

**Семичасівський С.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Самченко Т.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

## АНАЛІЗ ПРИЧИН МОЖЛИВИХ ПОЖЕЖ В МАШИННИХ ЗАЛАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

У цій публікації наведено актуальність питання забезпечення пожежної безпеки машинних залів енергетичних підприємств. Акцентовано увагу на тому, що наявність в системах охолодження турбогенераторів горючого і вибухонебезпечного водню у поєднанні з горючим маслом, температура самозаймання якого значно нижче, ніж у водню, власне і складає проблему забезпечення вибухонебезпечності в машзалах електростанцій.

Проведено аналіз причин можливих пожеж в машинних залах АЕС і ТЕС. Досвід експлуатації енергоблоків, на яких встановлені турбогенератори з водневим охолодженням показав, що найбільш небезпечним порушенням з аварійними наслідками був виток водню із-за руйнування газомасляних ущільнень. Причиною таких аварій було лавиноподібне підвищення вібрації валопроводу зверх допустимих меж із-за обриву лопаток, яке призвело до руйнування ущільнень і інтенсивному виходу водню з корпусу турбогенератора. При цьому мало місце займання водню. При змішуванні палаючого водню з турбінним маслом, що витікає із зруйнованих із-за вібрації маслосистем, утворювався газомасляний факел з температурою більше 2000°C, висота якого досягала металевих ферм та інших металоконструкцій даху машзала.

Наведено відповідні таблиці з інформацією щодо розподілу катастрофічних ситуацій в машинних залах по першопричинам тощо. Зазначено, що особливу небезпеку у відношенні пожежі представляють собою системи регулювання турбін з високим тиском масла. Виток з такої системи супроводжується фонтануванням масла. Загоряння фонтануючого масла приводить до швидкого розповсюдження горіння на обладнання машинного залу і на його будівельні конструкції, що веде зазвичай до обвалення ферм перекриття покрівлі. Розущільнення корпусу турбогенератора і пов'язаної з ним газомасляної системи приводить до витoku водню в машинний зал, при цьому кількість водню, що виходить в одиницю часу, залежить від площі поперечного перетину щілини або отвору що утворилися і тиску водню в корпусі турбогенератора. Небезпечними наслідками витoku можуть бути загоряння або накопичення воднево-повітряної суміші з «хлопком» або вибухом в залежності від концентрації і об'єму суміші.

**Ключові слова:** водень, енергетичні підприємства, масло, машинні зали, пожежі, причини можливих пожеж, турбогенератори.

**Постановка проблеми.** Машинні зали енергетичних підприємств (зокрема АЕС і ТЕС) представляють собою одноповерхові будівлі і мають загальні компоновальні рішення і за висотою розділяються на два приміщення [1, 2]. В верхньому приміщенні встановлюють турбоагрегати (турбіни і генератори), в нижньому – конденсаційному розміщують конденсатори, живильні, конденсатні, дренажні і інші насоси, регенеративні і мережеві підігрівачі, інше допоміжне обладнання.

Під підлогою конденсаційного приміщення можливо улаштування підвалу глибиною 3–4 м, в якому розміщують насоси і трубопроводи охолоджуючої води, електричні кабелі і інші лінії комунікацій. Турбоагрегати в машинному залі компонується по «острівному» принципу.

На АЕС використовуються турбоагрегати однопотипні з турбоагрегатами ТЕС і загальні принципи їх розміщення в об'ємі машзалів зберігаються.

Водень знаходиться зсередини циліндричного зварного корпусу турбогенератора (далі – ТГ), закритого торцевими щитами [1, 2].

Для запобігання витoku водню у місцях виходу валу, що обертається, з торцевих щитів корпусу з обох сторін ТГ встановлені масляні ущільнення. «Запирання» водню в ущільненнях здійснюється зустрічним потоком турбінного масла в зазорі між вкладишем та валом. Тиск масла перевищує тиск водню, зазвичай перепад тисків масла і водню складає від 0,04 до 0,09 МПа, що і запобігає виходу водню через зазор між вкладишем і валом. Для підведення масла в ущільнення і зливання його

передбачається система маслопостачання. Для заповнення ТГ воднем і підтримання заданого надлишкового тиску зсередини корпусу застосовується відповідне обладнання, що утворює газову систему ТГ. Комплекс – корпус ТГ, вузли ущільнень, обладнання газової системи і системи маслопостачання – складає газомасляну систему [1, 2].

Наявність в системах охолодження ТГ горючого і вибухонебезпечного водню у поєднанні з горючим маслом, температура самозаймання якого значно нижче, ніж у водню, власне і складає проблему забезпечення вибухотажної безпеки в машзалах електростанцій.

Треба відмітити, що існуючий комплекс заходів із забезпечення пожежної безпеки в машинних залах АЕС і ТЕС має низку недоліків [2]. Разом з тим, досвід експлуатації за останні десятиріччя показує, що на електростанціях, в тому числі і на атомних, трапляються великі аварії з катастрофічними наслідками – пожежами, значними пошкодженнями і (або) руйнуванням ТГ і будівельних конструкцій машинних залів внаслідок пошкодження ТГ і горіння водню і масла [2].

Враховуючи зазначене вище, набуває актуальності питання забезпечення пожежної безпеки машинних залів АЕС і ТЕС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікація [1] присвячена, зокрема, аналізу причин виникнення пожеж у машинних залах енергетичних підприємств, аналізу недоліків наявних систем пожежогасіння на цих об'єктах. Також наведено конкретні випадки неспрацювань систем пожежогасіння в машинних залах АЕС.

В публікації [2] досліджено сценарії можливих пожеж в машинних залах атомних і теплових електростанцій.

В той же час, слід зауважити, що потребує більш детального вивчення проблема виникнення можливих пожеж у машинних залах енергетичних підприємств.

**Мета та завдання дослідження.** З метою сприяння у вирішенні зазначеної проблеми у цій публікації необхідно ґрунтовно дослідити причини можливих пожеж в машинних залах АЕС і ТЕС. Результати дослідження сприятимуть розробленню відповідних заходів щодо запобігання виникнення пожеж в машинних залах електростанцій та пропозицій щодо вдосконалення існуючої системи їх протипожежного захисту.

**Виклад основного матеріалу. аналіз причин можливих пожеж в машинних залах АЕС і ТЕС.** Як відомо, загоряння стається при одночасній наявності горючих матеріалів, кисню пові-

тря, з яким взаємодіють горючі матеріали, і джерела запалювання, що має місце в машинному залі електростанції [1–3].

Горючі матеріали – турбінне масло, що застосовується в системах змазування, маслопостачання ущільнень валу, і водень, що застосовується в системі охолодження генератора.

Турбінне масло безпосередньо взаємодіє з киснем повітря в порожнинах в місцях зливання масла з підшипників і в головному маслобаці при атмосферному тиску, що безпечно при відсутності джерел запалювання.

Турбінне масло, що знаходиться в напірних маслопроводах при надлишковому тиску, може взаємодіяти з киснем повітря тільки при розгерметизації, яка має місце при пошкодженні підшипників, маслопроводів. Масло, що витікає або фонтанує, займається, потрапляючи на нагріті поверхні технологічного обладнання і, передусім, паропроводи турбіни, які є джерелами запалювання. Ці ж джерела запалювання приводять до займання теплоізоляції паропроводів і турбіни, яка просочена маслом.

Водень, який знаходиться в герметичній газомасляній системі генератора при надлишковому тиску, може активно взаємодіяти з киснем повітря тільки при розгерметизації цієї системи. Можливі джерела запалювання – щітково – контактний апарат генератора, де неминує іскріння, колектори електродвигунів, струмоведучі частини, які знаходяться під високою напругою з неминучими струмами витоку і частковими розрядами в контурах цих струмів, а також іскра, що виникає при ударі металевих деталей. Крім того, можливе самозаймання струменя водню внаслідок тепловідділення і нагріву від тертя. Водень безпосередньо контактує з розпилим маслом в зливних камерах ущільнень вала, в зливних трубопроводах і в порожнині поплавкового гідрозатвора.

Коли стається виток водню з генератора, то, незважаючи на контакт водню з киснем повітря, не завжди стається займання водню або вибух воднево-повітряної суміші. Якщо ж займання струменю водню сталося, то енергії яка при цьому виділяється, достатньо для займання турбінного масла, яке витікає одночасно з системи змазування і ущільнення вала генератора.

Витоки водню можуть ставатися через місця стиків (фланцевих з'єднань деталей), що ущільнюються зазвичай резиновими шнурами, резиновими прокладками і манжетами.

Витоки водню можливі через дефекти зварних швів корпусу і торцевих щитів, через струмопідводи

і центральний отвір ротору, а також із різних місць обладнання і арматури газомасляної системи.

Водень потрапляє в картери підшипників через ущільнення при певних дефектах ущільнень, і регуляторів перепаду тисків масла і водню.

В машинних залах енергетичних підприємств існують основні принципи забезпечення вибухо- і пожежонебезпеки турбогенераторів з водневим охолодженням, наприклад:

- необхідна механічна міцність корпусу ТГ, торцевих щитів, корпусів ущільнень вала, демпферного бака, трубопроводів, арматури та іншого обладнання газомасляної системи;

- необхідна газощільність корпусу ТГ, торцевих щитів і корпусів ущільнень вала, гідрозатвора та іншого газонаповненого обладнання газомасляної системи;

- автоматичне підтримання заданого перепаду тисків масла і водню в стаціонарних, перехідних і аварійних режимах роботи ТГ і газомасляної системи;

- маслощільність корпусів ущільнень вала і всього обладнання газомасляної системи, що містить турбінне масло;

- відсутність потенційної можливості накопичення воднево-повітряної суміші в замкненому просторі;

- дотримання безпечного порядку заповнення корпусу ТГ воднем і видалення останнього – тільки через заміщення інертним газом, тощо.

Вказані принципи відображені в проектно-конструкторській і технологічній документації та інших керівних нормативних матеріалах, що відносяться до виготовлення, монтажу, експлуатації і ремонту ТГ і його газомасляної системи. Досягнутий рівень реалізації вказаних принципів забезпечив високу надійність турбогенераторів з водневим охолодженням, які експлуатуються в Україні і за кордоном.

Разом з тим, досвід експлуатації енергоблоків, на яких встановлені турбогенератори з водневим охолодженням, показав, що мали місце неодноразові аварії з виходом водню з корпусу турбогенератора. Ці порушення можна розділити за причинами їх виникнення на [1], [3–7]:

- виток через фланцеві з'єднання трубопроводів і штуцери – 20%;

- видавлювання ущільнюючих гумових прокладок (кришки люка, фланца корпусу ТГ, між корпусом ущільнення і торцевим щитом тощо) – 20%;

- прорив через поплашковий гідрозатвор – 10%;

- виток через ущільнюючі гумові прокладки газоохолоджувачів – 10%;

- виток або прорив в картери підшипників – 9%;

- виток через зварні з'єднання трубопроводів – 6%;

- виток через фланцеві з'єднання поплашкового гідрозатвору – 6%;

- порушення роботи регуляторів перепаду тисків масла і водню, регуляторів тиску прижимаючого масла – 6%;

- виток через горизонтальні роз'єми торцевих щитів – 3%.

Найбільш небезпечним порушенням з аварійними наслідками був виток водню із-за руйнування газомасляних ущільнень.

Причиною таких аварій було лавиноподібне підвищення вібрації валопроводу зверх допустимих меж із-за обриву лопаток, яке призвело до руйнування ущільнень і інтенсивному виходу водню з корпусу турбогенератора.

При цьому мало місце займання водню. При змішуванні палаючого водню з турбінним маслом, що витікає із зруйнованих із-за вібрації маселосистем, утворювався газомасляний факел з температурою більше 2000°C, висота якого досягала металевих ферм та інших металоконструкцій даху машзала.

В результаті впливу цієї температури металоконструкції втрачали стійкість та ставалося їх обрушення.

На рисунку 1 показано пожежу, яка сталася у 2013 році на Вуглегірській ТЕС та наведено зовнішній вигляд зруйнованого пожежою машинного залу.

Статистика аварій з пожежами і руйнуванням машинного залу свідчить про те, що:

1. Пожежі в турбінному відділенні виникають з причини:

- недостатньої кваліфікації експлуатаційного оперативного персоналу;

- низької якості ремонту, помилок ремонтного персоналу і порушень ними технічних вимог щодо ремонту обладнання і систем;

- недоліків конструкції обладнання і забезпечуючих його роботу систем.

2. Порушення в газомасляній системі і ущільнень валів генераторів без їх пошкодження є першопричиною масштабних пожеж.

3. Найбільшу небезпеку по швидкості і масштабності представляють аварії з обривом лопаток турбіни, все зростаючої при цьому вібрацією роторів валопроводу турбогенератора, пошкодженням його підшипників і ущільнень вала генератора і виникненням пожежі.

Розподіл катастрофічних ситуацій в машинних залах по першопричинам наведений в таблиці 1.





Рис. 1. Пожежа, яка сталася у 2013 році на Вуглегірській ТЕС та зовнішній вигляд зруйнованого пожежою машинного залу

Таблиця 1

**Розподіл катастрофічних ситуацій в машинних залах по першопричинам**

Першопричина	Наслідки	Кількість аварій	
		ТЕС	АЕС
Механічне руйнування обладнання турбоагрегатів	Пожежа з обваленням покрівлі; загибель двох осіб	18	1
Розуцільнення маслосистем турбоагрегатів	Пожежа з обваленням покрівлі	5	1
Розуцільнення систем водневого охолодження ТГ	Пожежа з обваленням покрівлі	2	0
	Вибух воднево-повітряної суміші і пожежа	2	0
	Вибух воднево-повітряної суміші; загибель двох осіб	1	0
Помилкові дії персоналу при переводі ТГ з водню на повітря	Вибух воднево-повітряної суміші; загибель однієї особи	1	0
Руйнування вимикача і горіння кабельних трас з розповсюдженням на маслобак і уздовж машзала	Пожежа на великій площі мазала, втрата керованості станції	1	0
Разом:		30	2

Таблиця 2

**Розподіл катастрофічних ситуацій в машинних залах, що відбулися внаслідок механічного руйнування обладнання турбоагрегатів**

Першопричина	Наслідки	Кількість аварій	
		ТЕС	АЕС
Розбалансування валопроводу з-за пошкодження турбіни, що привела до різкого зростання вібрації валу і пошкодженню підшипників	Пожежа з обваленням покрівлі; загибель двох осіб	10	0
Пошкодження підшипників при розгоні турбіни	Пожежа з обваленням покрівлі	2	0
Руйнування бандажного кільця ротору ТГ	Пожежа з обваленням покрівлі	3	0
Різде зростання вібрації підшипників з-за переходу ТГ в асинхронний режим	Пожежа з пошкодженням покрівлі	1	0
Поломка валу з-за неправильної зборки муфти з'єднання роторів турбіни і генератору	Пожежа з пошкодженням покрівлі	1	0
Різде зростання вібрації підшипників з-за переходу ТГ в режим асинхронного двигуна	Пожежа з обваленням покрівлі	1	1
Разом:		18	1

Більш детально розподіл першопричин зсередини вказаних груп показано в таблицях 2–3.

*Розуцільнення високонапірних маслопроводів турбіни або живильних турбонасосів*

Статистична інформація про пожежі в машинних залах електростанцій показує, що значна частина (близько 20 %) першопричин полягає у витіках турбінного масла, як правило, з напірних

**Розподіл катастрофічних ситуацій в машинних залах,  
що відбулися внаслідок Розуцільнення маслосистем турбоагрегатів**

Першопричина	Наслідки	Кількість аварій	
		ТЕС	АЕС
Викид масла з високонапірних маслопроводів	Пожежа з обваленням покрівлі	4	1
Виток і попадання масла на паропроводи	Пожежа з обваленням покрівлі	1	0
Горіння і розтікання масла з маслобаку	Пожежа на великій площі	1	0
Разом:		6	1

Таблиця 4

**Розподіл катастрофічних ситуацій в машинних залах,  
що відбулися внаслідок Розуцільнення систем водневого охолодження ТГ**

Першопричина	Наслідки	Кількість аварій	
		ТЕС	АЕС
Розгерметизація виводів ТГ, виток водню в кожухи екранованих струмопроводів	Вибух воднево-повітряної суміші і пожежа	2	0
Застрявання вкладиша ущільнення, вихід водню під декоративну обшивку і накопичення його	Вибух воднево-повітряної суміші; загибель двох осіб	1	0
Порушення газощільності прохідного ізолятора водопідведення обмотки статора, викид водню	Пожежа з обваленням покрівлі	1	0
Руйнування ущільнень валу і викид водню і масла при короткому замиканні обмотки статора ТГ	Пожежа з обваленням покрівлі	1	0
Утворення воднево-повітряної суміші в ТГ внаслідок помилкових дій персоналу	Вибух воднево-повітряної суміші; загибель однієї особи	1	0
Разом:		6	0

маслопроводів і їх арматури систем змазування і систем регулювання. Загоряння масла зазвичай стається тоді, коли масло витікає або розбризкується на відкриту поверхню паропроводів або вузлів їх з'єднання, температура яких перевищує температуру займання масла. Якщо ж масло потрапляє на поверхню теплоізоляції, яка є пористим матеріалом, то просочення теплоізоляції і насичення її маслом приводе з часом до самозаймання масла. Масло просочується в теплоізоляцію на значну відстань, тобто загоряння масла може статися в обшивці далеко від місця витоків.

Особливу небезпеку у відношенні пожежі представляють собою системи регулювання турбін з високим тиском масла. Виток з такої системи супроводжується фонтануванням масла. Загоряння фонтануючого масла приводе до швидкого розповсюдження горіння на обладнання машинного залу і на його будівельні конструкції, що веде зазвичай до обвалення ферм перекриття покрівлі. Характерними є події, вказані в таблиці 1, аналіз деяких з них приводиться нижче.

Викид масла з подальшим займанням стався при ремонті механізму управління турбіни живильного турбонасоса на Екібастузькій ГРЕС-1 (Казахстан) в жовтні 1984 року. Внаслідок пожежі в машинному залі сталося обвалення перекриттів покрівлі, згоріла м'яка покрівля і утеплювач. Пошкоджені ТГ № 5 і № 6.

Вогонь, що проник в кабельні канали, знищив багато силових і контрольних кабелів.

Відрив запобіжного клапана на трубопроводі системи регулювання привів до викиду масла з маслобака турбіни турбоагрегату № 1 Миронівської ГРЕС (Україна) (травень 1981 року) з наступним займанням і пожежою в районі маслобака. Пожежа швидко розповсюдилась на площадку обслуговування турбіни № 1, в результаті чого був пошкоджений генератор і обвалились перекриття покрівлі машинного залу.

Пожежа в районі напірного маслопроводу підшипника № 1 турбоагрегату № 3 Слов'янської ГРЕС (Україна) (серпень 1986 року) виникла внаслідок самовідгвинчування гайки-гільзи температурного контролю, викиду і загоряння масла. В результаті температурних впливів факела масла, що горить сталися деформація нижнього поясу ферми покрівлі і падіння окремих плит перекриття на площадку обслуговування турбіни.

*Розуцільнення систем водневого охолодження ТГ*

Розуцільнення корпусу ТГ і пов'язаної з ним газомасляної системи приводе до витоків водню в машинний зал, при цьому кількість водню, що виходить в одиницю часу, залежить від площі поперечного перетину щілини або отвору що утворилися і тиску водню в корпусі ТГ. Небезпечними наслідками витоків можуть бути загоряння або

накопичення воднево-повітряної суміші з «хлопком» або вибухом в залежності від концентрації і об'єму суміші.

Аналіз причин вибухів показав явні порушення основного принципу забезпечення вибухонебезпеки ТГ з водневим охолодженням – недопущення потенційної можливості накопичення воднево-повітряної суміші в замкненому просторі або просторі, що погано вентилюється.

Так, в двох випадках вибух воднево-повітряної суміші стався в кожухах комплектних екранованих струмопроводів, куди водень проник через пошкоджені гумові ущільнюючі прокладки ізоляторів лінійних виводів обмотки статора ТГ.

На ТГ № 8 (100 МВт) Карагандинської ГРЕС-2 (Казахстан) в 1991 році виток і самозаймання водню привели до вибуху воднево-повітряної суміші в струмопроводі, однак без тяжких наслідків.

Один вибух стався на блоці №3 Тбіліської ГРЕС (Грузія) в 1985 році після виводу в ремонт ТГ типу ТВВ-165-2. При витісненні водню вуглекислим газом і подальшим заповненням корпусу повітрям був відсутнім належний контроль складу газу зсередини ТГ. При неповному витісненні водню були початі зварювальні роботи на трубопроводах газоохолоджувача. В результаті стався вибух воднево-повітряної суміші в корпусі ТГ, який привів до пошкодження ТГ і загибелі зварювальника.

Інші аварійні ситуації з порушенням газоциліності ТГ полягали у викиді і загорянні водню (без вибуху). В двох випадках розвиток загоряння в пожежу водню і масла, потім розповсюдження пожежі в машинному залі привело до пошкодження обладнання систем збуджування, контрольних і силових кабелів, підкранових шляхів і ферм перекриттів покрівлі над ТГ. Це сталося на ТГ № 7 Тбіліської ГРЕС (Грузія) в 1987 році і на ТГ № 4 Одеської ТЕЦ (Україна) в 1989 році, причому в останньому випадку мало місце обвалення покрівлі машинного залу.

Крім вищенаведених катастрофічних подій, в період, що розглядається на теплових електростанціях зафіксовано 28 аварійних ситуацій з витоків і локальними загоряннями водню, своєчасна ліквідація яких не дала витоків розвинути в пожежі з тяжкими наслідками. Кількості цих

загорянь розподіляються по причинах наступним чином:

- витоків водню через виводи ТГ – 7;
- виток через ущільнення валу в картери підшипників – 4;
- виток через прокладку фланца – 3;
- виток через газовий вентиль – 2;
- інші витоків (причина невідома) – 1.

На АЕС також мали місце витоків водню на ТГ з локальними загоряннями і локальними вибухами («хлопками»), але оскільки були своєчасно прийняті міри, вони не приводили до тяжких наслідків і пожеж.

Вони розподіляються за причинами наступним чином:

- виток водню через дефектний вентиль – 5;
- виток водню через поплавковий гідрозатвор ЗГ-500 – 3;
- виток через ущільнення в картер підшипника – 1;
- виток через прокладку фланца торцевого щита – 1;
- інші (тріщина, свищ) – 2.

Досить багато загорянь на ТЕС і АЕС відбувалося з-за витоків водню через дефектні вентиля. Самі по собі ці загоряння не розвивались в пожежі, але існує потенційна імовірність такого розвитку. На АЕС в трьох випадках з п'яти порушення виникали при відборі проб газу на аналіз шляхом відкриття вентилів на газовому посту, при цьому була серйозна небезпека травмування людини. Це було пов'язано з порушенням інструкцій, зокрема, вимоги про відбір проб двома робітниками.

### Висновки

1. В результаті проведеного аналізу встановлено причини можливих пожеж в машинних залах енергетичних підприємств.

2. Проблема забезпечення пожежної безпеки машинних залів енергетичних підприємств на теперішній час залишається актуальною та потребує проведення подальших досліджень. Всі отримані результати вказаного аналізу, повинні бути покладені в основу розробки відповідних заходів щодо запобігання виникнення пожеж в машинних залах електростанцій та розробки пропозицій щодо вдосконалення існуючої системи їх протипожежного захисту.

### Список літератури:

1. Семичаєвський, С.В., Щодо пожежної безпеки машинних залів енергетичних підприємств / С.В. Семичаєвський., І.Г. Стилик, В.В. Свірський, Б.О. Алімов // *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2021. Том 32 (71) № 6. С. 145–150.
2. Семичаєвський, С.В., Дослідження сценаріїв можливих пожеж в машинних залах атомних і теплових електростанцій / С.В. Семичаєвський., Т.В. Самченко// *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2023. Том 34 (73) № 2. С. 281–287.

3. Кирилів, Я.Б., Аналіз пожежної безпеки машинних залів атомних електростанцій / Я.Б. Кирилів., С.І. Білик, О.В. Хлевной // *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2018. № 6. С. 150–156.

4. International Guidelines for Fire Protection of Nuclear Power Plants. Published on behalf of NUCLEAR POOL'S FORUM. Revised Edition 1997. AMERICAN NUCLEAR INSURERS Town Center, Suite 300S, 29 South Main Street West Hartford, Connecticut 06107-2430 U.S.A.

5. Regulatory Guide 1.189 Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants NRC Information Notice 2002-27: Recent Fires at Commercial Nuclear Power Plants in the United States.

6. Nuclear Insurance Fire Risk Edgar Dressler (American Nuclear Insurers), ICONE 9, Nice, France, 2001.

7. V.F. Niolette, S.P. Nowlen, Fire models for assessment of nuclear power plant fires, *Nuclear Engineering and Design* 125 (1991) 389–394.

### **Semychayevsky S.V., Samchenko T.V. ANALYSIS OF CAUSES OF POSSIBLE FIRES IN MACHINE ROOMS OF ENERGY ENTERPRISES**

*This publication presents the relevance of the issue of ensuring fire safety of engine rooms of energy enterprises. Attention is drawn to the fact that the presence of flammable and explosive hydrogen in the cooling systems of turbine generators in combination with flammable oil, the auto-ignition temperature of which is significantly lower than that of hydrogen, actually constitutes a problem of ensuring explosion and fire safety in power plant halls.*

*An analysis of the causes of possible fires in the engine rooms of NPPs and TPPs was carried out. The experience of operation of power units on which hydrogen-cooled turbogenerators are installed showed that the most dangerous violation with emergency consequences was the leakage of hydrogen due to the destruction of gas-oil seals. The cause of such accidents was an avalanche-like increase in the vibration of the shaft pipeline beyond the permissible limits due to the breakage of the blades, which led to the destruction of the seals and the intensive release of hydrogen from the turbogenerator housing. At the same time, hydrogen ignition took place. When burning hydrogen was mixed with turbine oil flowing out of oil systems destroyed due to vibration, a gas-oil torch with a temperature of more than 2000°C was formed, the height of which reached the metal trusses and other metal structures of the mashzal roof.*

*Corresponding tables with information on the distribution of catastrophic situations in engine rooms by root causes, etc., are provided. It is noted that turbine control systems with high oil pressure represent a particular fire hazard. A leak from such a system is accompanied by gushing oil. Ignition of gushing oil leads to the rapid spread of burning to the equipment of the engine room and its building structures, which usually leads to the collapse of the roof trusses. Decompression of the turbogenerator housing and the gas-oil system associated with it leads to the leakage of hydrogen into the engine room, while the amount of hydrogen released per unit of time depends on the cross-sectional area of the gap or hole formed and the hydrogen pressure in the turbogenerator housing. Dangerous consequences of a leak can be ignition or accumulation of a hydrogen-air mixture with a “clap” or explosion, depending on the concentration and volume of the mixture.*

**Key words:** *causes of possible fires, energy companies, engine rooms, fires, hydrogen, oil, turbogenerators.*