

Шифр: Водень

**«Пожежовибухонебезпека водневих систем охолодження
турбогенераторів електростанцій»**

2019

Зміст

Вступ.....	3
1. Загальні відомості про аварії з вибухом водню на турбогенераторах електростанцій.....	4
2. Особливості технологічного процесу охолодження турбогенераторів.....	8
3. Дослідження небезпечних властивостей водню.....	13
4. Причини та умови виникнення аварій і аварійних ситуацій в машзалах електростанцій.....	16
5. Оцінка негативного впливу вражаючих факторів аварії з вибухом водню.....	21
6. Попередження загорянь, пожеж і вибухів при експлуатації турбогенераторів з водневим охолодженням.....	28
Висновок.....	30
Список літератури	30

ВСТУП

З усіх галузей господарської діяльності людини енергетика має найбільший вплив на наше життя. Прорахунки в цій галузі мають серйозні наслідки. Тепло та світло в оселях, транспортні потоки та робота промисловості – все це вимагає витрат енергії.

Найбільш універсальною формою енергії є електрика. Вона виробляється на електростанціях і розподіляється поміж споживачами через електричні мережі комунальними службами. Потреби в енергії продовжують постійно зростати. Наша цивілізація динамічна. Будь-який розвиток вимагає, перш за все, енергетичних витрат і за існуючих форм національних економік багатьох держав можна очікувати виникнення серйозних енергетичних проблем.

Сьогодні в Україні основою розвитку економіки і складовою частиною паливно-енергетичного комплексу є електроенергетика.

Електрична станція - енергетичне підприємство, на якому енергія природних джерел перетворюється в енергію електричного струму. Вироблена електроенергія видається споживачам через ряд електроустановок, на яких відбувається її подальше перетворення та розподіл. Електричний спосіб передачі і розподілу енергії є найбільш поширеним.

Назва електростанції походить від назви виду енергії, яку перетворюють на електричну. Наприклад, якщо перетворюють енергію води, то електростанцію називають гідро- або водяною електростанцією, якщо вітру, то – вітровою, якщо Сонця, то сонячною, якщо палива, то – тепловою тощо.

В Україні є чотири види електростанцій, які розрізняють за використанням ресурсом:

- теплові, що працюють на твердому, рідкому й газоподібному паливі; серед них вирізняють конденсаційні й теплоелектроцентралі;
- атомні, на яких в якості палива використовують збагачений уран або інші, радіоактивні елементи;
- гідравлічні, на яких використовують відповідні гідроресурси й

поділяються на гідроелектростанції, гідростимуляційні й припливні;

- електростанції, що використовують нетрадиційні джерела енергії. Серед них найперспективнішими є вітрові, сонячні та ін.

У перспективі набуває поширення використання екологічно чистої енергії Сонця та вітру. Потужність електростанцій України близько 54,0 млн. кВт. Частка електроенергії виробленої на різних типах електростанцій України становить: ТЕС – 36,4 млн. кВт; АЕС – 12,8 млн. кВт; ГЕС – 4,7 млн. кВт.

Пожежі та вибухи на енергетичних підприємствах наносять значні матеріальні збитки, тому що у вогні знищуються будівлі, підприємства, складне дороге устаткування, сировина, матеріали.

Турбогенератори, що являються однією із найбільш важливих складових технологічної системи енергетичного підприємства, виконують основну функцію – перетворюють механічну енергію обертання парової чи газової турбіни в електричну. Водночас особливості експлуатації турбогенераторів обумовлюють використання у технологічному процесі горючих речовин і матеріалів, серед яких значне місце відводиться вибухонебезпечному газу водню в системах охолодження турбогенераторів.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АВАРІЇ З ВИБУХОМ ВОДНЮ НА ТУРБОГЕНЕРАТОРАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Сучасні енергосистеми потребують постійного вдосконалення генеруючого обладнання, підвищення ступеня надійності його роботи і терміну експлуатації. За період з 1965 року і до сьогодні (враховуючи катастрофу на АЕС «Фукусіма – 1») у машинних залах АЕС і ТЕС усього світу з турбогенераторами потужністю 50 МВт і більше зафіксовано понад сто аварійних ситуацій. З них пожеж – 35, вибухів – 6, вибухів з пожежами – 6 [8].

Найбільш тяжкі наслідки від пожеж, як з боку збитків, так і з боку безпеки персоналу виникають на теплових електричних станціях, так як найбільша кількість небезпечних виробничих об'єктів зосереджені на них. На цих

виробничих об'єктах зосереджена значна кількість горючих матеріалів та пожежонебезпечного обладнання, що є потенційними джерелами займання – маслonaповнене електрообладнання, кабельні споруди, маслосистеми турбогенераторів, системи водневого охолодження генераторів, апаратні маслостачання, мазутонасосні, маслобаки, тракти паливоподачі тощо [3].

Так, наприклад, за період 2005-2011 рр. на ТЕС Росії сталося 136 пожеж, які призвели до прямих матеріальних збитків понад 11536 тис. руб.

За останні 30 років у головних корпусах ТЕС сталося 30 великих аварій з виходом із ладу понад один енергетичний блок.

До найбільш великих аварій, що сталися при експлуатації турбогенераторів з водневим охолодженням, відносяться наступні аварії.

У 1991 році на Московській ТЕЦ-16 у машинній залі станції стався вибух водню, яким було повністю зруйновано турбогенератор. Стовп полум'я висотою 20 м призвів до займання покрівлі машинної зали станції.

У 2008 році на ТЕЦ-1 м. Улан-Уде через коротке замкнення у машинному відділенні сталося загоряння з наступним поширенням на маслобаки турбінного масла. Через 1 годину після початку пожежі стався вибух водню, яким була зруйнована покрівля машинного відділення ТЕЦ на площі 300 м². Повністю були зруйновані два турбоагрегати, вимкнені всі 7 енергоблоків станції. Площа пожежі склала 1000 м². У результаті аварії без тепла залишилися 168 тис. чол.

У 2010 році у м. Норільськ (Росія) на ТЕЦ-2 в одному із п'яти ресиверів ємністю 5 тис. м³ вибухнув водень. У результаті вибуху загинув 1 чоловік. Вибухом було пошкоджено будівлю ресиверної на площі 80 м², частково було зруйновано п'ятиповерхову будівлю адміністративно-побутового корпусу.

Потужний вибух стався 6 липня 2014 року на вугільній електростанції в Косово. У результаті вибуху резервуара з воднем, який призначався для роботи у системі охолодження електричних генераторів, загинуло чотири працівника ТЕС, десять осіб отримали травми. Також у результаті вибуху були пошкоджені будівлі та споруди, що були розташовані поруч. Момент вибуху водню був такої сили, що мешканці міста Обилич, де розташована ТЕС, порівнюють його

із землетрусом. Вибух було чути на відстані 10 км від місця аварії. У результаті зупинки електростанції без електропостачання залишилась частина Косово, у тому числі і місто Обилич.

У 2018 році у м. Челябінськ (Росія) на ТЕЦ-2 стався вибух водню, в результаті якого постраждав один чоловік.

Вибухи водню в системах турбогенераторів також мали місце і на атомних електростанціях, що поруч із загрозою пожежі та вибуху несуть загрозу радіоактивного забруднення.

Так, у 1989 році на Калінінській АЕС стався вибух водню під кришкою реактора, який там накопичувався в результаті радіолізу води. У 1991 році на Запорізькій АЕС стався вибух водню в колекторі парогенератора через недостатню вентиляцію при проведенні ремонту.

Необхідно також відмітити вибух водню, що стався у 2011 році на Калінінській АЕС під час проведення перевірки щільності обладнання реакторної установки.

Деякі приклади аварій на об'єктах енергетики з вибухом водню наведені в таблиці 1.1.

Табл.1.1 - Приклади аварій на об'єктах енергетики з вибухом водню

№ з/п	Рік виникнення аварії	Місце виникнення аварії	Причини та характер аварії	Наслідки аварії	Кількість загиблих/постраждалих, чол.
1	1989	Калінінська АЕС, СРСР	Вибух водню під кришкою реактора, який накопичується внаслідок радіолізу води	-	-
2	1991	Московська ТЕЦ-16, Росія	Вибух водню у машинній залі	Зруйнований турбогенератор, займання покрівлі машинної зали	-
3	1991	Запорізька	Вибух водню в		

		АЕС, Україна	колекторі парогенератора через недостатню вентиляцію контура при проведенні ремонтних робіт	-	-
4	2008	Улан-Уде ТЕЦ-1	Коротке замкнення кабеля турбіни, займання масла, вибух водню	Руйнування покрівлі машинної зали. Пошкоджені 2 турбоагрегати. Площа пожежі 1000 м ² .	-
5	2010	ТЕЦ, Норільськ, Росія	Вибух водню в ресивері ємністю 5 тис. м ³	Пошкоджена будівля ресиверної та адміністративного корпусу	1/0
6	2011	Калінінська АЕС, Росія	Вибух водню при проведенні перевірки щільності обладнання реакторної установки.	-	-
7	2014	ТЕС, м. Обилич, Косово	Вибух резервуара з воднем	Зруйнований котлотурбінний цех, знеструмлена більша частина Косово.	4/10
8	2018	Ростовська АЕС, м. Волгодонськ, Росія	Вибух водню при проведенні перевірки щільності газової системи генератора енергоблоку №1	-	0/3
9	2018	ТЕЦ-2, м.Челябінськ, Росія	Вибух водню.	-	0/1

Досвід експлуатації турбогенераторів з водневою системою охолодження на АЕС і ТЕС, як в країнах СНД, так і за кордоном показує, що забезпечення пожежовибухонебезпеки у машинних залах електростанцій є актуальною проблемою завдяки наявності у системах охолодження турбогенераторів

вибухонебезпечного водню та використання горючого масла у маслосистемах турбоагрегатів. Статистика інцидентів, пов'язаних з витокami, накопиченням та горінням радіолітичного водню на АЕС, також свідчить – проблема водневої безпеки має всеосяжний характер, оскільки ризик спалахування чи вибуху воднево-повітряних сумішей різної інтенсивності можливий за різних режимів експлуатації атомних станцій [4].

2. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ

Енергетика є однією із головних галузей економіки країни, так як забезпечує життєдіяльність населення і промислових об'єктів. Стабільно функціонуюча енергетична система – ознака економічно розвиненої країни.

Об'єкти енергетики повинні безупинно забезпечувати населення та промислові об'єкти електрикою та теплом. Аварії, неполадки, вихід із ладу будь-якої електростанції призводять до багатомільйонних збитків. Тому однією з головних задач забезпечення діяльності енергетичних об'єктів є контроль над процесами, що протікають під час виробництва електроенергії.

Основне обладнання електричної частини станції складають електричні генератори, підвищуючі трансформатори, розподільчі електричні пристрої. Парові та газові турбіни і генератори атомних електростанцій випускають на частоту обертання 1500 та 3000 об/хв., генератори теплових станцій на 3000 об./хв., гідротурбіни мають швидкість обертання 60-600 об/хв. Турбогенератори швидкісні, їхні ротори працюють при великих теплових та механічних навантаженнях, мають горизонтальний вал, виготовлений із спеціальної сталі [1].

Турбогенератор – синхронний генератор, що працює в парі з турбіною. Основна функція - перетворення механічної енергії обертання парової чи газової турбіни в електричну. Швидкість обертання ротора 1500 та 3000 об/хв. Механічна енергія від турбіни перетворюється в електричну шляхом

обертального магнітного поля ротора в статорі. Поле ротора, що створюється струмом постійної напруги, яка протікає у мідній обмотці ротора, призводить до виникнення трьохфазної перемінної напруги та струму в обмотках статора. Напруга та струм на статорі тим більша чим сильніше поле ротора, тобто більший струм, що протікає в обмотках ротора. Напругу та струм в обмотках ротора створює тиристорна система збудження або збудник – невеликий генератор на валу турбогенератора. Турбогенератори мають циліндричний ротор, встановлений на двох підшипниках кочення.

Під час роботи генераторів відбувається нагрівання частин генератора, в результаті чого спостерігається поступовий знос та старіння ізоляції. Тому необхідним є відведення тепла та охолодження генераторів. Тривало допустима температура частин генератора залежить від класу нагрівостійкості ізоляції. Наприклад, для класу нагрівостійкості ізоляції «В» допустима температура обмотки статора повинна бути не більше 105°C , а ротора не вище 130°C . Для запобігання перегріву ізоляції генератори виконують із штучним охолодженням.

За способом відведення тепла від обмоток генератора системи штучного охолодження поділяють на непрямі та безпосередні. В якості охолоджуючого середовища генераторів застосовують повітря, водень, рідини – дистильовану воду та масло.

Непряме водневе охолодження виконується за принципом повітряного охолодження, але об'єм водню обмежується розмірами корпусу і тому охолоджувач вбудовується в корпус агрегату. Водневе охолодження є ефективнішим, ніж повітряне і має свої переваги. Коефіцієнт теплопередачі водню в 1,51 та теплопровідність у 7 разів вищі за коефіцієнти повітря. Менша густина водню дозволяє зменшити вентиляційні витрати у 8-10 разів і тим самим збільшити ККД генератора на 0,8-1 %. Водень не підтримує горіння, не окислює ізоляцію і тим самим підвищує надійність роботи генератора. Джерелом водню на станціях головним чином є установки електролізу води. Тиск водню у генераторах становить не більше 0,6 МПа.

До недоліків водневого охолодження слід віднести властивість водню утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям та парами масла.

Безпосереднє водневе охолодження досить ефективне у порівнянні з непрямим охолодженням, оскільки водень подається безпосередньо усередину полих провідників обмотки. Тиск водню в корпусі підтримується 0,2-0,4 МПа. При зниженні тиску у системі охолодження в результаті витоків генератор повинен бути аварійно розвантажений та вимкнений від мережі.

У більшості випадків в якості генератора енергії використовується турбогенератор, що призначений для вироблення електроенергії у тривалому номінальному режимі роботи при безпосередньому сполученні з паровою турбіною (рис.2.1).



Рис. 2.1- Генератор з водневою системою охолодження

Турбогенератори потужністю до 30 МВт мають замкнену систему повітряного охолодження; за потужності понад 30 МВт повітряне середовище замінюють водневим (з надлишковим тиском близько 5 кН/м²). Використання водню у якості теплоносія дозволяє збільшити відведення тепла з

охлаждающих поверхностей (так как теплоемкость водню в несколько раз превышает теплоемкость воздуха) и, соответственно, повысить мощность турбогенератора при заданных размерах.

Циркуляция теплоносителя обеспечивается вентиляторами, размещенными на одном валу с турбогенератором. Тепло отводится с поверхностей изолированных проводников и стальных сердечников. Нагретый теплоноситель поступает до специального охладителя (при водневом охлаждении он встраивается в турбогенератор и вся система охлаждения тщательно герметизируется).

Для интенсификации охлаждения при мощности турбогенератора более 150 МВт давление водню в системе повышают до 300-500 кН/м², а при мощности более 300 МВт используют внутреннее охлаждение проводников обмотки воднем или дистиллированной водой. При водневом охлаждении проводники обмотки изготавливают с боковыми вырезами-каналами, а при водяном охлаждении используют полые проводники. У больших турбогенераторов охлаждение обычно комбинировано: например, обмотки статора и ротора охлаждаются водой, а сердечник статора – воднем.

Схема водневого охлаждения генератора обеспечивает заполнение генератора воднем, поддержание номинального давления и пополнение витков водню, что имеет место при эксплуатации. Для безопасного заполнения воднем и удаления его из генератора используется водень. Водень или воздух подается в корпус генератора через коллектор, расположенный в верхней части, азот вводится в корпус генератора через низ (рис.2.2). Поставка генератора воднем осуществляется от водневой установки, которая состоит из электролизной и ресиверов. Давление в ресиверах 0,3-0,5 МПа. Предохранительные клапаны защищают ресиверы от повышения давления газа. Противопожарные устройства используют для предотвращения проникновения огня в ресивер во время заполнения воднем, который выходит через клапан, как в случае искры, так и в случае самовоспламенения, что возможно при высокой скорости течения водню.

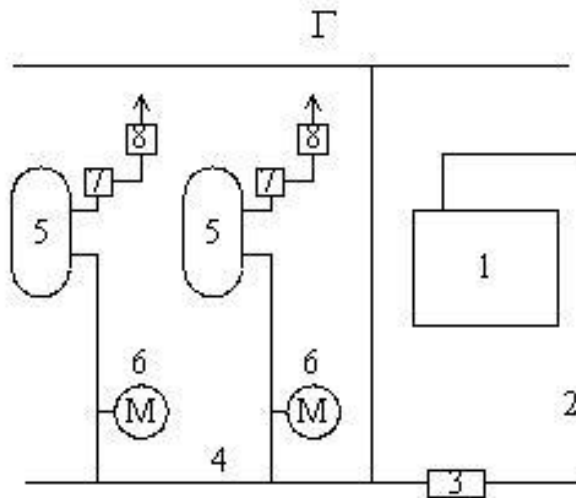


Рис. 2.2 – Схема водневої установки: 1- балони в контейнерах; розрядний колектор; 3 – редуктор; 4- колектор ресиверів; 5- ресивери; 6 – манометри; 7 - запобіжні клапани; 8 – вогнеперешкоджувачі.

До основних переваг водневої системи охолодження відносяться:

- зменшення вентиляційних втрат на тертя рв охолоджуючому середовищі;
- підвищення потужності турбогенератора за тих же електромагнітних навантажень;
- підвищення надійності та довговічності ізоляції обмоток;
- зменшення небезпеки займання обмотки, так як водень в корпусі турбогенератора не підтримує горіння та пробій ізоляції не призводить до пожежі;
- зменшення шуму усередині працюючого генератора, так як густина водню незначна;
- зменшення поверхні газоохолоджувачів у порівнянні з поверхнями повітроохолоджувачів.

Поряд з цим воднева система охолодження має свої недоліки:

- водень легко проникає через пористі перегородки та найменші нещільності;
- під час витоків водню з корпусу його наявність важко виявити вже на

відстані 0,25 м від місця витоку;

- водень є вибухонебезпечною речовиною.

Наявність вибухонебезпечного водню при контакті з горючим маслом під час пожежі призводить до вибухів з наступною руйнацією маслопроводів та розтіканням масла по майданчикам, на сусідні агрегати, до кабельних тунелів та на інші технологічні поверхи.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДНЮ

Наявність у системах охолодження турбогенераторів вибухонебезпечного та горючого водню у поєднанні з горючим маслом створює проблему забезпечення вибухопожежобезпеки у машинній залі електростанції. Вибухонебезпечне середовище може утворюватися у різних місцях газомасляної системи генератора, а також у прилеглих вузлах та відсіках при аварійних викидах і витоках водню.

Водень (H_2) - безбарвний горючий і вибухонебезпечний без запаху газ. У воді практично не розчиняється. Молекулярна маса - 2,016 кг,кмоль; температура кипіння - мінус 252,8°C; густина за нормальних умов - 0,09 кг/м³; густина по повітрю - 0,0695; теплота згоряння - 241, 5 кДж/моль (120,04 МДж/кг), температура само спалахування - 510°C; концентраційні межі поширення полум'я - 4,12 - 75,0 % (об.) у повітрі; межі вибухонебезпеки водню в суміші з киснем - від 4,1 до 96,0 % по об'єму; суміш двох об'ємів водню з одним об'ємом кисню утворюють гримучий газ; мінімальна енергія запалювання - 0,017 МДж; нормальна швидкість поширення полум'я - 2,7 м/с; максимальний тиск вибуху - 730 кПа (табл. 3.1) [9, 10].

Табл. 3.1- Пожежовибухонебезпечні властивості водню

№ з/п	Найменування показника	Значення
1.	Горючість	Горючий
2.	Нижня концентраційна межа поширення полум'я, об. %	4,12
3.	Верхня концентраційна межа поширення полум'я, об. %	75,0
4.	Температура самоспалахування, °С	510
5.	Мінімальна енергія запалювання, МДж	0,017
6.	Максимальний тиск вибуху, кПа	730
7.	Нормальна швидкість поширення полум'я, м/с	2,7
8.	Теплота згоряння, кДж/кг	142868

Горюче середовище усередині технологічного обладнання з горючим газом воднем може утворюватися за умов наявності вільного газоповітряного простору в апаратах, доступу в апарат повітря або іншого окислювача та виконання умови пожежовибухонебезпеки [16].

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v \quad (3.1)$$

де φ_p - робоча концентрація пари, об.ч., %;

φ_n, φ_v - відповідно нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я, об.ч., %.

Аналіз пожежовибухонебезпечних властивостей горючих речовин та матеріалів, а також режим роботи технологічного обладнання показує, що у виробничих умовах за нормальних умов роботи технологічного обладнання речовини можуть мати температуру, що перевищує температуру спалаху та температуру самоспалахування, але за цих умов горюче середовище усередині апаратів не утворюється, так як для утворення вибухонебезпечних концентрацій необхідно мати вільний простір в апаратах та доступ окисника, який можливий тільки за умов розгерметизації.

При витокі газоподібного або випаровуванні рідкого водню до атмосфери в утворенні вибухонебезпечної хмари бере участь не більше 50 % водню. Для припинення дифузійного горіння водню, який витікає з

трубопроводу зі швидкістю 10 м/с, необхідно розбавити його 10-кратним об'ємом азоту.

Видима швидкість поширення полум'я залежить від розміру хмари, тобто кількості викиду водню. Для воднево-повітряної суміші об'ємом близько 80 м³ з вмістом 34 % водню швидкість досягає 110 м/с; при об'ємах суміші приблизно 500 м³ можливе збільшення швидкості полум'я приблизно до 300 м/с [7].

Перехід горіння в детонацію не спостерігається при розмірах хмари до 300 м³ навіть за ініціювання ударної хвилі. При проходженні полум'я через перфоровану стінку чи чередовані перепони (технологічне обладнання, колони, ферми, перегородки тощо) швидкість поширення полум'я може збільшуватися до 250 м/с та більше. При детонації воднево-повітряних сумішей у просторах виробничих приміщеннях вибухові навантаження можуть бути настільки значними, що призведуть до повної руйнації споруд.

Характер горіння воднево-повітряних сумішей та можливість детонації залежать від загальної та локальної концентрації водню під оболонкою та від наявності джерел запалювання. Якщо водень спалахує до перемішування із середовищем, що заповнює оболонку, то буде мати місце дифузійне горіння. Якщо спалахування відбувається після повного перемішування із середовищем оболонки та концентрація суміші буде вище нижньої межі поширення полум'я водню (4-9 %), то буде мати місце горіння без вибуху.

За малої ймовірності розвитку аварійної ситуації, коли водень без спалахування, накопичується у такій кількості, що його концентрація перевищує нижню детонаційну межу (18,2 % - для воднево-повітряної суміші), тоді займання суміші може супроводжуватися детонацією.

Пожежовибухонебезпека займання та вибуху водню в генераторах підвищується за наявності у складі суміші домішок у виді парів води, турбінного масла, оксидів вуглецю та азоту.

Відомі найбільш ймовірні джерела запалювання воднево-повітряної суміші – іскріння на щітково-контактному апараті ротора, горіння масла, іскри

при зварювальних роботах, іскри при ударах та терті тощо. Також є ймовірність можливого самозаймання струменя водню малого діаметра, що виходить із великою швидкістю (наприклад, через тріщину зварного шва), від нагрівання при терті. Досить низька мінімальна енергія запалювання воднево-повітряної суміші обумовлює велику ймовірність такого займання.

Газоподібний водень фізіологічно інертний, але за високих концентрацій викликає задуху. При високому тиску водень проявляє наркотичну дію. Гранично допустима концентрація водню в робочому приміщенні 0,8 % об'єму.

Таким чином, воднева безпека є одним із ключових елементів забезпечення безпеки водневоохолоджуючих систем.

4. ПРИЧИНИ ТА УМОВИ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ І АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В МАШЗАЛАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Однією із основних причин аварійних зупинок та руйнувань турбогенераторів, синхронних компенсаторів та електричних машин великої потужності, що охолоджуються газами, зокрема ізобарним воднем, як у нашій країні, так і за кордоном, є інтенсивне забруднення охолоджуючого водню вологою з вмістом домішок кисню та турбінного масла. Основними домішками, що можуть потрапити до корпусу генератора, є вода (з максимальною концентрацією 25-30 г/м³), кисень (0,2 г/м³), турбінне масло (5,0 г/м³), водневомасляна аерозоль (0,15 г/ м³) [3,5].

Тільки за останні роки на електростанціях Росії та країнах СНД сталося 28 аварій з руйнуванням турбогенераторів, що охолоджуються воднем. Причинами понад 90 % є невірні дії обслуговуючого персоналу, який не дотримується правил експлуатації обладнання газомасляних систем турбогенераторів, а також встановленого порядку проведення вогневих ремонтних робіт.

На електростанціях мали місце ряд великих аварій з пожежею та частковим руйнуванням машинної зали внаслідок горіння водню та масла. Незважаючи на те, що причиною цих аварій не являлось порушення роботи газомасляної системи та ущільнень валу генератора, а, як правило, було зростання вібрації валу та пошкодження підшипників, але катастрофічний розвиток відбувався саме через викид і загоряння водню та масла внаслідок механічного пошкодження вузла ущільнень та кріплення зовнішніх щитків генератора.

Газова система турбогенератора має спеціальне обладнання, що дозволяє здійснювати безпечно заповнення генератора воднем та видалення останнього шляхом використання у якості проміжного агента інертного газу: видаляється інертним газом, потім повітрям, а повітря аналогічно видаляється інертним газом, потім воднем. При помилковому виконанні вказаних операцій та відсутності контролю за складом газової суміші також можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші в корпусі генератора, поплавковому гідрозатворі, бачку продувки. Водень може потрапляти до картерів підшипників, шинопроводів, системи охолодження обмотки статора дистиллятом, водяної системи газоохолоджувачів, та, накопичуючись, за визначеного відсоткового вмісту також утворює вибухонебезпечне середовище.

Займання можливе у будь-яких місцях, де відбуваються витоки водню із корпусу генератора чи газомасляної системи. Ступінь небезпеки визначається місцем витоку, близькістю людей та можливістю їхнього травмування, кількістю водню, що викидається, та можливістю (чи неможливістю) запобігання подальшого горіння без зупинки турбоагрегата.

Пожежі відбуваються при значних витока водню, частіше всього пов'язаних з повним або частковим руйнуванням генератора, або при значних витоках масла. Горіння водню завжди супроводжується горінням масла. Займання ж масла ззовні генератора за його цілісності не призводить до займання водню.

Вибух в корпусі призупиненого генератора можливий лише внаслідок

грубого порушення правил витіснення та заміни газового середовища у сполученні з несвоєчасним виконанням та низькою якістю аналізу вмісту водню у газовій суміші.

Аналіз причин аварій та аварійних ситуацій на турбогенераторах з водневою системою охолодження дозволив виділити основні причини та місця виникнення аварій:

- утворення тріщин в ущільненнях прокладок генератора (водень виходить через нещільності до машинної зали через збільшення підживлення генератора воднем);

- утворення тріщин у гумових прокладках газоохолоджувача (водень виходить через нещільності до машинної зали через збільшення витрати водню);

- зниження тиску водню в корпусі генератора через значні витоки водню разом з маслом через роз'ємні з'єднання зливного трубопроводу масла;

- порушення вимог безпеки при відборі проб газу (під час відкривання вентиля газового поста можливі витоки та займання водню);

- накопичення воднево-повітряної суміші у картері підшипника та під захисною обшивкою генератора;

- неякісний ремонт ущільнень, що обумовлює надходження масла до генератора;

- розрив гумової ущільнюючої прокладки люка генератора;

- пошкодження та розгерметизація зовнішніх щитків генератора через вихід із ладу валу (відрив лопаток турбіни з наступною вібрацією).

Аналізом статистичних даних аварій на турбогенераторах було встановлено, що у більшості випадків причиною аварій та аварійних ситуацій є зниження перепаду тиску масла та водню.

До зниження перепаду тиску масла та водню призводять:

- відмова або помилкові перемикання джерел масло постачання;

- неякісний ремонт чи невірне налаштування регулювання перепаду тиску масла та водню;
- помилкове перекриття вентиля (засувки) на напірних трубопроводах від джерел маслопостачання до регулятора перепаду тиску і далі після регулятора до ущільнень;
- зростання гідравлічного опору на напірних трубопроводах від джерел маслопостачання до регулятора перепаду тиску і далі після регулятора до ущільнень (забруднення тощо);
- порушення маслощільності на будь-якій ділянці напірних трубопроводів;
- значна витрата масла.

Порушення в роботі обладнання газомасляної системи, що супроводжуються витокami водню та його загорянням, розподіляються наступним чином:

- витки через фланцеві з'єднання трубопроводів та штуцери – 20%;
- витиснення ущільнюючих гумових прокладок (кришки люку, фланцю корпусу генератора, між корпусом ущільнення та зовнішнім щитком тощо) – 20%;
- прорив через поплавковий гідрозатвор – 10%;
- витки та самозаймання водню при різкому відкриванні вентиля на газовому посту – 10%;
- витки через ущільнюючі гумові прокладки газоохолоджувачів – 10 %;
- витки через прорив в картері підшипників – 9 %;
- витки через зварні з'єднання трубопроводів – 6 %;
- витки через фланцеві з'єднання поплавкового гідрозатвору – 6 %;
- порушення роботи регуляторів перепаду тиску масла та водню – 6 %;
- витки через горизонтальні роз'єми торцевих щитків – 3 %.

Частка випадків витоків водню, що супроводжуються вибухами водню, складає понад 15 %.

Основні місця виникнення витоків водню при експлуатації водневих систем охолодження генераторів наведені на рис. 4.1.

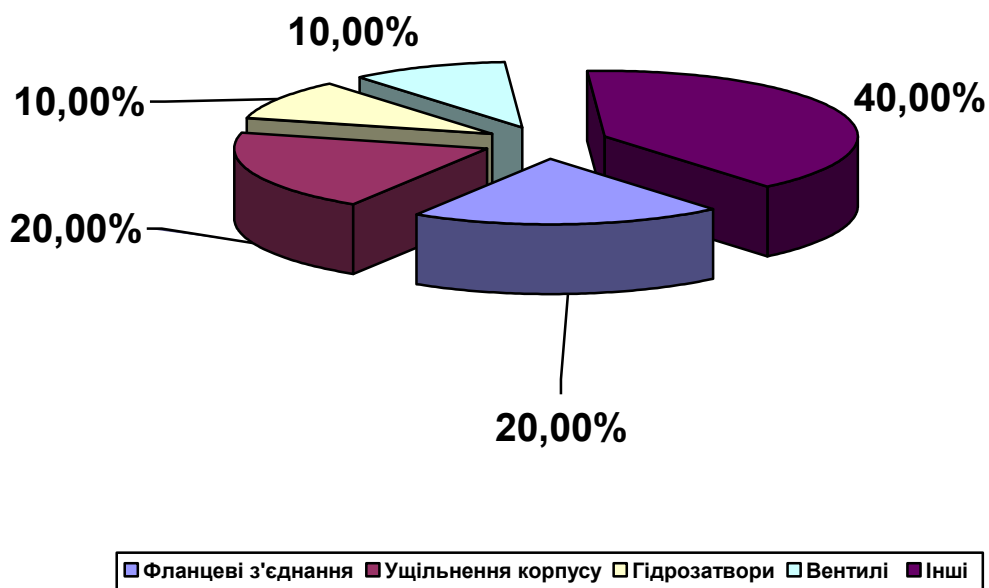


Рис. 4.1- Основні місця витоків водню при аваріях на турбогенераторах з водневим охолодженням

Просочування водню вздовж валу через нещільності також можливий і за нормального перепаду тиску масла та водню – через перекосячи чи пошкодження, заклинювання вкладиша ущільнення при неякісному ремонті ущільнень та подачі забрудненого масла. Просочування водню через поплавковий гідрозатвор до зливної системи підшипників турбоагрегату через дефект клапана гідрозатвору, що зависає у відкритому положенні, досить небезпечний. Вибухи водневої системи охолодження генераторів, що виникають під час пожежі у машинній залі, призводять до руйнування мастилопроводів та до розтікання масла по майданчикам і на нульову відмітку, сусідні агрегати, до

кабельних тунелів тощо. За умов пожежі створюється небезпека апаратів і трубопроводів, що працюють під високим тиском.

Таким чином, найбільш пожежонебезпечними порушеннями при експлуатації турбогенераторів з водневою системою охолодження є порушення, що супроводжуються втратою газощільності. Найбільш небезпечним є вихід водню до зливного маслопроводу та до картерів підшипників: вздовж валу через ущільнення; через поплавковий гідрозтвор.

До основних причин пожежовибухонебезпеки турбогенераторів слід віднести: використання великої кількості горючих речовин та матеріалів, підвищення тиску масла в системах регулювання, збільшення довжини мастилопроводів, ускладнення схеми регулювання і захисту, підвищення температури паропроводів, корпусу турбін тощо.

5. ОЦІНКА НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ВРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ АВАРІЇ З ВИБУХОМ ВОДНЮ

Небезпека пожежі та вибуху при експлуатації турбогенераторів з водневою системою охолодження ускладнюється наявністю системи маслопостачання ущільнень, оскільки можливе займання при загорянні воднево-повітряної суміші; масло, що горить, розтікається та проникає на нижче розташовані поверхи. Так, швидкість збільшення площі пожежі при розтіканні турбінного масла може досягати $25 \text{ м}^2/\text{хв}$. Дослідним шляхом було встановлено, що при горінні турбінного масла на площі 5 м^2 із зниженням видимості до 1 м відбувається протягом 5 хвилин. Найбільшу небезпеку для людей представляють токсичні продукти горіння. Через 0,5-1 хв. після виникнення пожежі у машинній залі перевищуються гранично допустимі концентрації токсичних речовин у місцях перебування персоналу; видимість знижується до допустимої межі протягом 1,5- 3,5 хвилин, температура підвищується до небезпечних значень за 6-8 хв. Факели масла та водню, що

горять, швидко нагрівають елементи металевих ферм до критичної температури, що призводить до обвалення ферм і перекриттів покрівлі, до повного задимлення машинної зали об'ємом понад 8000 м³.

З метою оцінки негативного впливу вражаючих факторів пожежі та вибуху при аварії на турбогенераторах з водневим охолодженням у роботі виконано оцінку пожежної небезпеки машинної зали електростанції, де розташовуються турбогенератори [6].

Машинні зали електростанцій, як ТЕС так і АЕС, являють собою одноповерхові будівлі та мають загальні компоновальні рішення і за висотою поділяються на два приміщення. У верхньому приміщенні встановлюють турбоагрегати, у нижньому, конденсаційному, розміщують конденсатори, живильні, конденсатні, дренажні та інші насоси, регенеративні та мережеві підігрівачі тощо.

Пожежна небезпека машинної зали електростанції обумовлюється не тільки особливостями технологічної схеми (системи), але і наявністю горючих речовин і матеріалів, що обертаються у технологічному обладнанні, його кількістю, а також можливістю утворення горючого середовища та появою у ньому джерел запалювання.

Джерелами запалювання на електростанціях можуть бути:

- високо нагріті поверхні паропроводів турбін;
- самозаймання промасленої ізоляції паропроводів;
- теплові прояви електричної енергії (електрична дуга, електричний пробій ізоляції, тощо);
- іскри під час роботи двигунів та при виконанні вогневих робіт;
- розжарені частки, іскри металів при виконанні ремонтних робіт тощо.

Швидкому поширенню пожежі на електростанціях сприяє велика протяжність та складність системи трубопроводів, наявність кабельного господарства, горючих будівельних конструкцій, пластикових полімерних покриттів підлоги, стін, обладнання тощо. За умов розгерметизації технологічного обладнання пожежа буде швидко поширюватися по дзеркалу

розлитих рідин (наприклад, масла) та в газоповітряних хмарах викидів технологічного обладнання. небезпечним є поширення полум'я по вибухонебезпечній воднево-повітряній суміші. При цьому вогонь швидко поширюється на інші установки та споруди по уламках, що розлітаються внаслідок вибуху. Якщо відбувається витікання водню з статора генератора через отвір площею еквівалентній площі круглого перетину діаметра 100 мм, то висота факела може досягати 23 м з температурою полум'я 2500 °С і тривалістю горіння 29 с. Температура полум'я сумісного горіння водню і масла становить більше 1600 °С, а висота – 12 м.

Відповідно до [11] пожежну навантагу у технологічних системах турбінних установок ТЕС та АЕС складає понад 100 тонн нафтового (ТП-22) або синтетичного масла (ОМТІ), що використовуються в якості змащувальної робочої рідини.

Пожежну навантагу у системі охолодження обмоток статора генератора складає приблизно 650 м³ водню, який знаходиться під тиском 4-5 атм.

Згідно вимог ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» на прикладі машинної зали АЕС з реакторами ВВЕР - 400 площею 15000 м² (висота приміщення машинної зали становить 29 м) виконаємо розрахунок надлишкового тиску вибуху для водню у кількості 650 м³.

Загальна кількість водню, що може вийти при максимальній аварії, становить:

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_2 = 650 \cdot 0,09 = 58,5 \text{ кг}, \quad (5.1)$$

де V_2 - об'єм горючого газу, м³;

ρ_2 - густина водню, дорівнює 0,09 кг/м³.

Визначаємо значення густини водню при розрахунковій температурі за формулою:

$$\rho_z = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 t_p)} = \frac{2,016}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 0,083 \text{ кг/м}^3, \quad (5.2)$$

де M – молекулярна маса водню, кг/кмоль.

Коефіцієнт кисню в реакції горіння:

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_0}{2} = 0 + \frac{2 - 0}{4} = 0,5. \quad (5.3)$$

Стехіометрична концентрація горючої речовини:

$$\varphi_{ст.} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,5} = 29,24 \text{ \% об.} \quad (5.4)$$

Вільний об'єм приміщення:

$$V_B = \frac{K_g}{100} \cdot L \cdot b \cdot h = \frac{80}{100} \cdot 15000 \cdot 29 = 348000 \text{ м}^3. \quad (5.5)$$

Надлишковий тиску вибуху становить:

$$\Delta P = (P_m - P_0) \frac{m \cdot z}{V_g \cdot \rho_{z.n.}} \cdot \frac{100}{\varphi_{ст.}} \cdot \frac{1}{K_u} = (730 - 101) \frac{58,5 \cdot 0,5}{348000 \cdot 0,083} \cdot \frac{100}{29,24} \cdot \frac{1}{3} = 0,01 \text{ кПа} \quad (5.6)$$

де $z = 0,5$ – коефіцієнт участі горючого газу у вибуху (табл.2 [11]);

$P_m = 710$ кПа – максимальний тиск вибуху [9];

$K_u = 3$ - коефіцієнт негерметичності обладнання.

Для оцінки рівня впливу вибуху водню в кількості 650 м^3 в машзалі електростанції використовували тротилловий еквівалент вибуху водневоповітряного середовища W_T (кг), що визначається за умов адекватності характеру та ступеня руйнування при вибухах парогазових хмар.

Дія ударної хвилі на будівлі, обладнання, конструкції та людей в залежності від їх віддаленості від центру вибуху, приведена в табл. 5.1, 5.2:

Табл. 5.1- Характеристики дії ударної хвилі

Радіус зони	Характеристика дії ударної хвилі
$R_1 = 3,8 R_0$	Повна руйнація будівель
$R_2 = 5,6 R_0$	Межа області часткової руйнації: 50 % - 75 % стін зруйновано або знаходяться на межі зруйнування
$R_3 = 9,6 R_0$	Межа області значних пошкоджень: пошкодження деяких конструктивних елементів, що несуть навантаження
$R_4 = 28 R_0$	Межа області мінімальних пошкоджень: розрив з'єднань і розділення конструкцій
$R_5 = 56 R_0$	Повне руйнування віконних шибок

Табл. 5.2 - Вплив надлишкового тиску при вибуху на людину

Вид пошкодження	Характеристика ураження	Надлишковий тиск вибуху, кПа
Легкі	Легка контузія, тимчасова втрата слуху, ушиби та вивихи кінцівок	20...40
Середні	Травми мозку з втратою свідомості, пошкодження органів слуху, кровотеча з носу та вух, сильні переломи та вивихи кінцівок	40...60
Важкі	Сильна контузія всього організму, пошкодження внутрішніх органів та мозку, важкі переломи кінцівок. Можлива смерть.	60...100
Понад важкі	Отримані травми досить часто призводять до смерті.	Понад 100

Розмір зони ураження ударною хвилею людини визначений по перепаду тиску у фронті ударної хвилі при нескінченно великій тривалості імпульсу. Ураження людей визначається по дії ударної хвилі на легені з урахуванням можливості ураження ударною хвилею та уламками зруйнованих конструкцій наступним чином:

- ΔP (надлишковий тиск вибуху) > 70 кПа - зона, де імовірність смертельного ураження складає 90-100 % (зона безповоротних втрат);

- $\Delta P = 70-28$ кПа - зона, де імовірність смертельного ураження складає 50 % (зона безповоротних втрат);

- $\Delta P = 28-14$ кПа - зона, де імовірність смертельного ураження складає < 5 % (зона санітарних втрат);

- $\Delta P = 14-5$ кПа - зона можливого ураження людини на відкритій місцевості (5 кПа - нижня межа враження людини хвилею тиску);

- $\Delta P < 5$ кПа - зона імовірного непрямого ураження уламками скла.

Центром вибуху приймається найбільш небезпечний апарат генератор з водневим охолодженням з найбільшою кількістю водню. Найбільш ймовірною причиною вибуху водню можуть бути витіки водню та його контакт з маслом. Руйнуюча сила вибуху умовно визначається як енергія, що приведена до тротилового еквівалента.

Тротильовий еквівалент вибуху газової фази (W_T) визначається за формулою:

$$W_{m1} = \frac{0,4}{0,9} \cdot \frac{q^1}{q} zm = \frac{0,4}{0,9} \cdot \frac{142868}{42000} \cdot 0,5 \cdot 58,5 = 437,79 \text{ кг}, \quad (5.7)$$

де W_T - тротильовий еквівалент вибуху газової фази, кг;

0,9 - доля енергії вибуху тринітротолуола, що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі;

0,4 - доля енергії парогазової фази, що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі;

q^1 - питома теплота згоряння газової фази, кДж/кг;

q - питома енергія вибуху тринітротолуола, кДж/кг.

m - маса газу, що знаходиться в обладнанні, приймаємо 58,5 кг.

Z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху, дорівнює 0,5 [9].

Радіус руйнування визначаємо за формулою:

$$R_{01} = \frac{\sqrt[3]{W_m}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_m}\right)^2\right]^{1/6}} = \frac{\sqrt[3]{437,79}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{437,79}\right)^2\right]^{1/6}} = 7,44 \text{ м} \quad (5.8)$$

Радіуси зон (м) можливого руйнування і травмування персоналу при вибуху водню у кількості 58,5 кг згідно табл. 5.1 мають такі розміри:

$$R_1 = K \cdot R_0 = 3,8 \cdot 7,44 = 28,27 \text{ м (1 зона) - } \Delta P = 100 \text{ кПа.}$$

$$R_2 = 5,6 \cdot 7,44 = 41,66 \text{ м (2 зона) - } \Delta P = 70 \text{ кПа.}$$

$$R_3 = 9,6 \cdot 7,44 = 71,42 \text{ м (3 зона) - } \Delta P = 28 \text{ кПа.}$$

$$R_4 = 28,0 \cdot 7,44 = 208,30 \text{ м (4 зона) - } \Delta P = 14 \text{ кПа.}$$

$$R_5 = 56,0 \cdot 7,44 = 416,64 \text{ м (5 зона) - } \Delta P = 2 \text{ кПа.}$$

За розрахунками видно, що радіус повного руйнування технологічного обладнання у машинній залі електростанції під час вибуху максимальної кількості водню (маса водню – 58,5 кг) становить 28,27 м, що призведе до руйнації елементів обладнання цеху. У радіусі 28,7 м ймовірність смертельного ураження людини складає 90-100 % (зона безповоротних втрат).

У радіусі 41,66 м відбудеться руйнація 50 % - 75 % обладнання та стін приміщення, смертельне ураження людей складає 50 % (зона безповоротних втрат).

У радіусі 71,42 м можливі значні пошкодження деяких конструктивних елементів, що несуть навантаження, руйнування технологічного обладнання. Ймовірність смертельного ураження складає < 5 % (зона санітарних втрат).

У радіусі 208,30 м можливе слабе руйнування, пошкодження віконих та дверних отворів, можливе легке ураження людини.

У радіусі 416,64 м можливе непряме ураження уламками скла.

6. ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАГОРЯНЬ, ПОЖЕЖ І ВИБУХІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ З ВОДНЕВИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Для запобігання виникнення вибухонебезпечної суміші у корпусі генератора та інших місцях газомасляної системи нормативні показники складу газової суміші встановлені з визначеним запасом. Вміст кисню в корпусі генератора при експлуатації не повинен перевищувати 1,2 % , а в ємностях при зливні масла у бік водню – 2 %. Водень, що надходить до генератора , повинен містити кисень у кількості не більше 0,5 %. Вміст водню в корпусі генератора повинен бути не нижче: 98 % - в генераторах з безпосереднім охолодженням обмоток , 97 % - в генераторах з непрямим охолодженням обмоток з тиском водню 0,05 МПа та вище, 95 % - з тиском водню нижче 0,05 МПа [12,13].

До основних умов попередження загорянь, пожеж та вибухів в машинних залах електростанцій, де встановлені турбогенератори з водневим охолодженням, відносяться:

- недопущення витоків та проривів водню із газомасляної системи та утворення вибухонебезпечного середовища;
- вилучення чи зниження ймовірності появи джерела запалювання у місцях, де можлива поява воднево-повітряної суміші;
- контроль концентрацій водню у технологічному обладнанні та сигналізація про перевищення допустимих концентрацій (табл. 6. 1);
- контроль концентрацій кисню у технологічному обладнанні та сигналізація про перевищення допустимих концентрацій (табл. 6.2).

Табл. 6.1 – Контроль концентрації водню у технологічному обладнанні

Ділянка газомасляної системи	Вміст водню, %
Картери підшипників та зливні маслопроводи з повітряного боку	Менше 1,0
Головний масляний бак	0,0

Табл. 6.2 – Контроль концентрації кисню у технологічному обладнанні

Ділянка газомасляної системи	Вміст кисню, %, не більше
Корпус генератора	1,2
Ємності на зливні масла у бік водню (поплавковий гідро затвор)	2,0
На вході до корпусу генератора	0,5

Запобігання витоків та проривів водню із газомасляної системи, а, отже, утворення вибухонебезпечного середовища, загорянь, хлопків, забезпечується шляхом, перш за все високою якістю ремонту вузла ущільнень та обладнання системи масло постачання, а в процесі експлуатації турбогенератора – шляхом своєчасного виявлення та видалення несправностей ущільнень валу та обладнання газомасляної системи, що призводять до витоків водню. Для цього необхідний постійний експлуатаційний контроль параметрів ущільнень та газомасляної системи – тиску і температури масла, температур бабіту вкладишів ущільнень, перепаду тисків масла та водню. Досить важливим є контроль складу газових сумішей в корпусі генератора, в картерах підшипників та зливних маслопроводів з повітряного боку, в гідрозатворах на зливні масла з ущільнень у бік водню. Автоматизований аналіз контролюємих параметрів дозволяє діагностувати несправності з метою своєчасного усунення.

Для запобігання важких аварій в машинних залах електростанцій доцільно також здійснювати контроль концентрацій водню в приміщенні з влаштуванням аварійної вентиляції, яка вмикається автоматично при досягненні 2 % - вої концентрації водню. У випадку неефективності аварійної вентиляції при великих викидах водню передбачається система активного придушення горіння воднево-повітряного середовища. Якщо виникає аварійна ситуація з катастрофічним порушенням щільності генератора, найбільш дієвим способом запобігання розвитку такої аварії та зниження збитків є зупинка подачі водню та масла до осередку загоряння за максимально короткий час. Це є можливим, якщо здійснити прискорений викид водню з генератора до

атмосфери. Викид водню повинен супроводжуватися подачею інертного газу до зон порушення нещільностей. Після зниження тиску газу в генераторі до 0,05 МПа може бути зупинена подача масла до ущільнень.

ВИСНОВОК

У результаті виконання роботи показано, що виробництво електроенергії є складним і небезпечним процесом. До найбільш пожежовибухонебезпечних технологічних процесів вироблення електроенергії на енергетичних підприємствах відноситься процес, пов'язаний з експлуатацією турбогенераторів з водневим охолодженням.

У роботі досліджені причини та місця пожеж і вибухів на турбоагрегатах з водневою системою охолодження, пожежовибухонебезпечні властивості водню. Показана можливість утворення горючого середовища та небезпека виникнення у ньому джерела запалювання.

У результаті виконаних розрахунків основних параметрів впливу ударної вибухової хвилі під час вибуху навіть незначної кількості водню (58,5 кг) у машинній залі електростанції було показано, що радіус повного руйнування технологічного обладнання становить 28,27 м, що призведе до руйнації елементів обладнання цеху та смертельного ураження працівників підприємства. Імовірність смертельного ураження людини при цьому складає 90-100 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трухний А.Д. Основи сучасної енергетики: підручник для вузів: в 2т./ під загальною редакцією чл.-кор. РАН Є.В. Аметистова. – М.: Видавничий будинок МЭИ, 2008. – 472 с.
2. Толмачов Д.І. Роль і перспектива окремих енергоносіїв в Україні. // Економіст, 2000, №7-8.

3. Белов В.В., Пергаменщик Б.К. Крупные аварии на ТЭС и их влияние на компоновочные решения главных корпусов. Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 61–69.
4. Kempseell I. D., et al. Hydrogen Explosions – an Example of Hazard Avoidance and Control, IChemE, Symp. Series № 148, 523-539, 2001.
5. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ. Безопасность труда в промышленности. 2003. № 1. С. 26–32.
6. Солдатов Г. Е., Голоднова О. С. О путях снижения риска пожаров в машинных залах АЭС // Атомкон. – 2009. – № 2 (3).
7. Кириллов И. А. О кинетической природе фундаментальных концентрационных пределов горения водородно-воздушных смесей // Доклад на V научном семинаре «Моделирование технологий ядерного топливного цикла», Снежинск, 25 – 29 января 2016 г. – Снежинск, 2016.
8. Кириллов И.А., Харитонов Н.Л., Шарафутдинов Р.Б., Хренников Н.Н. Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы // Ядерная и радиационная безопасность. 2017, № 2 (84). с.1-12.
9. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. В 2-х кн. М.: Химия, 1990. Кн. 1- 496 с. Кн. 2 - 384 с.
10. Водень. Властивості, отримання, зберігання, транспортування, застосування: Довідкове видання/ Д. Ю. Гамбург, В.П. Семенов Н.Ф. Дубовнін та ін: під ред. Д.Ю. Гамбурга, І.Ф. Дубовніна , - М.: Хімія, 1989. - 672 с.
11. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
12. НАПБ 05.028-2004. Протипожежний захист енергетичних підприємств, окремих об'єктів та енергоагрегатів. Інструкція з проектування та експлуатації.
13. ВБН В.1.1-034-03.307-2003. Протипожежні норми проектування атомних електростанцій з ВВЕР.

14.Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. Затверджені наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 15 квітня 2008 року № 73.

15. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Кріса І.Я. та ін. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки: навчальний посібник. Харків: УЦЗУ, 2010. 343 с.

16.Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів: підручник. Харків: ХНАДУ, 2014. 380 с.

ВІДОМОСТІ
про автора та наукового керівника наукової роботи

«Пожежовибухонебезпека водневих систем охолодження турбогенераторів електростанцій»

(шифр)

Автор

Науковий керівник

1. Прізвище Верескун
2. Ім'я (повністю) Вікторія
3. По батькові (повністю) Сергіївна
4. Повне найменування та місцезнаходження вищого навчального закладу, у якому навчається автор
5. Факультет Пожежної безпеки
6. Курс (рік навчання) 1
7. Результати роботи опубліковано

1. Михайлюк
2. Олександра
3. Петрівна
4. Національний університет цивільного захисту України, 050-9-100-380, 50 lexa35@ukr.net
5. Пожежної безпеки
6. Кандидат хімічних наук
7. Доцент

(рік, місце, назва видання)

8. Результати роботи впроваджено в навчальний процес НУЦЗУ у 2018 році

8. м. Харків, вул. Архітекторів 34, кв. 27, 050-910 -03-80

9. Місце проживання, телефон, e-mail

Науковий керівник

(підпис)

Олександра МИХАЙЛЮК
(ім'я, прізвище)

Автор роботи

(підпис)

Вікторія ВЕРЕСКУН
(ім'я, прізвище)

Рішенням конкурсної комісії Національного університету цивільного захисту України студент(ка) _____ рекомендується для участі у другому

турі Конкурсу _____
(назва галузі науки, спеціальності, групи спеціальностей)

Голова конкурсної комісії _____
(підпис) _____ (прізвище, ініціали)

М.П. _____ 20 19 року

АНОТАЦІЯ

конкурсної наукової роботи під девізом "Водень"

Актуальність. Виробництво електроенергії є складним і небезпечним процесом. Турбогенератори, що являються однією із найбільш важливих складових технологічної системи енергетичного підприємства, виконують основну функцію – перетворюють механічну енергію обертання парової чи газової турбіни в електричну. Водночас особливості експлуатації турбогенераторів обумовлюють використання у технологічному процесі горючих речовин і матеріалів, серед яких значне місце відводиться вибухонебезпечному газу водню в системах охолодження турбогенераторів. Статистика аварій, пожеж та вибухів, пов'язаних з витокami водню, досвід експлуатації турбогенераторів з водневою системою охолодження на об'єктах енергетики показує, що забезпечення пожежовибухобезпеки у машинних залах електростанцій є актуальною проблемою.

Метою роботи є оцінка небезпечних параметрів вибуху воднево-повітряної суміші під час експлуатації водневої системи охолодження турбогенераторів електростанцій.

Завданням роботи є аналіз статистичних даних аварій, пожеж та вибухів на турбогенераторах з водневою системою охолодження, дослідження пожежовибухонебезпечних властивостей водню, можливості утворення вибухонебезпечної воднево-повітряної суміші, причин та умов виникнення пожеж і вибухів. Розрахункове визначення небезпечних параметрів впливу ударної вибухової хвилі воднево-повітряної суміші у машзалах електростанцій.

Методика дослідження. При вирішенні сформульованої задачі роботи використовувалися: методи дослідження теоретичного характеру: аналіз, порівняння, узагальнення, систематизація отриманої інформації, розрахункові методи визначення основних параметрів.

Загальна характеристика роботи.

У роботі досліджені причини та місця пожеж і вибухів на турбоагрегатах з водневою системою охолодження, пожежовибухонебезпечні властивості водню. Показана можливість утворення горючого середовища та небезпека виникнення у ньому джерела запалювання. У результаті виконаних розрахунків основних параметрів впливу ударної вибухової хвилі під час вибуху навіть незначної кількості водню (58,5 кг) у машинній залі електростанції було показано, що радіус повного руйнування технологічного обладнання становить 28,27 м, що призведе до руйнації елементів обладнання цеху смертельного ураження працівників підприємства. Імовірність смертельного ураження людини при цьому складає 90-100 %.