T.M., Yakovchuk R.S., Sviatkevych O.V. Interaction of fire-extinguishing agents with flame of diesel bio fuel and its mixtures. Zeszyty Naukowe SGSP. 2020. 73 (1). P. 7–24.

Апробація матеріалів дисертації:

1. Білкун Д.Г., Скоробагатько Т.М. Пожежна небезпека моторних біопалив в Україні. Пожежна безпека – 2009: зб. тез доповідей ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., 05-06 лист. 2009 р. Львів, 2009. С. 150–151.

2. Білкун Д.Г., Боровиков В.О., Скоробагатько Т.М. Проблеми пожежної безпеки біодизелю та його гасіння. Хімія і технологія жирів. Перспективи розвитку масло-жирової галузі: зб. тез доповідей ІІ Міжнарод. наук.-техн. конф., 21-25 верес. 2009 р. Алушта, 2009. С. 88–90.

3. Боровиков В.О., Білкун Д.Г., Скоробагатько Т.М. Пожежна небезпека окремих видів дизельного біопалива. Природничі науки та їх застосування в

діяльності служби цивільного захисту: зб. тез доповідей IV Міжнарод. наук.-практ. конф., 08 жовт. 2010 р. Черкаси, 2010. С. 106–107.

4. Білкун Д.Г., Скоробагатько Т.Н., Боровиков В.А. Проблемы пожарной опасности моторного биотоплива в Украине. Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., 19-22 мая 2009 г. Москва, 2010. С. 128–130.

5. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Ефективність гасіння деякими вогнегасними речовинами моторного біопалива. Пожежна безпека – 2011: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф., 17-18 лист. 2011 р. Харків, 2011. С. 202–203.

6. Скоробагатько Т.Н., Боровиков В.А. Особенности применения пены для тушения пожаров жидких моторных биотоплив. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник тезисов докладов VI Междунар. науч.-практ. конф., 08-10 июня 2011 г. Минск, 2011. С. 192–194.

7. Скоробагатько Т.М. Основні результати досліджень характеру взаємодії вогнегасних речовин з поверхнею горіння деяких видів моторного біопалива. Сучасні проблеми охорони праці та аерології гірничих підприємств: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих вчених, студентів і аспірантів, 24 лист. 2011 р. Донецьк, 2011. С. 13–17.

8. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Білкун Д.Г. Пожежна небезпека дільниці етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива. XI Міжнародний виставковий форум “Технології захисту-2012”: матеріали 14 Всеукраїнської. наук.-практ. конф. рятувальників, 26-27 верес. 2012 р. Київ, 2012. С. 359–361.

9. Скоробагатько Т.М. До питання оцінки пожежонебезпеки дільниці етерифікації підприємства з виробництва біодизельного палива. Пожежна безпека: теорія і практика: зб. тез доповідей II Міжнарод. наук.-практ. конф., 12 жовт. 2012 р. Черкаси, 2012. С. 92–95.

10. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Забезпечення протипожежного захисту виробництв рідкого моторного біопалива. Актуальні

проблеми управління у сфері цивільного захисту: матеріали I Всеукраїнської наук.-практ. конф., 05 жовт. 2012 р. Харків, 2012. С. 228–233.

11. Скоробагатько Т.Н., Антонов А.В., Боровиков В.А., Билкун Д.Г. Обеспечение противопожарной защиты технологических процессов производства жидкого моторного биотоплива. XXIV Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института: материалы науч.-практ. конф., 03-04 июля 2013 г. Москва, 2013. С. 126–128.

12. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Копильний М.І. Ефективність гасіння бінарних сумішей дизельного та біодизельного палива тонкорозпиленними водними вогнегасними речовинами. Пожежна безпека-2013: матеріали XI Міжнарод. наук.-практ. конф., 25-26 верес. 2013 р. Київ, 2013. С. 282–284.

13. Скоробагатько Т.М. Удосконалення методу Гретенера. Пожежна безпека-2013: матеріали XI Міжнарод. наук.-практ. конф., 25-26 верес. 2013 р. Київ, 2013. С. 541–545.

14. Скоробагатько Т.М., Антонов А.В., Білошицький М.В. Вибухопожежна та пожежна небезпека типового підприємства з виробництва біодизельного палива. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали IV Міжнарод. наук.-практ. конф., 09-10 жовт. 2014 р. Черкаси, 2014. С. 41–44.

15. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О. До питання горіння та гасіння жирів (олій) і продуктів їх переробляння. Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація: матеріали наук.-практ. семінару, 21 лют. 2019 р., Харків, 2019. С. 301–304.

Додаток Б

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ВП НУБіП України

Агрономічна дослідна станція

Юрій РОСАМАХА

« 03 » лютого 2020 року

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи

Скоробагатька Тараса Миколайовича за темою:

«Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива»

Здобувач, Скоробагатько Тарас Миколайович, начальник науково-дослідного центру технічного регулювання УкрНДЦЗ, з однієї сторони, та ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція», з іншої сторони, склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи «Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива» впроваджені у системі забезпечення пожежної безпеки заводу з виробництва біодизельного палива, який розміщено у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція». Об'єктом впровадження є дані та пропозиції щодо сукупності засобів та організаційних заходів, призначених для протипожежного захисту і запобігання виникненню пожеж на зазначеному заводі. Впровадження результатів дисертаційної роботи є підґрунтям удосконалення системи пожежної безпеки даного об'єкту.

Здобувач:

Начальник науково-дослідного
центру технічного регулювання УкрНДЦЗ

Тарас СКОРОБАГАТЬКО

« 03 » лютого 2020 року



ЗАТВЕРДЖУЮ

Г.в.о. начальника УкрНДЦЗ

к.т.н. С.Н.С

Віталій КОВАЛЕНКО

« 02 » 2020 року

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи

Скоробагатька Тараса Миколайовича за темою:

«Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива»

Комісія у складі:

Голови: заступника начальника УкрНДЦЗ (з протипожежного захисту та техногенної безпеки) кандидата технічних наук Олександра БОРИСА,

членів комісії:

начальника науково-дослідного центру інноваційних технологій УкрНДЦЗ кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Вадима НІЖНИКА;

начальника науково-випробувального центру УкрНДЦЗ кандидата технічних наук Олександра ДОБРОСТАНА;

старшого наукового співробітника відділу нормативно-правового забезпечення науково-дослідного центру технічного регулювання УкрНДЦЗ, Олександра ЖИХАРЄВА,

розглянувши дисертаційну роботу начальника науково-дослідного центру технічного регулювання УкрНДЦЗ Скоробагатька Т.М. за темою: «Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива», засвідчує цим актом, що її результати впроваджено шляхом урахування рекомендацій з гасіння можливих пожеж на об'єктах з наявністю горючих рідин під час виконання НДР «Провести дослідження та розробити довідник керівника гасіння пожежі» (№ держреєстрації 0114U002477) та у «Довіднику керівника гасіння пожеж», розробленого в ході її виконання, що застосовується у практичній діяльності територіальних підрозділів ДСНС України під час гасіння пожеж.

Голова комісії

Олександр БОРИС

Члени комісії:

Вадим НІЖНИК

Олександр ДОБРОСТАН

Олександр ЖИХАРЄВ

« 05 » 02 2020 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. начальника Черкаського інституту
пожежної безпеки імені Героїв
Чорнобиля Національного університету
цивільного захисту України
к.т.н., професор



Олександр ТИЩЕНКО
2020 року

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи
Скоробагатька Тараса Миколайовича за темою:
**«Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів
виробництва та застосування біодизельного палива»**

Здобувач, Скоробагатько Тарас Миколайович, начальник науково-дослідного центру технічного регулювання УкрНДЦЗ, з однієї сторони, та завідувач кафедри пожежно-профілактичної роботи ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України Кириченко Оксана В'ячеславівна, з іншої сторони, склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи «Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива» впроваджено в освітній процес підготовки фахівців для ДСНС України освітнього ступеню «бакалавр» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» під час вивчення дисципліни «Пожежна безпека територій будівель та споруд» та дисципліни «Пожежна безпека технологічних процесів» в розрізі тем, що стосуються забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та зберігання легкозаймистих та горючих рідин. Об'єктом впровадження в освітній процес є: дані щодо пожежонебезпечності біодизельного палива та його бінарних сумішей з традиційним дизельним паливом; параметри процесів їх горіння та взаємодії з вогнегасними речовинами; особливості категорювання за вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщень, будівель, установок, в яких обертається біодизельне паливо, а також особливості вибору виду вогнегасних речовин для автоматичних систем пожежогасіння, призначених для протипожежного захисту об'єктів виробництва та зберігання біодизельного палива. Впровадження результатів забезпечує актуальний характер навчання за вищезгаданою дисципліною і дозволяє підвищити якість проведення занять.

Завідувач кафедри
пожежно-профілактичної роботи
ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ
д.т.н., професор

Оксана КИРИЧЕНКО

Здобувач:
Начальник науково-дослідного
центру технічного регулювання УкрНДЦЗ
« 21 » 01 2020 року

Тарас СКОРОБАГАТЬКО