

Д.В. Серeda, Я.В. Балло

*Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, Київ, Україна*

## РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ВОГНЕВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖІ ПІД ЧАС АВАРІЙНОГО ПАДІННЯ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

*Приведено результати експериментальних досліджень процесів розвитку пожежі в наслідок падіння вітрової електроустановки, що супроводжується розгерметизацією оливонаповненого корпусу гондоли та виникненням пожежі. Результати отриманих експериментальних даних дозволили обґрунтувати пропозиції щодо шляхів удосконалення існуючої методики визначення безпечних протипожежних відстаней між об'єктами з врахуванням їх конструктивних параметрів, які впливають на точність розрахунку*

**Ключові слова:** натурні вогневі дослідження, вітрова електроустановка, протипожежна відстань, розвиток та поширення пожежі.

### Постановка проблеми

Обмеження поширення пожежі між об'єктами є однією із основних вимог пожежної безпеки, які висуваються до будівель та споруд згідно із Законом України «Про будівельні норми» [1]. Дана вимога є основною не тільки в Україні, оскільки її забезпечення підтверджує відповідність будівельних виробів (продукції) вимогам Регламенту (ЄС) 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 9 березня 2011 р [2].

За останні 25 років в світі зафіксовано близько 500 пожеж на вітрових електроустановках, що супроводжувалося значними збитками для держави та створювало значну загрозу для життя людей [3]. Небезпека швидкого розвитку пожежі для таких вітрових електроустановок та її поширення на суміжні об'єкти, в тому числі, виникало через руйнування при падінні оливи наповненого корпусу гондоли.

Існуючі методи визначення протипожежних відстаней між об'єктами не враховують сценарій аварійного розливу горючих рідин в наслідок руйнування корпусу одного із об'єктів. Таким чином, дослідження та аналіз найбільш небезпечних сценаріїв розвитку пожежі є передумовою удосконалення розрахункового методу визначення безпечних протипожежних відстаней та зниження потенційного пожежного ризику.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемними питаннями оцінки безпечних протипожежних відстаней та проведення розрахунків для суміжно розташованих пожежонебезпечних об'єктів займалися низка

вітчизняних та зарубіжних учених. В роботі [4] розкрито низку питань щодо закономірностей впливу різних типів пожеж при різних сценаріях їх виникнення на процеси обмеження їх поширення. При цьому запропоновані методологічні підходи оцінки небезпеки початкового осередку пожежі передбачають можливість його поширення не тільки крізь світлові прорізи але і ззовні по фасаду будівлі. Разом із цим в роботах [5,6] не розглядається сценарій руйнування одного із об'єктів, що може вплинути на скорочення значення протипожежної відстані до інших суміжно розташованих будівель та споруд.

В роботі [7] розкриваються проблемні питання поширення пожежі в екосистемах в результаті різних типів техногенних аварій та вплив наслідків на об'єкти різних функціональних призначень. Проте наведені висновки не дозволяють узагальнити закономірності, що впливають на процеси оцінювання безпечних протипожежних відстаней між об'єктами.

В дослідженнях [8] представлено приклад сучасних методологічних підходів під час визначення протипожежних відстаней між житловими будинками в умовах щільної забудови. Потенціал займання горючих матеріалів у суміжних житлових будинках аналізується на основі критичного теплового потоку, отриманого за результатами конусних калориметричних випробувань. Отримані результати порівнювалися із аналогічними випадками які були зафіксовані під час реальних пожеж. Проте представлені дані не можливо застосовувати при прогнозуванні динаміки поширення пожеж класу В, а саме пожежі в яких присутня значна кількість рідких горючих речовин.

В роботі [9] розглянуті найбільш небезпечні сценарії виникнення та розвитку пожежі на

автозаправному комплексі з можливим поширенням на суміжні об'єкти. Проведеними розрахунками густину теплового потоку при пожежі встановлено що мінімальною протипожежною відстанню, що унеможливило поширення пожежі є 22 м. Проте в даній роботі не враховані сценарії можливого розливу палива по поверхні землі.

Під час аналізу існуючих методів визначення безпечних протипожежних відстаней важливим критерієм є рельєф території. В роботі [10] представлено результати досліджень щодо впливу рельєфу ділянки забудови на процеси поширення пожеж від лісових масивів, які розташовані суміжно із житловою забудовою. Разом із цим, запропоновані підходи не враховують можливість падіння горючих дерев та як наслідок скорочення дистанції до суміжних об'єктів.

В роботі [11] представлені методологічні підходи організації експерименту та обґрунтовано показники, які характеризують небезпеку поширення пожежі в наслідок падіння вітрової електростанції, що супроводжується аварійним виливом оливи та утворенням низової пожежі. Разом із цим, для дослідження представленої гіпотези в [11] щодо потенційного впливу висоти опорної вежі ВЕС та кількості палива в середині гондоли на значення протипожежних відстаней, слід провести серію натурних вогневих досліджень та систематизувати отримані дані, які характеризують потенційну пожежну небезпеку під час аварійного падіння вітрової електроустановки, що дозволить обґрунтувати відповідні протипожежні заходи.

Зважаючи на викладене вище, удосконалення методології визначення безпечних протипожежних відстаней між суміжними об'єктами є актуальною науковою задачею. При цьому, визначення закономірностей розвитку пожежі в разі аварійного падіння вітрової електроустановки, що супроводжується розливом оливи є передумовою удосконалення якісних підходів під час прогнозування найбільш небезпечних наслідків від пожежі та можливості передбачити необхідні протипожежні заходи ще на етапі проектування таких споруд.

### Формулювання мети статті

Метою цієї роботи є дослідження окремих залежностей утворення та розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки, що супроводжується аварійним виливом оливи та подальшим її займанням.

Аналіз, узагальнення та систематизація експериментальних даних щодо закономірностей площі розливу оливи, динаміки розвитку пожежі та тривалості її горіння дозволить більш якісно прогнозувати потенційний вплив від пожежі та

відповідно передбачити необхідні протипожежні заходи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- відтворити послідовність вогневих досліджень, згідно з розробленою методологією проведення натурних експериментальних вогневих досліджень поширення пожежі від вітрової електроустановки до суміжних об'єктів;

- систематизувати дані щодо зафіксованих граничних точок периметру зони пожежі, де спостерігалось горіння довше 2 хв, що потенційно становить небезпеку для суміжно розташованих об'єктів;

- визначити максимальну тривалість горіння в зоні аварійного розливу оливи, що утворилася в результаті розгерметизації оливи наповнених частин вітрової електроустановки в наслідок горіння;

- визначити максимальну відстань зони горіння в результаті падіння макету вітрової станції від початкової точки розміщення її опори;

- сформулювати висновки щодо виявлених залежностей розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки

### Виклад основного матеріалу

Програма експериментальних досліджень поширення пожежі між об'єктами включає найбільш несприятливий сценарій її виникнення та розвитку. Натурні вогневі дослідження розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки передбачають імітацію випадку механічного пошкодження вітрової електроустановки та контрольоване падіння її корпусу в межах вогневої площадки. Вогнева площадка має розміри 20×20 м та рівну піщано-грунтову поверхню очищену від горючих матеріалів, зокрема сухої трави, чагарників тощо.

Для забезпечення візуальної ідентифікації зон пожежі для кожного дослідження та можливості визначення її площі на різних стадіях розвитку горіння виконано маркування поверхні землі вогневого майданчику прямокутниками з розміром 0,5×0,5 м.

Перелік об'єктів, що входять до програми-методики проведення натурних вогневих досліджень включають макет вітрової електроустановки висотою 10 м з оливионаповненим корпусом, тепловізійну камеру для контролю температурного режиму на поверхні вогневого майданчику, мірні ємності для відтворення пожежної навантаги в середині корпусу вітрової електроустановки та обладнання для проведення фото та відео зйомок.

Макет вітрової установки складається з вежі, гондоли (механічний фрагмент установки, що

забезпечує генерацію електроенергії за рахунок обертання ротора з лопатями під дією вітру), що виготовлені із матеріалів максимально наближених до реальних зразків електрогенеруючих виробів. Під час проведення серії натурних вогневих досліджень використовувався макет вітрової установки потужністю 2 кВт з об'ємом горючих рідин в корпусі до 20 л ( $\pm 0,2$  л).

Тривалість одного вогневого дослідження становить не менше 20 хвилин, що обгрунтовано максимальним нормативним часом прибуття пожежно-рятувальних підрозділів згідно з [12]. Тривалість досліду визначається з моменту команди керівника щодо початку дій з імітації аварійного падіння вітрової електроустановки.

На рис. 1 наведено загальний вигляд макету вітрової електроустановки розміщеної на вогневій площадці.



Рис. 1. Зовнішній вигляд макету вітрової електроустановки розміщеної на вогневій площадці

Відповідно до розробленої програми-методики проведено три натурних вогневих дослідження розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки. Зазначена кількість натурних вогневих досліджень за визначеним сценарієм аварії дозволить оцінити дисперсію отриманих даних в частині площі аварійного розливу оливи та фактичної площі її горіння за визначені проміжки

часу, а саме 2 хв, 10 хв та час фактичного само вигорання. Окрім цього, оцінюється та порівнюється тривалість горіння та значення температурних розподілів на поверхні землі у продовж всієї тривалості експерименту з кроком фіксації даних не рідше ніж через кожну хвилину. Під час проведення натурних вогневих досліджень окремо аналізується вітрові впливи (напрямок вітру та його швидкість), які впливають на процеси розвитку пожежі, особливо на початковій стадії її виникнення.

На рис. 2 наведено фото одного із фрагментів натурних вогневих досліджень в результаті падіння вітрової електроустановки та аварійного розливу оливи, що супроводжувалося її горінням.



Рис. 2. Фото імітації аварійного падіння макету вітрової електроустановки на вогневій площадці

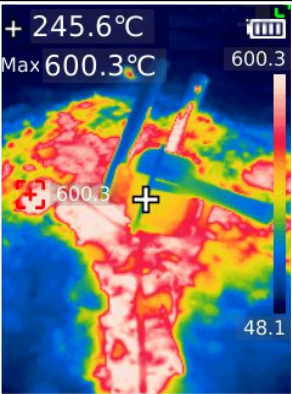
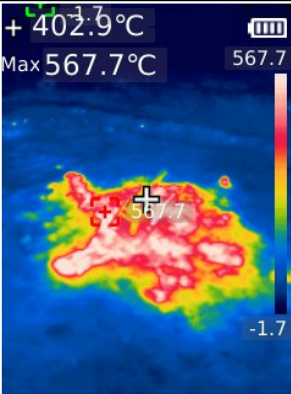
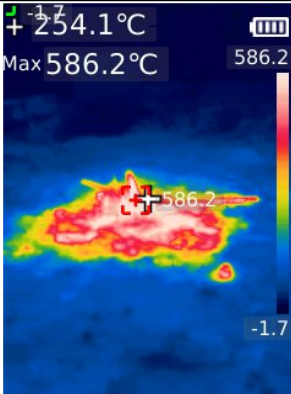
За результатом кожної серії вогневого дослідження вогневий майданчик очищався від залишків палива та відновлювалася маркувальна сітка для фіксації площі розливу палива та його горіння. Осередки пожежі, які мали тривалість горіння менше 2 хвилин не враховувалися під час визначення площі аварії, оскільки для займання трав'яної підстилки в екосистемах згідно довідкових даних [13] мінімально необхідне значення температури має бути не менше 225 °C у продовж 2 хвилин.

Окремим етапом дослідження була фіксація глибини просочення ґрунту нафтопродуктами, згідно із методологічними підходами викладеними в [14].

За результатом серії вогневих досліджень систематизовано та узагальнено дані проведених досліджень розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки. В табл. 1 наведено дані за результатом фіксації результатів на 2-й хвилині розвитку пожежі для трьох експериментів, а також фото, що відображають температурні розподіли поверхневого шару землі.

Таблиця 1.

Візуалізація термокарт для трьох експериментів на 2-й хвилині розвитку пожежі та зафіксовані значення площі пожежі.

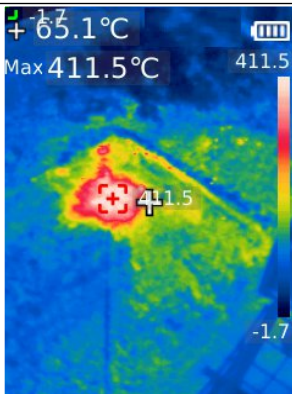
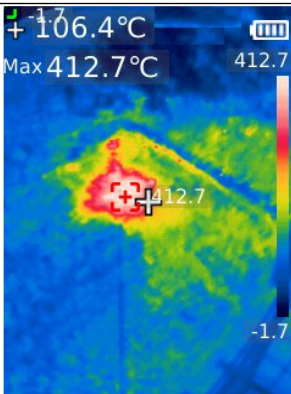
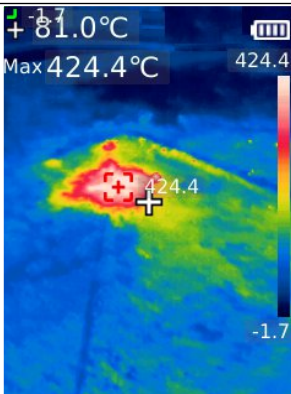
| № експерименту                | 1                                                                                 | 2                                                                                  | 3                                                                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Термокарта розливу оливи      |  |  |  |
| Площа горіння, м <sup>2</sup> | 18,4                                                                              | 17,2                                                                               | 19,7                                                                                |

Отримані дані свідчать, що при падінні вітрової електроустановки з кількістю палива в об'ємі корпусу 20 л початкова середня площа пожежі становить 18,4 м<sup>2</sup> при цьому, середнє значення температуру на поверхні землі складало в межах 560-630 °C, що становить потенційну небезпеку для

об'єктів будівництва, які можуть знаходитися в безпосередній зоні горіння. В табл. 2 наведено візуалізацію термокарт для трьох експериментів на 10-й хвилині розвитку пожежі та відповідні зафіксовані значення площі пожежі.

Таблиця 2.

Візуалізація термокарт для трьох експериментів на 10-й хвилині розвитку пожежі та зафіксовані значення площі пожежі

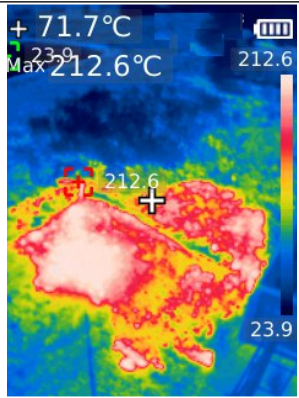
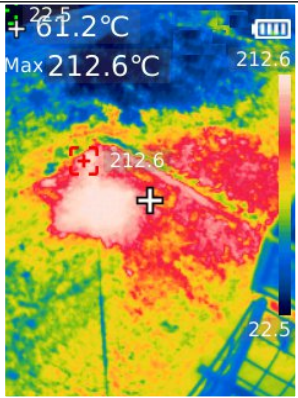
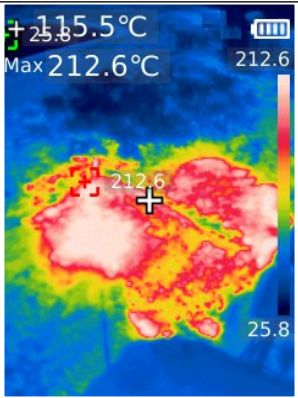
| № експерименту                | 1                                                                                   | 2                                                                                    | 3                                                                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Термокарта розливу оливи      |  |  |  |
| Площа горіння, м <sup>2</sup> | 6,7                                                                                 | 7,1                                                                                  | 7,4                                                                                   |

Аналіз динаміки розвитку пожежі демонструє, що під час процесу вільного горіння розлитого палива спостерігалася динамічне зменшення площі початкового осередку горіння. Площа горіння на 10 хвилині пожежі зменшувалася від початкового значення в середньому у 2,6 разів, що зумовлено незначним шаром палива на поверхні вогневого майданчику та швидкістю його вигорання внаслідок вільного доступу кисню. При цьому фіксувалися

окремі осередки горіння, що обумовлено частковою нерівністю поверхні, які враховувалися під час визначення загальної площі пожежі, оскільки вони можуть впливати на утворення пожежі на суміжних об'єктах. В табл. 3 наведено візуалізацію термокарт для трьох експериментів під час останньої хвилини горіння пожежної навантаги до моменту її само вигорання та відповідні зафіксовані значення площі.

Таблиця 3.

Візуалізація термокарт для трьох експериментів на час само вигорання, площа пожежі та фактична тривалість горіння.

| № експерименту                                | 1                                                                                 | 2                                                                                  | 3                                                                                   |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Термокарта розливу оливи                      |  |  |  |
| Площа горіння, м <sup>2</sup>                 | 1,4                                                                               | 1,7                                                                                | 2,1                                                                                 |
| Загальна тривалість горіння розливу оливи, хв | 18,0                                                                              | 18,5                                                                               | 19,2                                                                                |

Отримані дані свідчать, що загальна тривалість горіння утворених осередків пожежі до моменту їх само вигорання складає не більше 19,5 хвилин (середній час горіння складав 18,6 хвилин), при цьому середнє значення площі горіння для даного етапу експерименту складало 1,7 м<sup>2</sup>. Таким чином, можливо зробити попередній висновок, що для даного типу вітрової електроустановки найбільш небезпечною фазою горіння є проміжок часу з 2-ої по 10-ту хвилину, при цьому ризик утворення низової пожежі (пожежі сухої трави, сільськогосподарських полів, торфу тощо) спостерігався у продовж всього етапу розвитку пожежі.

Аналіз отриманих даних дозволив додатково визначити, що під час завершення фази само вигорання максимальна відстань від місця встановлення опори макету вітрової електроустановки, висота якої становила 10 м, до найвіддаленішої зони ураженої вогнем ділянки вогневого майданчику становила 15,6 м, що фактично на 56% перевищує фактичні геометричні розміри висоти вітрової електроустановки, без врахування геометричних параметрів конструкції лопатей.

Отримані експериментальні дані дозволять сформулювати попередні висновки, щодо удосконалення розрахункового методу визначення протипожежних відстаней для вітрових електроустановок. Виявлені дані дозволять враховувати не тільки висоту вітрової електроустановки та фактичну відстань від зони встановлення основи вітрової електростанції, але і супутні чинники, що впливають на зменшення

протипожежної відстані та є загрозою неконтрольованого поширення полум'я на суміжно розташовані об'єкти.

### Висновки

Проведені натурні вогневі дослідження розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки дозволили встановити залежності, які характеризують небезпеку поширення пожежі на суміжні об'єкти з врахуванням найбільш несприятливого сценарію розвитку пожежонебезпечної ситуації. Визначено, що для вітрової електроустановки потужністю до 2 кВт та кількістю оливи в корпусі ротора до 20 л площа пожежі, яка характеризується сталим температурним режимом в межах 500-600 °C становить від 12 м<sup>2</sup> до 7 м<sup>2</sup> тривалістю горіння до 11 хвилин. При чому, фактична відстань утворення такого осередку пожежі, а також максимальне значення відстані до його краю прямо пропорційно не залежить від висоти опори та може збільшуватися від значення її геометричної висоти до 56% за даних умов досліджень та конструктивних параметрів імітаційної установки.

Таким чином, проведені натурні вогневі дослідження розвитку пожежі під час аварійного падіння вітрової електроустановки дозволять створити підґрунтя для удосконалення розрахункового методу оцінювання протипожежних відстаней із використанням рівняння променистого теплообміну та рівняння нестационарної теплопровідності. Серед подальших завдань, постає питання дослідження більш широкого спектру вітрових електроустановок з врахуванням їх

конструктивних параметрів, що впливають на зменшення протипожежних відстаней в разі їх падіння. Зазначене можливо досягти, в тому числі із використанням програмних комплексів, які

дозволяють моделювати пожежонебезпечні сценарії виникнення та розвитку пожеж.

### Література

1. Про будівельні норми: Закон України від 05.11.2009 р. № 1704-VI. Відомості Верховної Ради України. 2010. № 5, Ст. 41.
2. Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів (продукції): Постанова Кабінету Міністрів України від 20.11.2006 р. № 1764. Офіційний вісник України. 2006. № 51, Ст. 3415.
3. Summary of Wind Turbine Accident data to 31 December 2024. URL: <https://scotlandagainstspin.org/turbine-accident-statistics/>.
4. Ніжник В. В. Розвиток наукових основ оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти: дис. ... д-ра наук: 21.06.02 : Харків, 2020. 409 с
5. Ніжник В.В. (2019). Підходи щодо визначення протипожежних відстаней між будинками та спорудами. Сучасні проблеми архітектури та містобудування, (53), 215-226.
6. Балло Я.В. Розвиток наукових основ запобігання поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівель: дис. ... д-ра наук: 21.06.02 : Львів, 2024. 401 с.
7. McGranahan, D.A., & Wonkka, C.L. (2020). *Ecology of Fire-Dependent Ecosystems: Wildland Fire Science, Policy, and Management* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429487095>.
8. Wang, Y., Gibson, L., Beshir, M., & Rush, D. (2021). Determination of critical separation distance between dwellings in informal settlements fire. *Fire Technology*, 987-1014. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01075-w>.
9. Ніжник, В. В., Балло, Я. В., Поздєєв, С. В., & Некора, В. С. (2019). Оцінка обмеження поширення пожежі між житловим будинком та автозаправною станцією. Містобудування та територіальне планування, (69), 278-290.
10. Akay, A. E., Wing, M. G., Zengin, M., & Kose, O. (2017). Determination of fire-access zones along road networks in fire-sensitive forests. *Journal of Forestry Research*, 28(3), 557-564 <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-016-0283-5>.
11. Серєда Д.В., Балло Я.В. (2025) Методика дослідження поширення пожежі від вітрової електроустановки до суміжних об'єктів. (2025). *Комунальне господарство міст. Серія: «Економічні науки»*, 1(189), 377-383. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-377-383>.
12. Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини) : Постановою КМУ від 27 листопада 2013 р. № 874 / Офіційний вісник України. 2013. №96. С.113. Ст. 3555.
13. Довідник керівника гасіння пожеж / П.А. Короткий та ін. ; за ред. В.С. Кропивницького. Київ : ТОВ «Літера-Друк», 2016. 320 с.
14. Ballo, Y. V., Mykhailova, A. V., Sereda, D. V., Stylyk, I. G., & Sizikov, O. O. (2022, November). Assessment of the

Possible Impact of Wind Generator Fire on the Environment. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2022, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580021>

### References

1. Law of Ukraine "On Building Codes" No. 1704-VI of 05.11.2009. (2010). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (5), Article 41.
2. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On the Approval of the Technical Regulation of Construction Products" No. 1764 of 20.11.2006. (2006). *Official Gazette of Ukraine*, (51), Article 3415.
3. Summary of Wind Turbine Accident data to 31 December 2024. Retrieved from <https://scotlandagainstspin.org/turbine-accident-statistics/>
4. Nizhnik V. V. (2020) Development of scientific bases for assessing the danger of fire spreading to adjacent construction objects. Doctor's thesis Kharkiv.
5. Nizhnyk V.V. (2019). *Pidkhozhyshchodnyy vyznachennia protyopozhezhnykh vidstanei mizh budynkamy ta sporudamy. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, (53), 215-226.
6. Ballo, Ya. V. (2024). Development of scientific principles for preventing the spread of fire by external building envelope structures Doctor's thesis Lviv.
7. McGranahan, D.A., & Wonkka, C.L. (2020). *Ecology of Fire-Dependent Ecosystems: Wildland Fire Science, Policy, and Management* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429487095>.
8. Wang, Y., Gibson, L., Beshir, M., & Rush, D. (2021). Determination of critical separation distance between dwellings in informal settlements fire. *Fire Technology*, 987-1014. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01075-w>.
9. Nizhnyk, V. V., Ballo, Ya. V., Pozdieiev, S. V., & Nekora, V. S. (2019). Assessment of fire spread limitation between a residential building and a gas station. *Urban Development and Territorial Planning*, (69), 278-290.
10. Akay, A. E., Wing, M. G., Zengin, M., & Kose, O. (2017). Determination of fire-access zones along road networks in fire-sensitive forests. *Journal of Forestry Research*, 28(3), 557-564 <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-016-0283-5>.
11. Sereda, D. V., & Ballo, Ya. V. (2025). Methodology for investigating the spread of fire from a wind power plant to adjacent objects. *Municipal Economy of Cities. Series: "Economic Sciences"*, 1(189), 377-383. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-377-383>.
12. Pro zatverdzhennia kryteriiv utvorennia derzhavnykh pozhezhno-riatuvalnykh pidrozdiliv (chastyn) operativno-riatuvальної служби tsyvilnoho zakhystu v administrativno-terytoryialnykh odynitsiakh ta pereliku subiektiv hospodariuvannia, de utvoriuiutsia taki pidrozdily (chastyny) : Postanovoiu KМУ vid 27 lystopada 2013 r. № 874 / Ofitsiyniy visnyk Ukrainy. 2013. №96. S.113. St. 3555.
13. Dovidnyk kerivnyka hasinnia pozhezh / P.A. Korotkyi ta in. ; za red. V.S. Kropyvnytskoho. Kyiv : TOV «Litera-Druk», 2016. 320 s.
14. Ballo, Y. V., Mykhailova, A. V., Sereda, D. V., Stylyk, I. G., & Sizikov, O. O. (2022, November). Assessment of the Possible Impact of Wind Generator Fire on the Environment. In 16th International Conference Monitoring of Geological

*Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2022, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580021>*

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент, А.Ф. Гаврилюк, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

**Автор:** СЕРЕДА Дмитро Володимирович  
старший науковий співробітник науково-дослідного сектору дослідження та статистики пожеж науково-дослідного центру нормативно-технічного регулювання  
Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України

E-mail – [seredadmitriy2019@gmail.com](mailto:seredadmitriy2019@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9645-5864>

**Автор:** БАЛЛО Ярослав В'ячеславович  
доктор технічних наук, старший дослідник, заступник начальника центру - начальник науково-дослідного відділу нормативного регулювання науково-дослідного центру нормативно-технічного регулювання  
Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України  
E-mail – [2801397@ukr.net](mailto:2801397@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9044-1293>

## RESULTS OF FIELD FIRE RESEARCH ON FIRE DEVELOPMENT DURING AN EMERGENCY FALL OF A WIND POWER PLANT

D.V. Sereda, Y.V. Ballo

Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*The article presents the results of full-scale field fire research, the purpose of which was to study the processes of fire development due to an emergency fall of a wind power plant, accompanied by a spill of flammable liquid. The relevance of the work is due to the need to improve existing methods for determining fire-prevention distances, which do not take into account scenarios of emergency destruction of objects and the occurrence of class B fires. An analysis of the remaining studies and publications in the field of limiting the spread of fire by observing fire-prevention distances was conducted. The purpose of the publication was formed, which is to study individual dependencies of fire formation and development during an emergency fall of a wind power plant, accompanied by an emergency oil spill and its subsequent ignition, and tasks were set to achieve the set goal. A series of full-scale fire experiments were conducted using a 10 m high model of a wind turbine with an oil-filled casing with a volume of 20 l, during which the fall of the turbine was simulated, and the patterns of the oil spill area, the dynamics of the fire development and its duration were analyzed. Using thermal imaging equipment, the development of the fire was visualized at the second, tenth minute and at the moment of self-burning. The results obtained indicate that when the wind turbine fell, the average initial area of the fire was about 18.4 m<sup>2</sup> at a temperature of 560-630°C, which poses a potential threat to adjacent objects. It was found that the most dangerous is the burning phase from the second to the tenth minute. It was experimentally established that the maximum distance of fire spread from the base of the turbine reached 15.6 m, which is 56% greater than its geometric height. The conclusions drawn and experimental data obtained will serve as a basis for improving the calculation method for assessing fire distances. Taking into account factors such as accidental fuel spills will allow for more accurate prediction of fire risks and implementation of necessary fire prevention measures at the design stage of wind power plants.*

**Keywords:** natural fire research, wind power plant, fire protection distance, fire development and ignition.