

## ТЕМА 17. ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ТЕС. ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

### АЕС

#### *Мета вивчення теми*

Ознайомитися з технологіями виробництва електроенергії на твердопаливних та атомних електростанціях, розглянути вимоги пожежної безпеки на АЕС та ТЕС.

#### *План*

1. Пожежна безпека теплових твердопаливних електростанцій.
2. Пожежна безпека атомних електростанцій.

### **1 Пожежна безпека теплових електростанцій**

Для отримання електричної енергії використовують енергію води, вітру, Сонця та ін. Ці види енергії на електростанціях перетворюють на електричну енергію.

**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.

Сьогодні теплові електростанції (ТЕС) є одними з основних джерел вироблення електроенергії.

**Теплова електростанція (ТЕС)** – електростанція, в якій первинна енергія має хімічну форму і вивільняється шляхом спалювання вугілля, рідкого палива чи газу; на парових електростанціях (з паровими турбінами) у топці парового котла відбувається перетворення хімічної енергії палива в тепло газів – продуктів згоряння; це тепло передається теплоносію, пара з котла надходить до парової турбіни, де тепло перетворюється на кінетичну енергію обертання турбогенератора; відпрацьована в турбіні пара конденсується і віддає тепло охолоджувальній воді (наприклад, з річки).

Абсолютна більшість теплових електростанцій досі працюють на вугіллі, що пояснюється досить просто – запаси вугілля на Землі, як і раніше, величезні, тому частка ТЕС у загальному обсязі виробленої електроенергії становить близько 25 %.

### **Будова та принцип роботи вугільних теплових електростанцій.**

ТЕС є складним енергетичним комплексом, що складається з будівель, споруд, енергетичного та іншого обладнання, трубопроводів, арматури, контрольно-вимірювальних приладів та автоматики [chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/%D0%A2%D0%95%D0%A1.pdf].

**До основних систем ТЕС відносяться:**

- котельна установка;
- паротурбінна установка;
- паливне господарство;
- система золо- та шлаковидалення, очистки димових газів;
- електрична частина;
- технічне водопостачання (для відведення надлишкового тепла);
- система хімічної очистки та підготовки води.

Паливне господарство ТЕС має різний склад у залежності від основного палива, на яке розрахована станція. Для **вугільних електростанцій до паливного господарства** входять:

- пристрої для розморожування вугілля у на піввагонах;
- розвантажувальні пристрої (вагоноперекидачі);
- вугільний склад з пере завантажувальною машиною;
- подрібнювальна установка для подрібнення вугілля;
- конвеєри для транспортування вугілля;
- система аспірації, блокування та інші допоміжні системи;
- система пилоприготування, з кульовими, вальцевими чи молотковими розмелювальними млинами.

За практичними даними встановлено, що під час експлуатації котлів при порушенні нормального протікання технологічного процесу найчастіше відбуваються наступні події: пожежа, вибух, отруєння. За даними робіт [4-65] встановлено, що найбільш часто відбуваються пожежі (рис.17.1).

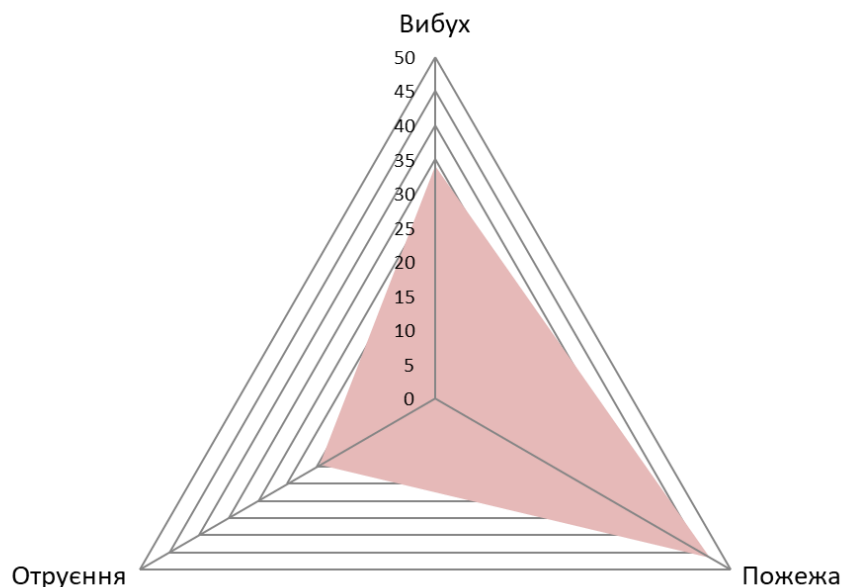


Рисунок 17.1 – Вірогідність подій під час експлуатації котлів

Аналіз аварій та пожеж на ТЕС показав, що **основними місцями виникнення пожеж є** [chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/%D0%A2%D0%95%D0%A1.pdf]:

- основні виробничі приміщення та цехи;
- допоміжні приміщення виробництв;
- кабельні тунелі;
- приміщення котельної та інші.

Пожежна небезпека ТЕС обумовлюється наявністю великої кількості горючих речовин та матеріалів, значна кількість яких знаходиться в паливному господарстві електростанцій.

Найбільшу небезпеку становить виробництво електроенергії на ТЕС із застосуванням твердого палива, яке на електростанції проходить відповідну підготовку. Так, наприклад, підготовка твердого палива (вугілля) полягає в його подрібненні до пилу, який потім вентиляторами направляється по пилопроводах у бункери пилу. Потім пило-повітряна суміш нагнітається гарячим повітрям до печі котла, в якій відбувається її спалахування. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

**Буре вугілля** – це однорідна маса бурого кольору без видимих домішок рослинних залишків. У якості палива на електростанціях використовуються землисте, лігнітне, щільне буре вугілля різних марок. Буре вугілля на 55-75% складається з вуглецю, а також з бітумінозних речовин. Густина становить 900-1500 кг/м<sup>3</sup>, теплота згоряння – 12550-25000 кДж/кг. Температура самоспалахування дорівнює 410 °С. Температура самонагрівання 50-65 °С, температура тління – 150-250 °С. Буре вугілля здатне до теплового та хімічного самозаймання.

**На самозаймання вугілля впливають наступні фактори:**

- вміст колчеданів, що поглинають кисень швидше, ніж вугілля;
- розміри кусків (в пилоподібному стані небезпека найбільша);
- вологість;
- температура повітря;
- тип та хімічний склад вугілля;
- умови зберігання вугілля.

Кам'яне вугілля за своєю хімічною зрілістю (ступенем метаморфізму) є різноманітним і поділяється на блискуче, напівблискуче та матове. Найбільш поширеним є вугілля з полосковою структурою (наявність у вугіллі шарів різного ступеня блиску).

Антрацити вважаються найбільш зрілим вугіллям. У порівнянні з кам'яним вугіллям вони більш блискучі, щільні та тверді. Дисперсність – 19 мкм. Температура самоспалахування аерозолу 670 °С, температура тління 300 °С, нижня концентраційна межа поширення полум'я 60 г/м<sup>3</sup>, максимальний тиск вибуху 860 кПа, максимальна швидкість зростання тиску 4,3 МПа/с. Тверде паливо (буре та кам'яне вугілля, торф) при зберіганні в штабелях може самозайматися.

Пил вугілля (крім антрациту та напівантрациту), сланцю, торфу, напівкоксу при зберіганні і транспортуванні також схильний до самозаймання. Здатність до самозаймання зростає при підвищенні температури. Але найбільшу небезпеку мають пило-повітряні суміші цих видів палива, які за визначених концентрацій є вибухонебезпечними. Нижня концентраційна межа поширення полум'я для більшості енергетичних палив (вугілля) становить 40-150 г/м<sup>3</sup>. За умов зменшення вологості повітря нижче 25 % небезпека вибуху зростає [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

**Основні фактори, що впливають на рівень вибуховості вугільного пилу:** концентрація кисню в системі, температура суміші, вологість та зольність палива, концентрація пилу і розміри часток пилу.

Концентрація окисника є найбільш важливим фактором, що впливає на вибуховість вугільного пилу. З практики відомо, що зниження об'ємного вмісту кисню в апараті на 1-2 % значно зменшує небезпеку вибуху в пилових системах. Температура сушильного агента має також великий вплив на ймовірність виникнення вибуху в кульових барабанних млинах. З підвищенням температури сушильного агента вологість пилу зменшується, при цьому збільшується швидкість виділення летючих речовин. Головне те, що осілий пил краще висихає і виникає можливість для його займання, утворюються так звані осередки тління. Вологість вугільного пилу попереджує розвиток вибухів в основному у разі вмісту його на 4-6 % більше гігроскопічної вологості. Волога як інертна добавка збільшує теплоємність одиниці об'єму, в якому обертається пил, і в той же час вимагає значних витрат тепла на випаровування. Волога, що випаровується, знижує концентрацію кисню в аеросуміші, що зменшує інтенсивність вибуху. Зольність палива кожної марки вугілля практично не впливає на інтенсивність вибуху. Але в той же час її абсолютне значення самим безпосереднім чином впливає на вибуховість самих палив. Вугілля зольністю до 12-15 % на суху масу найбільш схильне до вибухів, а при збільшенні зольності до 32 % та більше вибуховість зменшується і вугільний пил дуже важко запалити.

Особливу небезпеку на ТЕС становлять бункери пилу великих розмірів, в яких виникають вибухи пило-повітряної суміші, причому великої руйнівної сили.

**Основна причина вибухів** – обвалення тліючих накопичень малорухливих відкладень пилу при спорожненні бункера. Дія захисних факторів, що перешкоджають розвитку вибуху в бункері незначна – вміст кисню в газовому середовищі над рівнем пилу вищий, ніж, наприклад, в циклоні, оскільки простір над вугільним пилом вентильється припливним повітрям через нещільності. Вибухонебезпечне середовище усередині системи пилоприготування може утворюватися при порушенні режиму її пуску та під час зупинки. При непрацюючій системі приготування вугільного пилу повітря надходить до апаратів, що може призвести до окислення можливих залишків

осілого пилу. Пил осідає в апаратах через недостатню продувку системи перед зупинкою обладнання, а також в результаті наявності на внутрішніх стінках обладнання нерівностей та шорсткості [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

Велику небезпеку в пилоприготувальному відділенні ТЕС становить система змащування кульового млина, що складається з рідкого та густого змащування. Система рідкого змащування призначена для змащування головних підшипників млина та його електродвигуна і здійснюється від однієї станції рідкого змащування на всі млини одного блока. В системі обертається 2,5 м<sup>3</sup> машинного мастила марки «С» – горючої рідини з густиною 917,1 кг/м<sup>3</sup>, температурою спалаху 181 °С, температурою самоспалахування 385 °С, температурними межами поширення полум'я 163-210 °С.

Пожежна небезпека котельного відділення ТЕС характеризується наявністю факелів полум'я по форсунковому фронту апарата (від 12 до 24 форсунок). При розпалюванні в котлах температура згоряння палива становить близько 1300 °С, а при спалюванні мазутів – 1000 °С. Така температура значно перевищує температуру самоспалахування більшості горючих речовин та матеріалів. Крім того, відкрите полум'я форсунок має достатню запалюючу здатність як по запасу теплової енергії, так і по тривалості дії полум'я на горючу суміш.

Характерними причинами вибухів та пожеж в котельних відділеннях можуть бути: порушення режиму розпалювання печі та режиму роботи котлів; розгерметизація мазутопроводів, утворення пожежовибухонебезпечних пилота паро- повітряних сумішей, відкладень сажі в конвекційних шахтах, повітропідігрівниках та газоходах котлів тощо. Пожежна небезпека машинної зали головного корпусу ТЕС обумовлюється пожежовибухонебезпечними властивостями та великою кількістю горючих масел у маслосистемах турбогенераторів, горючого газу водню, який використовується для охолодження генераторів та горючої ізоляції обмоток генератора, що контактують з високо нагрітими паропроводами. Найбільша кількість масла витрачається для змащення турбогенераторів і насосів. Так, наприклад, на гідроагрегати постійно подається до 1015 т масла. Для ущільнення, змащення та охолодження підшипників генераторів використовується частіше за все турбінне масло з температурою спалаху 180°С. Через те, що турбіни працюють при високих температурах, які можуть досягати температури самоспалахування масел, існує небезпека виникнення пожежі. Також небезпечним є просочення ізоляції паропроводів маслами з наступним їх окисленням та samozайманням [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

Для запобігання перегріву статора, ротора та інших частин генератора на ТЕС використовується система охолодження і вентиляції генераторів. Для

охолодження генераторів використовують повітря, воду або водень. Повітряне охолодження є менш ефективним, бо повітря має малий коефіцієнт теплопровідності і значну густину, а також при електричних пробоях обмоток, коротких замкненнях, що супроводжуються підвищенням температури, появою іскор, виникає горіння, яке підсилюється з надходженням повітря. У порівнянні з повітряним охолодженням водневе охолодження є більш ефективним, бо теплопровідність водню у 7,2 рази вища за теплопровідність повітря, а густина – у 14 разів менша, ніж у повітря. Крім того, у чисто водневому середовищі горіння ізоляції обмоток неможливе. Водночас генератори з водневою системою охолодження, в яких може міститися до 70 – 75 м<sup>3</sup> водню, становлять велику пожежну небезпеку. При проникненні повітря до корпусу турбогенератора або витоків водню із системи охолодження можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші. Концентрація водню в суміші з повітрям від 4 до 75 % є вибухонебезпечною. Спалахування та вибух водню може також відбутися при його витоків під високим тиском через вузькі щілини та отвори або при появі іскор на шинах. Переваги над водневим охолодженням має водяне, тому, що тепловіддача води в 40-50 разів більша за тепловіддачу водню.

На практиці в гідрогенераторах використовують повітряне або водяне охолодження, а в турбогенераторах потужністю 25 МВт і вище – водень при надлишковому тиску 0,005-0,3 МПа [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

Таким чином, 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.

В електроустановці теплової електростанції використовується трансформаторне масло, що має досить низьку температурою спалаху – 135°C. Під впливом вологи, кисню повітря, сонячного світла, високих температур трансформаторне масло старіє, розкладається з утворенням смолистих речовин, які, у свою чергу, знижують його температуру спалаху та температуру самоспалахування.

**Особливо небезпечним є виникнення електричної дуги в маслонаповненому апараті.** За цих умов може відбутися розкладання масла на метан, водень, ацетилен, які з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші. Загоряння масла також може статися у разі його витоків і попаданні на гарячі ділянки паропроводів. Це може статися при руйнуванні або ослабленні через вібрацію масляних трубопроводів. На силових трансформаторах причиною виникнення горіння є внутрішні ушкодження, що виникають у результаті короткого замкнення, зносу і загоряння ізоляції, а також погіршення якості трансформаторного масла. При великій потужності короткого замкнення (особливо між фазами) відбувається бурхливе виділення газів, що

призводить до ушкодження корпусу і викиду масла назовні з його розливом і горінням на великій площі.

У розподільчих пристроях і підстанціях ТЕС пожежну небезпеку становить їх основне електричне обладнання: вимикачі, трансформатори, реактори, контрольно-вимірювальні прилади. Найбільш небезпечним є маслоснаповнене електрообладнання – блокові трансформатори, масляні вимикачі. Так, наприклад, в блокових трансформаторах обертається від 35 до 74 тонн трансформаторного масла [chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcgglefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

У масляних вимикачах можуть виникати розмикання контактів, при яких під впливом високої температури електричної дуги (понад 3000 °С) масло розкладається з виділенням горючих газів, в яких міститься до 70 % водню. Ці гази в маслі не горять, але в той же час небезпечним є утворення пожежовибухонебезпечних сумішей, що утворюються в результаті розкладання масла при його витоках через щілини в корпусі або в результаті дефектів гумових ущільнень.

Розглядаючи пожежну небезпеку теплових електростанцій, необхідно звернути увагу на **небезпеку кабельного господарства** даних об'єктів. Використання на ТЕС турбо- і гідрогенераторів потужністю 30 МВт і більше з більш жорсткими умовами їх експлуатації (висока температура, високий тиск, підвищена напруга) призвело до збільшення кількості горючих силових та контрольних кабелів. Майже всі кабелі, що використовуються на ТЕС, мають горючу ізоляцію (кабельний папір, полівінілхлорид, гума, мінеральні масла, поліетилен, джут тощо). Під час аварій, що супроводжуються розлітанням часток розплавленого металу, іскор та тепла при короткому замкненні, може статися загоряння горючої ізоляції, як пошкодженого, так і сусіднього кабелів. Пожежі в кабельних приміщеннях та спорудах характеризуються складністю обстановки при їх гасінні і мають тяжкі наслідки, бо призводять до припинення подачі електроенергії споживачам та промисловим об'єктам.

**Джерелами запалювання на ТЕС** 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 теплових 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

[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf].

**Пожежна профілактика на теплових електростанціях.** Відповідно до вимог нормативних документів забезпечення пожежної безпеки ТЕС досягається постійним контролем та недопущенням утворення пожежовибухонебезпечних сумішей, попередженням появи джерел запалювання та запобіганням поширення пожежі у разі її виникнення.

До основних заходів запобігання утворення горючого середовища на ТЕС відносяться:

- контроль за концентрацією горючого пилу в приміщеннях підготовки палива (вугілля), яка не повинна перевищувати 10 мг/м<sup>3</sup>;
- захист котлоагрегатів запобіжними клапанами;
- контроль ступеня чистоти водню (95-98 %) у водневих системах охолодження турбін;
- контроль за витокami водню до баків турбін та наявність водню контролюють за допомогою газоаналізаторів;
- контроль рівня та якості масла в масляних вимикачах;
- захист трансформаторів від підвищеного тиску при внутрішніх пошкодженнях запобіжною трубою з мембраною та ін.

**Профілактика виникнення джерел запалювання при експлуатації теплових електростанцій:**

- контроль за температурою палива в штабелях, що не повинна перевищувати 64 °С;
- захист топок котлів на пилоподібному паливі автоматичними пристроями підхоплення полум'я із сигналізацією;
- влаштування теплоізоляції металевих бункерів для пилу з негорючих матеріалів;
- контроль за температурою пилу в бункерах за допомогою термометрів чи термопар;
- контроль за місцями можливого відкладення і загоряння сажі;
- контроль за температурою поверхонь з можливими відкладеннями сажі;
- надійна ізоляції гарячих поверхонь турбоустановок та паропроводів;
- заборона проведення вогневих ремонтних робіт на обладнанні газомасляної системи, що містить водень;
- використання в приміщеннях з наявністю водню світильників у вибухозахищеному виконанні тощо.

**Запобігання поширення пожежі на теплових електростанціях** досягається наступними заходами chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstre



am/123456789/1564/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%B%D1%8E%D0%BA\_%D0%9F%D0%91%D0%9E%D0%9F%D0%9D.pdf:

- розташування насосних мазуто- та маслогосподарства ТЕС в окремих будівлях або в одній будівлі з протипожежною стіною;
- влаштування аварійного зливу масла в спеціальні ємності;
- відстань від наземних баків з маслом до будівель і споруд повинна бути не меншою 20 м;
- влаштування під маслonaповненому обладнання ємностей, піддонів, огорожень (на відкритих розподільчих пристроях обвалування засипають чистим гравієм, промитим щебнем);
- для гасіння тліючого пилу використовують насичену водяну пару, а для гасіння гідрогенераторів з водневим охолодженням – вуглекислий газ.

Отже, виробництво електроенергії є складним і небезпечним процесом, небезпека якого перш за все залежить від способів та особливостей виробництва електроенергії, що і обумовлює вибір систем протипожежного захисту електростанцій.

## **2 Пожежна безпека атомних електростанцій**

**Атомна енергетика** – галузь енергетики, що використовує ядерну енергію для електрифікації і теплофікації; галузь науки і техніки, що розробляє методи і засоби перетворення ядерної енергії в електричну і теплову.

Перевагами ядерної енергетики перед енергетикою інших видів є велика теплотворна здатність ядерного палива (у 2 млн разів більша, ніж нафти, і в 3 млн разів більша, ніж вугілля), кращі економічні показники, менше забруднення довкілля. До того ж відпадає потреба використовувати кисень, якого на енергетичні потреби спалюється в 5 раз більше, ніж його споживають усі живі істоти. Крім того, запаси ядерного пального (якщо їх повністю використати) приблизно в 20 разів перевищують запаси органічного палива всіх видів.

Основа ядерної енергетики – **атомні електростанції**, які забезпечують близько 6 % світового виробництва енергії та 13-14 % електроенергії.

Існують різні типи паливних циклів, які залежать від типу реактора й від того, як відбувається кінцева стадія циклу.

**Ядерний паливний цикл.** Уран добувається, збагачується і виготовляється ядерне паливо, яке постачають на АЕС. Після використання відпрацьоване паливо відвозиться на завод з переробки ядерних відходів або остаточно захоронюється на постійне зберігання у безпечне місце.

Зазвичай паливний цикл складається з таких етапів. У копальнях видобувається уранова руда. Вона подрібнюється для відділення діоксиду урану. Отриманий оксид урану (жовтий кек) перетворюють у гексафторид урану – газоподібна сполука. Для підвищення концентрації урану-235 гексафторид урану збагачують на заводах з розділення ізотопів. Потім збагачений уран знову перетворюють у твердий діоксид урану, з якого виготовляють паливні таблетки. З таблеток збирають тепловидільні елементи

(твели), які об'єднують в збірки для завантаження в активну зону ядерного реактора АЕС. Вивантажене із реактора відпрацьоване паливо має високий рівень радіації і після охолодження на території електростанції (басейн витримки) відправляється в спеціальне сховище. Передбачається також видалення відходів із низьким рівнем радіації, що накопичуються в ході експлуатації і технічного обслуговування станції. Після закінчення терміну служби і сам реактор повинен бути виведений з експлуатації (з дезактивацією та утилізацією вузлів реактора). Кожен етап паливного циклу регламентується так, щоб забезпечувалися безпека людей і захист довкілля.

В атомній енергетиці домінують три основні **типи реакторів**, що розрізняються, головним чином, паливом, теплоносієм (який застосовується для підтримки потрібної температури активної зони) і сповільнювачем (використовується для зниження швидкості нейтронів, що виділяються в процесі розпаду і необхідні для підтримки ланцюгової реакції).

Серед них найбільш поширений тип – це **реактор на збагаченому урані**, у якому і теплоносієм, і сповільнювачем є звичайна, або «легка», вода (легководний реактор). Існують два основні різновиди легководного реактора: реактор, у якому пара, яка обертає турбіни, утворюється безпосередньо в активній зоні (**киплячий реактор**), і реактор, у якому пара утворюється у зовнішньому, або другому, контурі, який пов'язаний з першим контуром теплообмінниками і парогенераторами (**водо-водяний енергетичний реактор (ВВЕР)**).

Другий тип реактора, який знайшов практичне застосування, – **реактор з газоохолодженням** (з графітовим сповільнювачем).

Третій тип реактора – це реактор, у якому і теплоносієм, і сповільнювачем є важка вода (**важководневий реактор**), а паливом слугує також природний уран.

#### **Аналіз аварій та аварійних ситуацій на атомних електростанціях.**

Аварії на підприємствах ядерної енергетики вважаються найбільш небезпечними для людини і навколишнього с рії, пожежі та вибухи, що сталися на атомних станціях як в Україні, так і у світі. Аварії на АЕС відрізняються від звичайних ТЕС тим, що результатом їх може бути викид до навколишнього середовища значної кількості радіоактивних речовин. Під час реакції поділу ядер утворюється велика кількість радіоактивних продуктів, основна кількість яких (98 %) до тих пір, поки працює реактор, залишається в активній зоні. Тільки радіоактивні гази ксенон та криптон, що не вступають у хімічну реакцію, можуть надходити до атмосфери. Вони несуть меншу загрозу для населення у порівнянні з іншими радіоактивними ізотопами. Інші радіоактивні продукти виділяються після видалення відпрацьованих **ТВЕЛів**. Для нерегламентованого викиду радіоактивних речовин за межі активної зони остання повинна бути сильно нагріта і значною мірою пошкоджена, а оболонки **ТВЕЛів** розгерметизовані. Перегрів зони може статися у випадку, коли інтенсивність тепловиділення в ній перевищує інтенсивність тепловідведення. Це буває під час аварій з втратою теплоносія першого контуру або під час перехідних процесів, наприклад, у випадку збільшення

потужності реактора. Кожний перехідний процес може бути або очікуваним (ймовірним), або неочікуваним. З очікуваними (проектними) аваріями система безпеки станції справляється [О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, І.Я. Кріса, П.А. Білим, О.О.Тесленко Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки: Навчальний посібник. – Х.: УЦЗУ, 2010. - 343 с.]

**Аварія на четвертому блоці Чорнобильської АЕС [О.П. Михайлюк].** 26 квітня 1986 року о 00 годині 23 хвилини відбулася глобальна трансгранична за масштабами аварія четвертого блока потужністю 1 млн. кВт. на Чорнобильській АЕС в період зупинки його на плановий середній ремонт (вступив у дію в грудні 1983 року). Керівництво АЕС прийняло рішення провести експеримент щодо можливості використання механічної роботи двигуна турбогенератора №8 (після відключення його від пари) для енергозабезпечення особистих потреб реактора в умовах його знеструмлення. Експеримент, як показало розслідування, не був належним чином підготовлений. Розглянемо, які події відбувалися напередодні аварії 25 квітня 1986 року.

О 01 годині 00 хвилин 25 квітня 1986 року персонал станції приступив до зниження потужності реактора №4, що працював за номінальними параметрами.

13 годин 00 хвилин-13 годин – 30 хвилин. Турбогенератор №7 був вимкнений від мережі. Електричне живлення особистих потреб блока (чотири головних циркуляційних насоси, два живильних електричних насоси та інше) було переведене на шини турбогенератора №8, що залишився у роботі. Теплове навантаження складало 1600 МВт (50 % від номінального). Запас реактивності (кількість стрижнів-поглиначів, що були спущені до активної зони) складав 30 стрижнів. Відповідно до регламенту максимально допустимі втрати реактивності у перехідному процесі повинні складати не менше ніж 15 стрижнів. Відповідно до регламенту, що діяв на той час, під час зниження запасу реактивності до 30 стрижнів можна було працювати з дозволу головного інженера станції, а за умови зниження запасу до 15 стрижнів необхідно заглушити реактор.

14 годин 00 хвилин. Згідно з програмою випробувань була вимкнена система аварійного охолодження реактора, щоб не допустити можливого теплового удару при надходженні холодної води до гарячого реактора. За вимогою диспетчера Київенерго через дефіцит потужності в системі об'єднаного диспетчерського управління подальше зниження потужності реактора було призупинено. Експлуатація четвертого енергоблока в цей час продовжувалась із вимкненою системою аварійного охолодження реактора, що не дозволялось технологічним регламентом.

23 година 10 хвилин. Після отримання дозволу на зупинку реактора, продовжено зниження його потужності. Згідно з програмою випробувань вибіг ротора генератора передбачалось здійснити за потужністю реактора 700-1000 МВт (такий вибіг необхідно здійснювати на момент зупинки реактора, бо за максимальної проектної аварії аварійний захист реактора зупиняє апарат). Але був вибраний інший шлях – продовжити експеримент за умов працюючого

реактора. Зміна, що заступила о 24 годині 00 хвилин, прийняла реактор на низькій потужності 700 МВт (теплових). Зменшення потужності через отруєння ксеноном призводить до зниження запасу реактивності. Згідно регламенту на такій потужності необхідно було переключити систему з локального автоматичного регулятора на загальний автоматичний регулятор. Але через неправильні дії оператора потужність реактора зменшилась, майже, до нуля (30 МВт (тепл.)). За такої малої потужності інтенсивність отруєння реактора продуктами розкладання (ксеноном, йодом) різко зростає.

*01 година 00 хвилин.* Персоналу вдається підняти потужність реактора та стабілізувати її на рівні 200 МВт (теплових) замість 700-1000 МВт, що передбачено програмою випробувань. Виведення реактора на потужність здійснюється шляхом ручного виведення стрижнів-поглиначів з активної зони. Запас реактивності був аварійний, але з порушенням вимог регламенту робота продовжувалася. Через малий запас реактивності персоналу не вдалося підняти потужність до 700 МВт. Тривала робота реактора за потужністю меншою 700 МВт (теплових) регламентом не дозволяється, бо за цим режимом невеликі зміни потужності призводять до великих змін в об'ємі пари. За цих умов ускладнюється управління потужністю та витратою живильної води. Виведення великої кількості регулюючих стрижнів на низькому рівні потужності (200 МВт) одночасно створило умови, які збільшили нестабільність роботи реактора та знизили ефективність системи захисту. Чим менший запас реактивності, тим більше чутливим стає реактор до змін в перерозподілі пари в активній зоні.

За потужності реактора нижчою 20 % від номінальної, реактор потрапляє до режиму, коли підвищення потужності призводить до підвищення реактивності і, як наслідок, до подальшого підвищення потужності реактора. За номінального режиму (потужність більша за номінальну на 20 %) такий ефект відсутній. Реактор продовжував працювати на рівні потужності 200 МВт, яка була забороненою для його тривалої експлуатації. Це було серйозним порушенням, але ще не достатнім, щоб викликати аварію.

*01 година 07 хвилин.* До шести працюючих головних циркуляційних насосів (ГЦН) додатково підключають ще два з метою надійного охолодження активної зони після закінчення експерименту. Слід відмітити, що гідравлічний опір активної зони залежить від потужності реактора. А оскільки потужність реактора була малою, гідравлічний опір активної зони також був низьким. У роботі знаходилося вісім насосів, сумарна витрата води через реактор зросла до 60 тисяч куб. м. за годину за нормою 45 тисяч м<sup>3</sup>, що було грубим порушенням регламенту експлуатації. За такого режиму насоси можуть зірвати подачу, можливе виникнення вібрації трубопроводів контуру через закипання води із сильними гідроударами. Щоб запобігти зупинки реактора через значні коливання тиску та рівня води в барабанах-сепараторах, персонал відключив аварійний захист по тиску і рівню води.

*01 година 20 хвилин.* В результаті ксенонового отруєння стрижні автоматичного регулювання вийшли майже до положення верхніх кінцевих вимикачів. Щоб не допустити вимкнення автоматичного регулятора та

утримати його у зоні регулювання, оператору прийшлося додатково інтенсивно виймати стрижні поглиначі, запас реактивності став ще меншим. Унаслідок підключення двох додаткових ГЦН рівень води в барабанах-сепараторах почав зменшуватися, зменшилось і пароутворення теплоносія в активній зоні реактора. Для його підтримання оператор різко збільшує подачу живильної води до реактора. Унаслідок цього технологічні канали заповнились водою по всій висоті активної зони, а парова фаза зайняла верхню частину каналу на ділянці 1,5-2 метри зверху від активної зони.

*01 година 22 хвилини 30 секунд.* В активній зоні знаходились 6-8 стрижнів-поглиначів замість 30-ти необхідних. Після досягнення номінального рівня води в барабанах-сепараторах оператор різко знизив витрату живильної води (практично до нуля). Реактор почав збільшувати потужність. Зниження витрати живильної води призвело до підвищення температури води на вході циркуляційного насоса. Діючий регулятор не зміг зупинити збільшення потужності. Відбувся автоматичний перехід на резервний регулятор, який також починає рух стрижнів до зони, але ефективність стрижнів-регуляторів не збільшилась.

В цій ситуації завданням оператора було «допомогти» регулятору подавити потужність реактора, що збільшувалася, шляхом введення до активної зони стрижнів. Але, мабуть, вибір стрижнів для цього був невдалим. За вдалого вибору стрижнів, їх швидкого уведення до зони (по чотири чи по два) можна було б зупинити підвищення потужності та попередити аварію навіть на цей момент.

*01 година 23 хвилини 04 секунди.* Закрито подачу пари до турбіни. Почався режим вибігу. Одночасно були вимкнені сьомий та восьмий турбогенератори, що не дозволило спрацювати ще одній системі захисту – зупинці реактора після вимкнення останнього працюючого генератора. Аварійний захист реактора був заблокований персоналом, щоб мати можливість повторити випробування, якщо перша спроба виявиться невдалою. Оскільки з кожного боку контуру охолодження реактора два насоси живились від турбогенератора, що проходив випробування, то у процесі випробувань витрата води через реактор стала зменшуватися, підвищилось пароутворення, а це сприяло прискоренню зростання потужності. За підвищення потужності реактора виникає криза тепловіддачі, руйнуються паливні ядерні касети, бурхливо закипає теплоносіє, до якого вже потрапили частинки зруйнованого палива, різко підвищується тиск в технологічних каналах і вони починають руйнуватися. За різкого підвищення тиску в реакторі закриваються зворотні клапани головних циркуляційних насосів і повністю зупиняється подача води через активну зону. Пароутворення зростає. Тиск підвищується із швидкістю 15 атм. за секунду.

*01 година 23 хвилини 40 секунд.* Начальник зміни, зрозумівши небезпеку ситуації, що виникла, дав команду заглушити реактор кнопкою аварійного захисту. Потужність реактора на цей момент становила 500 МВт (теплових). Стрижні управління та захисту пішли до активної зони, але дійшли лише до 3-3,5 м. Під час руху поглиначів униз (до активної зони) густина нейтронів за

висотою реактора перерозподіляється – збільшується у нижній частині та зменшується у верхній. Оскільки процес виштовхування стрижнів управління конструктивно виконаний не за всією висотою активної зони, а канал у верхній та нижній частинах зайнятий водою, під час руху стрижня униз ефект зменшення поглинання нейтронів нижнім стовпом води перевищує ефект поглинання нейтронів стрижнем. Особливо важливим цей ефект стає тоді, коли із активної зони виведена велика кількість стрижнів. Все це призвело до збільшення реактивності та раптового збільшення потужності (реактор набув некерованого режиму роботи). У цей момент відбувається масове руйнування технологічних каналів і в активній зоні реактора відбувається бурхлива парацирконієва й інші хімічні та екзотермічні реакції з утворенням водню і кисню, тобто вибухової суміші. Одночасно стався потужний паровий викид – спрацювали головні запобіжні клапани реактора. Але викид тривав недовго, клапани не спроможні були справитися з таким тиском та витратою і зруйнувалися. У цей же час великим тиском відірвало нижні водяні та верхні пароводяні комунікації. Реактор зверху отримав вільне сполучення з центральним залом та приміщеннями барабан-сепараторів, а знизу – з міцним, щільним боксом, який за проектом був передбачений для локалізації граничної ядерної аварії. На момент цієї аварії даний бокс став величезною ємністю, де почав накопичуватися вибухонебезпечний газ.

*01 година 23 хвилини 58 секунд.* Концентрація водню у вибуховій суміші у різних приміщеннях блока стала вибухонебезпечною. Реактор та будівля четвертого енергетичного блока були зруйновані серією потужних вибухів. Вибух активної зони ЯР призвів до повного руйнування активної зони реактора, викиду у навколишнє середовище величезної радіоактивності, загоряння графітової кладки реактора і будівельних конструкцій, включаючи дах машинного залу і реакторного енергоблока.

На момент аварії на ЧАЕС у паливному завантаженні активної зони містилось близько 680 кг напрацьованих в реакторі трансуранових елементів та близько 350 кг радіоактивних продуктів розподілу сумарною активністю понад 5700 МКи. У результаті радіаційного опромінення під час аварії загинули 26 чоловік. Сумарний збиток від аварії оцінюється в 170-215 млрд. доларів. Але оцінити збитки, що нанесені Україні і всьому людству, практично неможливо.

Радіаційна обстановка, що виникла внаслідок аварії, визначалась викидом з активної зони паливного завантаження, що перетворилось у неконтрольоване джерело іонізуючих випромінювань та глобального радіоактивного забруднення. Відомо, що суттєве радіоактивне забруднення, окрім країн СНД, спостерігалось в країнах Східної Європи, Швеції, Італії, Ірландії, Норвегії, Фінляндії, Греції, Туреччини, Ізраїлю. Загальний об'єм викиду близько 450 типів різноманітних радіонуклідів оцінюється в десятки тисяч Хіросім. Сумарна активність аварійних викидів оцінюється приблизно в 500 МКи.

Японський вчений М. Танока, директор Національного центру з досліджень в галузі атомної енергетики, відмітив, що унаслідок вибуху атомної

бомби над Хіросімою сумарний викид радіоактивності склав 0,74 кг, а під час аварії на ЧАЕС – 63 кг. Шляхами поширення радіоактивних речовин через навколишнє середовище до людини стали рухомі повітряні та водяні середовища. Але на майданчику ЧАЕС радіаційна обстановка в 1986 році визначалась також прямим випромінюванням від блоку та від поверхні землі, забрудненої в період активної стадії аварії. Через високу активність та радіаційні поля накопичення відпрацьованого ядерного палива та фрагментів активної зони не піддавались контролю. Зараз і ще на десятки років основним джерелом зовнішнього опромінення є і буде  $^{137}\text{Cs}$  у випадках на ґрунт, а внутрішнього -  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування, що виробляються на забруднених цими радіонуклідами територіях.

**Пожежна небезпека під час аварії на ЧАЕС** визначалась великою кількістю горючого матеріалу без засобів виявлення та ліквідації пожежі. Тому одним із першочергових заходів по покращенню радіаційної обстановки стало створення додаткового захисту – укриття території та завалів на підступах до блока біозахистом. І сьогодні ще розглядаються та уточнюються причини аварії на ЧАЕС. Однією з причин аварії та руйнування центрального залу 4-го енергоблоку вважають виникнення ударної хвилі в результаті вибухового випаровування частини палива активної зони реактора, що вийшла із шахти і вибухнула в центральному залі в результаті розігріву через вибіг реактивності на висоті 14 м. Іншими словами, однією із версій руйнування центральної зали стала самочинна ланцюгова реакція, що має місце при ядерному вибуху, внаслідок якого паливо випарувалось, а температура фронту вибухової хвилі перевищила  $7000\text{ }^\circ\text{C}$  [О.П. Михайлюк].

Більш ймовірною причиною руйнування центрального залу 4-го енергоблока ЧАЕС вважають вибух водню, що утворився в результаті парацирконієвої реакції усередині активної зони після руйнування оболонки твелів та контактування ядерного палива з теплоносієм.

До конструктивних причин аварій слід віднести:

1. Позитивний паровий коефіцієнт реактивності. Під час збільшення вмісту пари у активній зоні коефіцієнт розмноження реактора підвищується (тим більший за абсолютним значенням, чим нижчий рівень потужності). За цим режимом будь-яке збільшення потужності призводить до підвищення пароутворення, збільшується коефіцієнт розмноження і, отже, відбувається подальше підвищення потужності. Реактор розганяється. За номінальною потужністю реактора це явище не спостерігається.

2. Неєфективний аварійний захист через недоробки конструкції органів регулювання за малого рівня потужності та низького запасу реактивності (мала кількість поглиначів у активній зоні). На початку введення поглиначів з використанням аварійного захисту коефіцієнт розмноження став збільшуватися, а не зменшуватися. Цього ефекту можна було б уникнути, якщо б у конструкції реактора були передбачені стрижні-поглиначі, які вводяться до активної зони знизу уверх.

Сьогодні на всіх реакторах типу РВПК виконана відповідна реконструкція з вилучення всіх недоліків, що вказані вище. В реакторах типу

ВВЕР таких недоліків немає. Але, як відомо, безвідмовної складної технології не буває. Тому атомні електростанції залишаються техногенно-небезпечними об'єктами, про що свідчить статистика аварій, що виникли на даних об'єктах, та їх наслідків.

### **Пожежна безпека атомних електростанцій [О.П. Михайлюк].**

На рівень пожежної безпеки АЕС впливають такі фактори, як стан протипожежного нормування на момент проектування і будівництва АЕС, проектні помилки, будівельні недоробки, прорахунки в процесі експлуатації, надійність систем пожежної автоматики, підготовка обслуговуючого персоналу до профілактики загорянь і дій при їхньому виявленні тощо.

Основними ж факторами, що обумовлюють рівень пожежної безпеки АЕС, є:

- наявність великої кількості горючих речовин та матеріалів;
- надзвичайна уразливість атомного реактора під час пожежі (навіть незначна пожежа може привести до неконтрольованого виходу радіоактивних речовин);
- вибухове розкладання деяких матеріалів при взаємодії з водою.

Підвищену пожежну безпеку АЕС створюють великі кількості горючих трансформаторних, турбінних мастил (приблизно 100 т), що експлуатуються в умовах високих температур (до 200 °С), які можуть перевищувати їх температуру самоспалахування, ізоляція електричних кабелів, водневі системи охолодження реакторів, а також рідкометалеві теплоносії і пірофорні сполуки, що використовуються в деяких реакторах і схильні до самозаймання при контакті з водою.

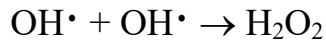
**Пожежна безпека горючих речовин і матеріалів, що використовуються на АЕС.**

**Водень** – газ без кольору та запаху з густиною 0,09 г/л при тиску 101,3 кПа та температурі 0 °С, в 14 разів легший за повітря (є самою легкою речовиною на Землі). При звичайних температурах дуже стійкий. Реагує з киснем (горить майже невидимим полум'ям) та з хлором. Суміші водню з повітрям, киснем та хлором -вибухонебезпечні. Область спалахування 4-75 %, мінімальна енергія запалювання 0,02 мДж, температура самоспалахування – 783 К, нормальна швидкість поширення полум'я – 2,7 м/с.

Поширення полум'я по воднево-повітряній суміші може відбуватися, якщо об'ємна частка водню у суміші знаходиться у межах 4-75 %. За вмісту водню в суміші понад 10 % він згорає повністю. Місцями аварійного виходу та вибуху водню на АЕС можуть бути: реакторне відділення, машинний зал, електролізна, акумуляторна. Основними джерелами появи водню в реакторному відділенні з реакторами типів ВВЕР та РВПК є радіоліз води та парацирконієва реакція в аварійному режимі, які пов'язані з утратою теплоносія. При поглинанні енергії випромінювання молекули води розкладаються в результаті первинних та вторинних реакцій радіолізу:

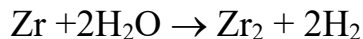






Такі реакції відбуваються з водою, як у межах випромінювання активної зони реактора при аварії системи охолодження, так і у відстійнику, де випромінювання створюється в результаті виділення продуктів розпаду. Такі ж реакції можуть відбуватися і в басейні витримки тепловиділяючих збірок. Пароцирконієва реакція (взаємодія цирконію з водою) відбувається усередині активної зони після руйнування оболонок **ТВЕЛів** та контактування ядерного палива з теплоносієм. У результаті такого контакту різко підвищується температура усередині цирконієвих технологічних каналів, що і призводить до такої реакції.

Пароцирконієва реакція також супроводжується виділенням водню:



Додатково може виділятися водень і при взаємодії води з металевими поверхнями (цинковими, алюмінієвими) у захисній оболонці. У реакторних відділеннях з реакторами типу ШН утворення водню може відбуватися в результаті взаємодії натрію з водою.

Таким чином, за даних умов аварії водень з киснем може утворити вибухопожежонебезпечні суміші, які, в першу чергу, накопичуються і горять у просторі під «ковпаком» захисної оболонки. Характер горіння водню залежить від багатьох факторів, у тому числі і від загальної і локальної концентрації водню під оболонкою та від наявності джерел запалювання. Якщо водень спалахує до його перемішування із середовищем, що заповнює об'єм захисної оболонки, то буде мати місце дифузійне горіння; якщо запалювання відбудеться після повного перемішування водню з атмосферою оболонки і його концентрація буде перевищувати нижню концентраційну межу поширення полум'я водню (4 – 9 %), тоді буде мати місце горіння без вибуху. Через те, що під захисною оболонкою можуть бути джерела запалювання, то найбільш ймовірним є поступове горіння водню. Але, якщо водень накопичується у таких кількостях, концентрація яких перевищує нижню детонаційну межу (18,2 % для водневоповітряної суміші), тоді його горіння може закінчитися детонацією **[О.П. Михайлюк]**.

Збільшення тиску внаслідок тільки однієї реакції горіння водню недостатньо для того, щоб зруйнувати захисну оболонку. Але у поєднанні з іншими причинами підвищення тиску, що з'являються в результаті тих чи інших аварій, воно становить небезпеку. Так, горіння водню може зіграти вирішальну роль у руйнуванні або прискоренні руйнування захисної оболонки під час аварії, пов'язаної з розривом головного циркуляційного трубопроводу реактора, а також при аварії з повною втратою електроживлення і супутньому відмовленні активних пристроїв безпеки.

Небезпечним також є утворення горючого оксиду вуглецю, що утворюється при взаємодії розплаву речовини активної зони, що виходить за межі корпусу, з бетоном.

У машинній залі АЕС витоки водню та його спалахування від іскор електротехнічних пристроїв або інших джерел відкритого вогню можуть статися на випадок розгерметизації сальників генератора.

Причиною руйнування корпусу реактора та захисної оболонки також може стати паровий вибух, який характеризується значним зростанням тиску при інтенсивному пароутворенні. Паровий вибух може відбутися при визначеній концентрації та температурі суміші і здатний створити ударну хвилю, яка призводить до руйнації нижньої частини корпусу з утворенням уламків або всього корпусу. При цьому уламки, що розлітаються із швидкістю кулі, руйнують сферичну кришку корпусу або вибивають керуючі стрижні, які, у свою чергу, можуть зруйнувати захист АЕС.

**Натрій** – найбільш пожежонебезпечний матеріал, що використовується на АЕС у великих об'ємах в якості теплоносія.

Натрій має високу хімічну активність, при його горінні виділяється велика кількість тепла, що приводить до підвищення температури та тиску в приміщеннях. Температура горіння натрію становить близько 900 °С, температура самоспалахування в кисні – 118 °С, температура самоспалахування в повітрі – 330-360 °С. При згорянні натрію в надлишку кисню утворюється перекис  $\text{Na}_2\text{O}_2$ , що з легкозаймистими речовинами (порошками алюмінію, сіркою, вугіллям тощо) реагує дуже енергійно, іноді з вибухом. Реакція з водою починається при температурі мінус 98 °С з виділенням водню. Під час горіння натрію в воді, що розлилася на підлозі (за даними експериментальних досліджень), температура на поверхні горіння досягає 750 -850 °С.

Пожежі на АЕС з реакторами на швидких нейтронах, що супроводжуються горінням натрію, характеризуються ушкодженням та руйнацією будівельних і технологічних конструкцій внаслідок теплового впливу.

Однією з найбільш поширених причин виникнення пожеж та загорянь на АЕС є загоряння нафтових та турбінних масел, на яких працюють турбогенератори, насоси та інше технологічне обладнання електростанцій. В якості масел на АЕС використовуються горючі нафтові масла і частіше – менш горючі турбінні масла типу **ОМТИ** з температурою спалаху більшою 240 °С та температурою самоспалахування більшою 350 °С (температура спалаху для нафтових масел складає 190 °С). У звичайному режимі турбіни працюють при температурі свіжої пари 275 °С, що значно нижча за температуру самоспалахування масел, але загроза виникнення пожежі настає за умов просочення ізоляції паропроводів маслами з наступним їх окисленням та самозайманням. Частіше за все загоряння масел відбувається при попаданні його на гарячі ділянки паропроводів під час руйнування або ослаблення через вібрацію масляних трубопроводів.

**Рівень пожежовибухонебезпеки турбогенераторів підвищується за рахунок [О.П. Михайлюк]:**

- підвищення тиску масла в системах регулювання;
- збільшення довжини маслопроводів;

- ускладнення схеми регулювання і захисту;
- підвищення температури паропроводів, корпусу турбіни і парових клапанів;
- використання водню в системі охолодження генератора.

**На силових трансформаторах причиною загоряння масла є внутрішні ушкодження в результаті короткого замкнення, зносу і загоряння ізоляції, а також погіршення якості трансформаторного масла.** Через велику потужність короткого замикання (особливо між фазами) відбувається бурхливе виділення газів, що приводить до ушкодження корпусу і викиду масла назовні з розливом та загорянням масла на великі площі.

**Пожежна небезпека кабелів [О.П. Михайлюк].** Практика показує, що більшість пожеж, що виникають на електростанціях, відбувається в кабельному господарстві. Така ситуація обумовлюється підвищеною концентрацією горючих електричних кабелів на одиниці об'єму кабельних споруд, що призводить до значного зростання пожежного навантаження і ризику виникнення пожежі. У порівнянні з іншими тепловими електростанціями, довжина кабельних ліній на АЕС більша у 2,5-3 рази, що обумовлюється складністю технологічних процесів. Кабелі і кабельні вироби на АЕС працюють в жорстких умовах: температура навколишнього середовища - до 333 °С; відносна вологість повітря – в межах 20-100 %; тиск – до 100 кПа; інтенсивність випромінювання – 0,1 М.

У залежності від умов та вимог до експлуатації, кабельні вироби, що використовуються на АЕС, поділяються на дві групи: кабелі для прокладки в кабельних спорудах і технологічних приміщеннях; кабелі спеціального призначення для роботи в гермозонах реакторних відділень АЕС із впливом спеціальних факторів у процесі експлуатації (опромінення, підвищений тиск і температура, вплив хімічних речовин).

Найбільшу пожежну небезпеку становлять кабелі з полівінілхлоридним ізоляційним покриттям. У процесі горіння полівінілхлоридний пластикат виділяє у великих кількостях хлористий водень та токсичні гази (оксид вуглецю), що утруднює гасіння пожежі. Крім вищезазначених речовин та матеріалів, на АЕС використовуються також уран, плутоній, магній, цирконій, графіт тощо. Уран, плутоній є горючими речовинами. **Уран** – метал, у вигляді стружки легко окислюється, схильний до самозаймання. Температура самоспалахування урану – 300 °С (в сухому повітрі) і 250 °С (у вологому). **Плутоній** має більшу схильність до загоряння. **Графіт** займається слабо і тільки в накопиченому стані, під впливом радіації структура графіту змінюється, що приводить до підвищення температури і загоряння графіту.

Значну пожежну небезпеку на АЕС також являють інші горючі матеріали, що використовуються у великій кількості в якості будівельних матеріалів для споруд, покриттів, утеплювачів тощо.

**Джерелами запалювання на АЕС можуть бути [О.П. Михайлюк]:**

- теплота хімічних реакцій рідкометалевих теплоносіїв з киснем повітря, водою (наприклад, при взаємодії натрію з водою температура реакційного середовища може підвищитися до 700 °С);

- високо нагріті поверхні паропроводів турбін (350-500 °С);
- самозаймання промасленої ізоляції паропроводів;
- розряди статичної електрики, електричні дуги, електричний пробій ізоляції тощо;
- іскри під час ударів та тертя;
- розжарені та розплавлені частки металу;
- відкритий вогонь та іскри під час проведення ремонтних робіт та інші.

Пожежа, що виникає на АЕС, дуже швидко поширюється по горючих речовинах та матеріалах, що використовуються в будівельних конструкціях, до яких слід віднести пластикове покриття підлог, кабельні лінії, теплоізоляція паропроводів тощо. Вогонь дуже швидко поширюється також по дзеркалу розлитих горючих рідин (наприклад, масла), по промаслених ізоляційних матеріалах, технологічних комунікаціях, трубопроводах, системах вентиляції. Небезпечним є поширення полум'я по воднево-повітряній суміші, що вибухає. При цьому вогонь швидко поширюється на інші установки та споруди по уламках, що розлітаються внаслідок вибуху.

#### **Протипожежний захист атомних електростанцій [О.П. Михайлюк].**

Проведений порівняльний аналіз вимог норм та правил пожежної безпеки, що висунуті міжнародним агентством атомної енергетики (МАГАТЕ), показує, що нормативне забезпечення АЕС в Україні вимагає глибокого вдосконалення.

Так, у покрівлях машинних залів АЕС експлуатується горючий утеплювач; протипожежні двері в реакторних відділеннях не відповідають технічним умовам їх виготовлення (низький ступінь вогнестійкості). У гермооболонках реакторних установок відсутні засоби контролю вибухонебезпечних сумішей водню з киснем повітря, а також відсутні системи по запобіганню можливих вибухів.

Велику небезпеку становить кабельне господарство АЕС, що обумовлюється перш за все використанням кабелів із горючою ізоляцією. Крім цього, не дотримані вимоги щодо окремого розміщення кабелів різних систем (блочний та резервний щити управління, щит системи аварійного захисту), що призводить до зближення, перехрещення та проходження кабельних трас різних систем безпеки. У разі виникнення пожежі це може призвести до втрати керування ядерним реактором. На більшості енергоблоків допускається прокладка кабельних трас у коридорах реакторних відділень, які є евакуаційними шляхами.

Що ж стосується вимог до систем виявлення та гасіння пожеж на АЕС, основним критерієм рекомендацій МАГАТЕ до обладнання приміщень атомних електростанцій є забезпечення управління ядерним реактором з наступним переведенням його в безпечний стан під час виникнення пожежі в будь-якому із приміщень енергоблоку. Тобто, системи виявлення загоряння влаштовуються у всіх приміщеннях, де під дію вогню може попасти обладнання, що відповідає за безпечну роботу АЕС.

Вимоги норм МАГАТЕ щодо систем димовидалення та вентиляції також мають переваги над вимогами норм, що діють в Україні з питань підвищення

рівня безпеки і вимагають встановлення цих систем не тільки в пожежонебезпечних приміщеннях, але і в інших (наприклад, в приміщеннях блочних, резервних та центральних щитів управління).

Необхідно зазначити, що за багатьма показниками норми рекомендацій МАГАТЕ пред'являють більш жорсткі вимоги до будівельної та технологічної частини атомних електростанцій, що проектуються, не допускають використання в приміщеннях реакторних відділень горючих або важкогорючих матеріалів. Найбільша різниця полягає в підходах щодо забезпечення протипожежного захисту реакторних відділень, а саме у вимогах до обладнання приміщень АЕС установками пожежної автоматики.

**Профілактика пожеж та вибухів на атомних електростанціях [О.П. Михайлюк]** полягає перш за все в запобіганні утворення горючого середовища в технологічному обладнанні та спорудах, попередженні появи в ньому джерел запалювання і, у випадку виникнення пожежі, її швидка локалізація та ліквідація.

**Запобігання утворення горючого середовища на АЕС** досягається наступними вимогами:

- контроль за продуванням парогазової суміші із вільного простору реактора з наступним допалюванням водню;
- автоматична зупинка реактора в разі накопичення водню в системах (при концентрації водню 2 % спрацьовує аварійна вентиляція);
- контроль за реакцією радіолізу води шляхом подачі до реактора гелієво-водневої суміші вибухобезпечного складу);
- укріплення захисної оболонки реактора;
- використання флегматизуючої дії тонкорозпиленої води в захисній оболонці реактора;
- застосування інертних газоподібних флегматизаторів (азот, діоксид вуглецю, хладони);
- контроль за вентиляцією простору усередині захисної оболонки реактора;
- застосування систем допалювання водню усередині захисної оболонки реактора;
- заміна горючих нафтових масел на негорючі тощо.

Профілактика виникнення джерел запалювання на АЕС передбачає заходи як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації електростанцій. До них, перш за все, відносяться наступні:

- температура поверхні обладнання не повинна перевищувати температуру навколишнього середовища більше, ніж на 45 °С (для інших випадків повинна бути не вищою 60 °С);
- маслопроводи повинні прокладатися в місцях, віддалених від гарячих джерел або мати спеціальний захист (наприклад, захисні короби тощо);
- всі гарячі ділянки обладнання та трубопроводів, що знаходяться в зоні можливого попадання на них масла, ЛЗР та ГР, повинні мати негорючу теплоізоляцію з металеву обшивкою (з'єднання обшивки обмотуються

склотканиною та покриваються рідким склом, стан теплоізоляції оглядається 1 раз на 10 діб);

- в маслосистемах повинні використовуватися матеріали, що є стійкими до масла, високих температур (до 100 °С), матеріали ущільнювачів повинні витримувати температуру до 200 °С.

**Запобігання поширення пожежі, що може виникнути на АЕС,** сприяють наступні заходи [О.П. Михайлюк]:

- проєктування мастилопроводів з безшовних труб з мінімальною кількістю фланцевих з'єднань (фланцеві з'єднання повинні мати захисні кожухи проти розбризкування масла);

- витоки масла необхідно видаляти через скидний трубопровід маслосистеми в спеціальний маслобак;

- влаштування системи аварійного зливу масла з маслотурбін у ємності, що розташовані за межами машинної зали;

- використання вогнестійких кабелів з фторполімерною ізоляцією;

- заміна горючих матеріалів на негорючі (наприклад, негорючого утеплювача в покриттях машинного залу енергоблоку та ін.).

Враховуючи вищезазначене, слід відзначити, що однією з основних вимог пожежної безпеки є запобігання впливу пожежі та її наслідків на ядерну і радіаційну безпеку АЕС. Ефективним у цьому вважається розміщення ядерного реактора в будівлі, що здатна витримати тиск вибуху водневоповітряної суміші усередині нього без порушення герметичності.

**Питання до самоконтролю:**