



ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

КОЛЕКТИВНА
МОНОГРАФІЯ

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ В УМОВАХ ВІЙНИ

ЛЬВІВ 2025

**Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності**

**ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ В УМОВАХ
ВІЙНИ**

CIVIL PROTECTION IN TIMES OF WAR

Львів 2025

УДК 614.8:355.58:351.78(477)
Ц58

Рецензенти: **Шевченко Роман Іванович** – доктор технічних наук, професор, заступник начальника центру – начальник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-інноваційного центру Національного університету цивільного захисту України.
Авраменко Олександр Васильович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри логістики Повітряних Сил інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України.
Рогуля Андрій Олексійович – кандидат наук з державного управління, начальник навчально-методичного центру цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Львівської області.
Зачко Олег Богданович – доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Редакційна колегія колективної монографії:

Бондар Дмитро Володимирович – кандидат наук з державного управління, доцент, ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Технічний редактор:

Яковчук Роман Святославович – доктор технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

**Рекомендовано до друку Вченою радою Львівського державного
університету безпеки життєдіяльності
(протокол №1 від 27.08.2025 р.)**

Цивільний захист в умовах війни: колективна монографія / за загальною редакцією Дмитра Бондаря.
Львів: ЛДУБЖД, 2025. 524с.

Колективна монографія «**Цивільний захист в умовах війни**» присвячена аналізу сучасних викликів та пошуку ефективних рішень у сфері безпеки населення під час збройної агресії проти України. У ній досліджуються питання адаптації захисних споруд для осіб з інвалідністю та маломобільних груп, удосконалення системи евакуації та оповіщення, реагування на радіаційні, хімічні та техногенні загрози. Значна увага приділена командно-штабним навчанням, міжнародному досвіду та інноваційним підходам у сфері цивільного захисту. Автори систематизують проблеми координації органів влади та ДСНС, виявляють недоліки нормативної бази й організаційних процедур, пропонують моделі управління та алгоритми дій у кризових ситуаціях. Теоретична цінність праці полягає в розвитку наукових засад безпеки, зокрема у контексті воєнних загроз, а практична – у створенні конкретних рекомендацій для органів влади, рятувальних служб, військових та місцевих громад. Монографія поєднує наукові підходи, результати моделювання та аналіз реальних кейсів, що забезпечує її прикладне значення. Запропоновані рішення спрямовані на формування безбар'єрного середовища, стійкої системи реагування та ефективного управління надзвичайними ситуаціями. Видання має як наукову, так і практичну цінність для фахівців цивільного захисту, представників державних і місцевих органів влади, освітніх закладів та міжнародних партнерів.

Представлені у монографії матеріали учасників подані в авторській редакції та відображають власну наукову позицію авторів. Автори несуть повну відповідальність за точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, наукової термінології, імен власних, джерел посилання.

ISBN 978-617-8654-10-8

© Д. В. Бондар, 2025
© ЛДУБЖД, 2025

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ У МИРНИЙ ЧАС ТА ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД

Сергій БІЛОУС, Олександр СИЧОВ, Мар'ян ЛАВРІВСЬКИЙ, Олександр ЛЮБОВЕЦЬКИЙ, Володимир РИХВА. РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ТА ДОСВІД ПРОВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....	179
Михайло ІШИЧКІН, Василь ЛОЇК, Олександр СИНЕЛЬНИКОВ. РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	200
Володимир-Петро ПАРХОМЕНКО, Роман КОНАНЕЦЬ, Роман СУКАЧ. ЛІКВІДАЦІЯ ПОЖЕЖ НА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ.....	225
Євген ШУМСЬКИЙ, Максим ВОЙЧЕНКО, Василь КАРАБИН, Василь ЛОЇК. УПРАВЛІННЯ НАДЗВИЧАЙНИМИ СИТУАЦІЯМИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ В УМОВАХ ВІЙНИ: ДОСВІД ЛІКВІДАЦІЇ КАТАСТРОФИ НА КАХОВСЬКІЙ ГЕС.....	248
Василь КОВАЛИШИН, Володимир МАРИЧ. МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ПОВІТРЯНИМ ПОТОКОМ В КАНАЛАХ ЗНАЧНОЇ ПРОТЯЖНОСТІ.....	267
Василь МАТУХНО, Віталій ЦІОЛКОВСЬКИЙ, Володимир БУДЯЦЬКИЙ, Дмитро ПОЛІЩУК, Дмитро БАЗАЛІЄВ. ВПЛИВ ВІЙНИ НА РОЗВИТОК ПРОТИМІННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ.....	295
Мирослав КОВАЛЬ, Роман РАТУШНИЙ, Олег ПАЗЕН, Дмитро АНДРУХІВ. РОЛЬ МЕХАНІЗМУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ У ЛІКВІДАЦІЇ МАСШТАБНИХ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ КАТАСТРОФ.....	307
Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ, Андрій ГАВРИСЬ, Тарас БОЙКО, Андрій ТАРНАВСЬКИЙ, Роман ЯКОВЧУК. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕКРИТТІВ МАШИННИХ ЗАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	317

РОЗДІЛ 3. ЗАХИСТ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ГІБРИДНИХ ЗАГРОЗ

Олександр СУХОДОЛЯ. РОЗВИТОК СИСТЕМИ ЗАХИСТУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ: ВИВЧЕННЯ УРОКІВ ВІЙНИ.....	333
--	------------

ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕКРИТТІВ МАШИННИХ ЗАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент, докторант докторантури-ад'юнктури Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,
roman_veselivskuy@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-3266-578X

Андрій ГАВРИСЬ

кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,
havrys.and@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2527-7906

Тарас БОЙКО

кандидат технічних наук, проректор з організації служби та підготовки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,
tarasboyko78@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0882-2637

Андрій ТАРНАВСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,
andry090880@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4625-2022

Роман ЯКОВЧУК

доктор технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,
r.yakovchuk@ldubgd.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5523-5569

Мета дослідження: моделювання процесу газового середовища для визначення залежності тривалості горіння водню і висоти факела полум'я від геометричного розміру отвору витікання водню при його викиді із корпусу турбогенератора та впливу температури на сталеві конструкції перекриттів машинних залів електричних станцій.

Методи дослідження: аналіз причин виникнення аварій та пожеж під час експлуатації водневого устаткування турбогенераторів електростанцій, аналіз дії небезпечних факторів можливих пожеж на несучі конструкції машинних залів електричних станцій та моделювання процесів викиду водню із корпусу турбогенератора з утворенням горючих воднево-повітряних сумішей та факельного горіння на прикладі машинного залу електростанції.

Результати: при оцінюванні параметрів можливого горіння водню у вигляді факела полум'я встановлено, що його довжина буде становити 12-23 м. При цьому сталеві несучі конструкції машинного залу, що віддалені від вогнища пожежі на відстані до 23 м (конструкції кроkv, покриття машинного залу або колони залу) протягом до 22 с можуть перебувати у середовищі з температурою близько 2000 °С, яка дорівнює температурі горіння водню у відкритому повітрі. Виконаний розрахунок свідчить про необхідність вогнезахисту несучих сталевих конструкцій машинного залу вогнезахисними матеріалами, які забезпечують межу вогнестійкості не менше 45 хвилин за вуглеводневою кривою

Теоретична цінність дослідження: робота узагальнює розуміння теплової дії пожежі на сталеві будівельні конструкції внаслідок виникнення горіння водню з утворенням факела полум'я або утворенням вибухонебезпечної суміші, яка згодом може вибухнути.

Практична цінність дослідження: отримані дані можуть бути використані для розробки рекомендацій та технічних параметрів вогнезахисту сталевих будівельних конструкцій машинних залів електричних станцій при їх проектуванні.

Оригінальність: дослідження підтверджують, що горіння водню у вигляді факела полум'я внаслідок пошкодження турбогенератора буде залежати від геометричних розмірів отвору витікання водню, а його висота може становити 12-23 м. На основі отриманих результатів обґрунтовано необхідність вогнезахисту сталевих будівельних конструкцій машинних залів електричних станцій, оскільки вони будуть нагріватися за вуглеводневою кривою, що призведе до значних руйнувань в короткі проміжки часу.

Ключові слова: вогнезахист, сталева конструкція, водень, вуглеводнева крива, турбогенератор, машинний зал, турбінне масло, вибух, пожежа, факел полум'я.

JUSTIFICATION OF THE NEED FOR FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES OF THE FLOORS OF ELECTRICAL MACHINE ROOMS

Roman VESELIVSKYI

Ph.D., Associate Professor, Doctorate in full-time doctoral studies, Lviv State University of Life Safety,
roman-veselivskuy@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-3266-578X

Andrii HAVRYS

Ph.D., Associate Professor, Deputy Head of the Department of Civil Protection,
Lviv State University of Life Safety,
havrys.and@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2527-7906

Taras BOIKO

Ph.D., Vice-Rector for Service Organization and Training, Lviv State University of Life Safety,
tarasboyko78@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0882-2637

Andrii TARNAVSKYI

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Civil Protection, Lviv State University of Life Safety,
andry090880@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4625-2022

Roman YAKOVCHUK

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Educational and Scientific Institute of Civil Protection, Lviv State University of Life Safety,
r.yakovchuk@ldubgd.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5523-5569

Purpose: modeling of the gas environment process to determine the dependence of the hydrogen combustion duration and flame height on the geometric size of the hydrogen outlet hole when it is released from the turbine generator housing and the temperature effect on the steel structures of the floors of the machine rooms of power plants.

Methods: analysis of the causes of accidents and fires in the operation of hydrogen equipment of turbine generators of power plants, analysis of the impact of hazardous factors of possible fires on the load-bearing structures of power plant engine rooms and modeling of hydrogen emission processes from the turbine generator housing with the formation of combustible hydrogen-air mixtures and flare combustion on the example of a power plant engine room.

Results: when assessing the parameters of possible hydrogen combustion in the form of a flame plume, it was found that its length will be 12-23 m. At the same time, the steel bearing structures of the engine room, which are located at a distance of up to 23 m from the fire (rafter structures, the roof of the engine room or columns of the room), can be exposed to an environment with a temperature of about 2000 °C, which is equal to the temperature of combustion of hydrogen in the open air for up to 22 seconds. The calculation shows that it is necessary to fireproof the load-bearing steel structures of

the machine room with fireproof materials that provide a fire resistance limit of at least 45 minutes according to the hydrocarbon curve.

Theoretical Value: the work summarizes the understanding of the thermal effect of fire on steel building structures due to the occurrence of hydrogen combustion with the formation of a flame plume or the formation of an explosive mixture that can subsequently explode.

Practical Value: The data obtained can be used to develop recommendations and technical parameters for fire protection of steel building structures of power plant engine rooms when designing them.

Originality: studies confirm that hydrogen combustion in the form of a flame plume due to damage to the turbine generator will depend on the geometric dimensions of the hydrogen leakage hole and its height can be 12-23 m. On the basis of the obtained results, the necessity of fire protection of steel building structures of power plant engine rooms is substantiated, since they will be heated according to the hydrocarbon curve, which will lead to significant destruction in a short period of time.

Keywords: fire protection, steel structure, hydrogen, hydrocarbon curve, turbine generator, engine room, turbine oil, explosion, fire, flame plume.

Вступ. Розвиток науково-технічного процесу, а особливо в галузі енергетики супроводжується постійним вдосконаленням технологій отримання електроенергії та підвищенням продуктивності атомних та теплових електростанцій. При збільшенні потужності та коефіцієнта корисної дії електричних генераторів виникає необхідність вдосконалення системи їх охолодження [1-3].

Відомо, що експлуатація турбогенераторів атомних та теплових електростанцій супроводжується виділенням тепла, яке сприяє нагріванню складових частин генератора та може призвести до аварійної ситуації. Оскільки турбогенератори експлуатуються впродовж тривалого часу, то процес безперервного охолодження обладнання генератора у цьому випадку відіграє важливу роль, оскільки його перегрівання може призвести до аварійних ланцюгових реакцій, пожеж, вибухів тощо. Температурний вплив та тепловий потік спричинений пожежею внаслідок аварійної ситуації може призвести до руйнування сталевих несучих конструкцій в короткі проміжки часу.

Сьогодні в якості охолоджувача генераторів використовують: повітря, водень, дистильовану воду, масло [4, 5], які циркулюють по охолоджувальних каналах та відводять тепло від нагрітих елементів.

В сучасних турбогенераторах застосовують газоподібний водень в якості охолоджувача, що зумовлене його високою теплопровідністю і теплоємністю. Охолодження турбогенераторів воднем є більш ефективним, порівняно з повітряним, оскільки коефіцієнт теплопередачі водню, порівняно з повітрям, є у 1,5 раза більшим, а теплопровідність – у 7 разів вища. Застосування водню в системі охолодження обмоток турбогенератора, порівняно з повітрям, не призводить до окислення ізоляції електричних проводів [6].

Попри переваги при охолодженні слід звернути увагу на недоліки застосування водню. Так, зважаючи на дослідження [7-10], при контакті водню з металевими елементами турбогенератора (підшипники, деталі ротора) він може сприяти корозії та подальшому руйнуванню металу, чим погіршує експлуатаційні властивості цих елементів. Можливість проникнення газоподібного водню через пористі ущільнюючі матеріали і найменші нещільності у корпусі турбогенератора та трубопроводах зумовлена його фізико-хімічними властивостями [11], а витікання водню з корпусу турбогенератора достатньо важко виявити вже на відстані 0,25-0,3 м від місця його витоку. Тому у турбогенераторів з водневим охолодженням необхідно забезпечити високу газощільність обмоток статора і ротора, газоохолоджувачів, люків і знімних торцевих щитів [12, 13].

Також одним із основних недоліків водневого охолодження турбогенераторів та використання водню у технологічних процесах електричних станцій є його здатність утворювати з повітрям та парами масла вибухонебезпечні суміші [14-16]. Можливі витіки водню у процесі експлуатації технічних агрегатів можуть призвести до утворення горючої

доцільне застосування теплозахисних екранів для розсіювання тепла факелу з метою захисту несучих сталевих конструкцій.

Висновки

У роботі виконано аналіз причин виникнення аварійних ситуацій та пожеж при експлуатації водневого устаткування турбогенераторів електростанцій. Встановлено, що діючі норми та профілактичні заходи спрямовані на підвищення рівня пожежної безпеки турбогенераторів при експлуатації машинних залів електростанцій.

Обґрунтовано пожежну небезпеку при експлуатації технологічного обладнання турбінних установок з врахуванням можливості вибухів воднево-повітряних сумішей. Аналіз аварій показав, що здатність водню утворювати з повітрям та парами масла вибухонебезпечні суміші може повністю вивести енергоблок з промислової експлуатації і призвести до значних матеріальних втрат та травмування обслуговуючого персоналу. Утворене вогнище пожежі на ділянці обслуговування турбіни і турбогенератора становитиме небезпеку як для сталевих кроквяних ферм перекриття покрівлі, так і для сталевих колон машинного залу. При пошкодженні сталевих кроквяних ферм перекриття покрівлі і колон машинного залу внаслідок впливу пожежі можливе обвалення цілої покрівлі машинного залу.

У роботі виконано моделювання процесу горіння водню при його викиді із корпусу турбогенератора на прикладі машинного залу електростанції. Проведені дослідження показали, що найбільша тривалість горіння водню буде відбуватись при його витіканні через отвори з геометричним розміром d_0 в межах 0,05-0,1 м (50-100 мм). При більших значеннях геометричного розміру отвору $d_0 > 0,1$ м тривалість горіння водню є незначною, а при значеннях $d_0 < 0,005$ м – довжина факела полум'я L_f не перевищує 1,15 м.

Результати проведених досліджень підтверджують, що внаслідок пошкодження турбогенератора можливе горіння водню у вигляді факела полум'я. При цьому його довжина буде залежати від геометричних розмірів отвору витікання водню і може становити 12-23 м. Будівельні конструкції машинного залу, що потрапляють у зону дії факела полум'я, можуть нагріватися до температури 2000 °C та руйнуватися протягом невеликого проміжку часу.

Виконаний розрахунок свідчить про необхідність вогнезахисту несучих сталевих конструкцій машинного залу для забезпечення межі вогнестійкості не менше 45 хвилин за вуглеводневою кривою.

Список використаних джерел

1. Gakal, P., Ovsiannykova, O., Przybysz, J., Tretiak, O. (2017). Metoda wyznaczania rozkładu temperatur w uzwojeniu wirnika chłodzonego bezpośrednio wodorem. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2, 43-47. DOI: 10.15199/48.2017.02.11.
2. Kobzar, K., Tretiak, O., Ovsiannykova, O., Poliienko, V., Gakal P. (2018). Designing of high power turbogenerators. *Vestnik KazNRTU*, 4 (128), 164-169.
3. Tretiak, O., Kovryga, A., Repetenko, M., & Nurmetov, R. (2019). Исследование теплового состояния гидрогенератора зонтичного типа методами CAE. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (3), 42–46. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2019.03.06>.
4. Бардик Є. І., Лукаш М. П. Електрична частина станцій та підстанцій. Синхронні генератори: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 88 с.
5. Narine, Ganesh, "Causes and Prevention of Electric Power Industry Accidents: A Delphi Study" (2019). *Walden Dissertations and Doctoral Studies*. 7495. <https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations/7495>.
6. Tarnavskyy, A., Veselivskyy, R., Panasiuk, A. (2024). Prognozowanie procesu emisji wodoru z obudowy turbogeneratora z powstawaniem palnych mieszanin wodorowo-powietrznych i spalaniem pochodni. *Ochrona ludności i dziedzictwa kulturowego*, 2024, 109-129. doi: <https://doi.org/10.4467/29563763.OLDK.23.016.19139>.

7. Peter Rhys Lewis, Chapter 5 (2016) Small Containers, In Woodhead Publishing in Materials, Forensic Polymer Engineering (Second Edition). Woodhead Publishing, 147-190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101055-6.00005-7>.
8. Коррозія полых медных проводников в системах непосредственного водяного охлаждения обмоток турбогенераторов / Иванов А.С. [и др.]. *Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.* 2016. № 11(32). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3943>.
9. Maughan, C., Svoboda, M. (2016) Water-cooled stator windings copper oxide issues. *Electrical Insulation Conference (EIC), Montreal, Qc, Canada.* 145-150.
10. Wenyao Li, Ruohan Cao, Lining Xu, Lijie Qiao. (2021) The role of hydrogen in the corrosion and cracking of steels - a review. *Elsevier*, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.corcom.2021.10.005>.
11. Zuetel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Mater Today*. 24-33.
12. Грубой О. П., Кобзар К. О., Черемісов І. Я., Хаймович Л. Л., Богданов О. А., Гладкий В. В. Створення нових типів та шляхи модернізації діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій: в кн. Теплова енергетика – нові виклики часу / за загал. ред.: П. Омеляновського, Й. Мисака. Львів : *НВФ Українські технології*, 2009. С. 209-225.
13. Особливості конструкцій турбогенераторів. URL : <http://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/osobennosti-konstrukciy-turbogeneratorov.html> (дата звернення: 05.04.2025).
14. Hanane D., Roberto S., Chiara B., Ahmed O. (2018). Hydrogen Infrastructure for Energy Applications. *Academic Press*, 153-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812036-1.09995-9>.
15. Kemsell, I.D., et al. (2001). Hydrogen Explosions – an Example of Hazard Avoidance and Control. *ICHEME, Symp. Series*, 148. 523-539.
16. Ольховик Ю.О., Антонов А.В., Денисенко І.Ю., Веселівський Р.Б. (2021) Деякі особливості захоронення солебітумного компаунду рівненської АЕС. *Екологія і виробництво*, 3(36), 69-72. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.11>.
17. Machinery and Energy Systems for the Hydrogen Economy (2022), *Elsevier*, 650 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90394-3.09990-2>.
18. S. Abe. (2015) The response of the plant owner/operator (TEPCO) to the Fukushima nuclear power plant accident, The 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *Woodhead Publishing*, 119-134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100118-9.00004-8>.
19. Балицький О.І., Семерак М.М., Билицька В.О., Субота А.В., Еліаш Я., Вус О.Б. (2012) Аналіз пожежно-водневої безпеки турбогенераторних залів на енергоблоках електростанцій. *Пожежна безпека*, 21, 13-18.
20. Протипожежні норми проектування атомних електростанцій з водо-водяними енергетичними реакторами : ВБН В.1.1-034-2003 (НАПБ 03.005-2002, ГНД 34.03.307-2004, ВБН В.1.1-034-03.307-2003) [Чинний від 25.12.2013]. Київ: Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», 2002. 84 с.
21. Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України: наказ Міненерговугілля України від 26 вересня 2018 р. № 491. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/371146___710398 (дата звернення: 12.05.2025).
22. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок: наказ Держнаглядохоронпраці від 06 жовтня 1997 р. № 257. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/180319___520016 (дата звернення: 15.05.2025).
23. Xuefeng Lyu, Zeyun Xun, Ke Ji, Xiaobo Lee, Shengfei Wang, Yu Yu, Long Chen (2018). Analysis on hydrogen control system in AP1000 NPP. *Annals of Nuclear Energy*, 113. 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.11.031>.
24. Xuefeng Lyu, Shuai Liu, Ke Ji, Yang Feng, Shengfei Wang, Zhichao Huang (2020). Research on hydrogen risk and hydrogen control system in marine nuclear reactor. *Annals of Nuclear Energy*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107373>.
25. Жук М.В., Ільчишин Я.В. Системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки. Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих

вчених: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів (Черкаси, 13 травня 2021р.). Черкаси: ЧПБ НУЦЗУ, 2021. С. 278–279.

26. Семерак М.М., Субота А.В., Желяк В.І. Моделювання термогазодинамічних параметрів струменяводню у разі розгерметизації корпусу турбогенератора електричної станції. *Вісник ЛДУБЖД*. 2013. № 7. С. 225–229.

27. Семичаєвський С.В., Свірський В.В., Алімов Б.О., Стилик І.Г. Щодо пожежної небезпеки машинних залів енергетичних підприємств. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32 (71). № 6. С. 1455–150. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/24>.

28. Технические предложения по повышению пожарной безопасности машзалов АЭС и устойчивости их строительных конструкций при пожаре. КИЭП – ТППБ – К., 1993. 97 с.

29. Семерак М.М., Ковалишин В.В., Домінік А.М., Кирилів Я.Б. Термостійкість конструкцій машинних залів АЕС. *Пожарна безпека*. 2011. № 7. С. 7–12.

30. Jacobsen, R.T., Leachman, J.W., Penoncello, S.G. *et al.* Current Status of Thermodynamic Properties of Hydrogen. *Int J Thermophys* 28, 758–772 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10765-007-0226-7>.

References

1. Gakal, P., Ovsiannykova, O., Przybysz, J., Tretiak, O. (2017). Metoda wyznaczania rozkładu temperatur w uzwojeniu wirnika chłodzonego bezpośrednio wodorem. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2, 43-47. DOI: 10.15199/48.2017.02.11.

2. Kobzar, K., Tretiak, O., Ovsiannykova, O., Poliienko, V., Gakal P. (2018). Designing of high power turbogenerators. *Vestnik KazNRTY*, 4 (128), 164-169.

3. O. Tretiak, A. Kovryga, M. Repetenko, R. Nurmetov (2019) Yssledovanye teplovoho sostoiannya hydroheneratora zontychnoho typu metodamy SAE [The research of the thermal state of the umbrella type hydrogenerator by cae methods]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. *Seriia: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia*, (3), 42–46. [in Russian]. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2019.03.06>.

4. Bardyk Ye. I., Lukash M. P. (2008) Elektrychna chastyna stantsii ta pidstantsii. Synkhronni heneratory [Electrical part of stations and substations. Synchronous generators]. Kyiv: NTUU «KPI».

5. Narine, Ganesh, "Causes and Prevention of Electric Power Industry Accidents: A Delphi Study" (2019). *Walden Dissertations and Doctoral Studies*. 7495. <https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations/7495>.

6. Tarnavskyyi, A., Veselivskyy, R., Panasiuk, A. (2024). Prognozowanie procesu emisji wodoru z obudowy turbogeneratora z powstawaniem palnych mieszanin wodorowo-powietrznych i spalaniem pochodni. *Ochrona ludności i dziedzictwa kulturowego*, 2024, 109-129. doi: <https://doi.org/10.4467/29563763.OLDK.23.016.19139>.

7. Peter Rhys Lewis, Chapter 5 (2016) Small Containers, In Woodhead Publishing in Materials, Forensic Polymer Engineering (Second Edition). *Woodhead Publishing*, 147-190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101055-6.00005-7>.

8. Korrozia polykh mednykh provodnykov v systemakh neposredstvennoho vodianoho okhlazhdeniya obmotok turbogeneratorov [Corrosion of hollow copper conductors in systems of direct water cooling of turbogenerator windings]. Yvanov A.S. [y dr.]. *Tekhnicheskyye nauky: elektron. nauchn. zhurn.* 2016. № 11(32).

9. Maughan, C., Svoboda, M. (2016) Water-cooled stator windings copper oxide issues. *Electrical Insulation Conference (EIC), Montreal, Qc, Canada*. 145-150.

10. Wen Yao Li, Ruohan Cao, Lining Xu, Lijie Qiao. (2021) The role of hydrogen in the corrosion and cracking of steels - a review. *Elsevier*, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.corcom.2021.10.005>.

11. Zuettel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Mater Today*. 24-33.

12. Gruboy, O., Kobzar, K., Cheremisov, I., Khaymovich, L., Bogdanov, O., Gladky, V. (2009). Stvorennia novykh typiv ta shliakhy modernizatsii diiuchykh turbogeneratoriv dlia teplovykh

elektrychnykh stantsii [Development of new types and ways to modernize existing turbine generators for thermal power plants]: v kn. Teplova enerhetyka – novi vyklyky chasu. Lviv : NVF Ukrainski tekhnologii. [in Ukrainian].

13. Osoblyvosti konstruktsii turbogeneratoriv. URL : <http://leg.co.ua/info/elektricheskies-mashyny/osobennosti-konstrukciy-turbogeneratorov.html> (accessed on March 2025).

14. Hanane D., Roberto S., Chiara B., Ahmed O. (2018). Hydrogen Infrastructure for Energy Applications. *Academic Press*, 153-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812036-1.09995-9>.

15. Kempell, I.D., et al. (2001). Hydrogen Explosions – an Example of Hazard Avoidance and Control. *ICHEME, Symp. Series*, 148. 523-539.

16. Olkhovyyk, Yu.O., Antonov, A., Denysenko, I., Veselivskyi, R. (2021). Deiaki osoblyvosti zakhoronennia solebitumnoho kompaundu rivnenskoï AES [Some features of the landfill of the solebitumen compound of the Rivne NPP.], *Ekolohiia i vyrobnytstvo*. 3(36). 69-72. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.11> [in Ukrainian].

17. Machinery and Energy Systems for the Hydrogen Economy (2022), *Elsevier*, 650 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90394-3.09990-2>.

18. S. Abe. (2015) The response of the plant owner/operator (TEPCO) to the Fukushima nuclear power plant accident, The 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *Woodhead Publishing*, 119-134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100118-9.00004-8>.

19. Balitskii, A., Semerak, M., Balitska, V., Subota, A., Elias, J., Vus O. (2012). Analiz pozhhezhno-vodnevoi bezpeky turbogeneratornykh zaliv na enerhoblokakh elektrostantsii [Analysis of fire-hydrogen safety of turbogenerators halls on FPP and NPP power units]. *Pozhezhna bezpeka*, 21, 13-18. [in Ukrainian].

20. *Protypozhezhni normy proektuvannia atomnykh elektrostantsii z vodo-vodianymy enerhetychnymy reaktoramy* [Fire protection standards for the design of nuclear power plants with water-water power reactors]. (2002). VBN V.1.1-034-2003 (NAPB 03.005-2002, HND 34.03.307-2004, VBN V.1.1-034-03.307-2003), from 25st December 2003. Kyiv: Kyiv Research and Design Institute “Energooproekt”. [in Ukrainian].

21. Nakaz Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy Pro zatverdzhennia Pravyl pozhhezhnoi bezpeky v kompaniiakh, na pidpriemstvakh ta v orhanizatsiiakh enerhetychnoi haluzi Ukrainy vid 26 veresnia 2018 roku № 491 [On Approval of Fire Safety Rules in Companies, Enterprises and Organizations of the Energy Sector of Ukraine]. Retrieved from: https://zakononline.com.ua/documents/show/371146__710398 [in Ukrainian].

22. Nakaz Derzhavnoho komitetu Ukrainy z nahliadu za okhoronoïu pratsi Pro zatverdzhennia Pravyl bezpechnoi ekspluatatsii elektroustanovok vid 06 zhovtnia 1997 roku № 257 [On Approval of the Rules for the Safe Operation of Electrical Installations]. Retrieved from: https://zakononline.com.ua/documents/show/180319__520016 [in Ukrainian].

23. Xuefeng Lyu, Zeyun Xun, Ke Ji, Xiaobo Lee, Shengfei Wang, Yu Yu, Long Chen (2018). Analysis on hydrogen control system in AP1000 NPP. *Annals of Nuclear Energy*, 113. 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.11.031>.

24. Xuefeng Lyu, Shuai Liu, Ke Ji, Yang Feng, Shengfei Wang, Zhichao Huang (2020). Research on hydrogen risk and hydrogen control system in marine nuclear reactor. *Annals of Nuclear Energy*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107373>.

25. Zhuk M.V., Ilchyshyn Ya.V. (2021) Systemy rannoho vyavleniia nadzvychainykh sytuatsii na obiektakh pidvyshchenoi nebezpeky [Systems for early detection of emergencies at high-risk facilities]. *Nauka pro tsyvilnyi zakhyst yak shliakh stanovlennia molodykh vchenykh: Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii kursantiv i studentiv* [Civil Defense Science as a Way of Formation of Young Scientists: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Cadets and Students], *Cherkasy: ChIPB NUTsZU*, S. 278–279. [in Ukrainian].

26. Semerak M.M., Subota A.V., Zhelyak V.I. (2013) Modeliuvannia termohazodynamichnykh parametriv strumeniavodniu u razi rozghermetyzatsii korpusa turbogeneratora elektrychnoi stantsii [Design of thermo-gasodynamics parameters of hydrogen stream in case of depressurization of the power station turbogenerator's body]. *Visnyk LDUBZhD*, 7, 225–229 [in Ukrainian].

27. Semichaevsky S.V., Svirsky V.V., Alimov B.O., Stylyk I.G. (2021) Shchodo pozhazhnoi nebezpeky mashynnykh zaliv enerhetychnykh pidpriemstv [On fire danger of turbine rooms of energy enterprises]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho, Seriya: Tekhnichni nauky*, 32 (71). № 6. C. 1455–150. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/24> [in Ukrainian].

28. Tekhnicheskye predlozheniya po povysheniyu pozharnoi bezopasnosti mashzalov AES y ustoichyvosti ykh stroytelnykh konstruktsiy pry pozhare [Technical proposals to improve fire safety of NPP halls and stability of their building structures in case of fire] (1993). KYEP – TPPB – K.

29. Semerak, M.M., Kovalyshyn, V.V., Dominik, A.M., Kyryliw, Ya.B. (2011) Termostiikist konstruktsii mashynnykh zaliv AES [Thermal resistance of structures of NPP machine rooms]. *Pozhezhna bezpeka*, 7, 7–12 [in Ukrainian].

30. Jacobsen, R.T., Leachman, J.W., Penoncello, S.G. *et al.* Current Status of Thermodynamic Properties of Hydrogen. *Int J Thermophys* 28, 758–772 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10765-007-0226-7>.

колективна монографія

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ В УМОВАХ ВІЙНИ

CIVIL PROTECTION IN TIMES OF WAR

Літературний редактор	Галина ПАДИК
Технічний редактор	Роман ЯКОВЧУК
Комп'ютерна верстка	Маріанна КЛИМУС
Друк	Назарій ПЕТРОЛЮК

Підписано до друку 04.09.2025 р.
Формат 60х84/12. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Ум. Друк. арк. 43,6. Тираж 100.

Друк ЛДУБЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
Тел. /факс: (032)233-24-79
E-mail: vnrd@ldubgd.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №7249 від 09.02.2021 р.

ЗАПОБІГТИ ВРЯТУВАТИ ДОПОМОГТИ



ISBN 978-617-8654-10-8



9 786178 654108 >