

**Дослідження застосування примусового скидання тиску в системі герметичного огороження ВВЕР-1000**

**Исследование применения принудительного сброса давления в системе герметического ограждения ВВЭР-1000**

**Study of the forced pressure relief from the VVER-1000 containment**

Научный руководитель – каф. «Атомная энергетика», Ст. преп. Колыханов В. Н.

Advisor – dept. «Atomic energy», Senior Lecturer Kolykhanos V. N.

Науковий керівник – каф. «Атомна енергетика», Ст. викл. Колиханов В. М.

Студент групи ТЯ – 1504 Синюта А. О., Синюта А. А., Syniuta A. A.

Аннотация:

Одной из основных целей внедрения данной модификация (внедрение системы принудительного сброса давления из СГО) является дополнение комплекса систем, выполняющих функциональные задачи локализирующих систем безопасности (ЛСБ) по предотвращению разрушения контайнмента во время тяжелой аварии системой, работа которой основана на других физических принципах и для функционирования которой не требуются источники энергии, а также работа других обеспечивающих систем.

Внедрение СПСД, в составе которой имеются фильтры парогазовой среды, позволяет в условиях тяжёлых аварий повысить надежность выполнения функций безопасности СГО в полном соответствии с требованиями общих положений по безопасности для Украинских АЭС в части требований по реализации стратегии глубоко эшелонированной защиты для энергоблоков АЭС.

Таким образом, целью СПСД является:

- защита СГО от разрушения в случае увеличения внутреннего избыточного давления в ГО свыше проектного предела - 4,0 кгс/см<sup>2</sup> (изб.) (при запроектных и «тяжелых» авариях) путём реализации аварийного фильтруемого сброса ПГС из ГО через СПСД в окружающую среду;
- минимизация радиационного воздействия на окружающую среду и население в случае реализации аварийного сброса ПГС из ГО через СПСД в окружающую среду.

Кроме того, СПСД также обеспечивает выполнение дополнительной функции - отвод тепла из зоны локализации в окружающую среду.

Annotation:

One of the main goals of the implementation of this modification is to supplement the complex of systems that perform the functional tasks of localizing safety systems to prevent the destruction of the containment during a severe accident with a system whose operation is based on other physical principles and for functioning which does not require energy sources, as well as the operation of other supporting systems.

The introduction of a forced pressure, which includes filters for a vapor-gas environment, makes it possible, in severe accidents, to increase the reliability of the performance of the safety functions of the SSS in full compliance with the requirements of general safety regulations for Ukrainian NPPs in terms of the requirements for the implementation of the defense in depth strategy for NPP power units.

Thus, the purpose of the PCAA is:

- protection of the CGS from destruction in the event of an increase in internal overpressure in the HE over the design limit - 4.0 kgf / cm<sup>2</sup> (g) (in case of beyond design basis and "severe" accidents) by implementing an emergency filterable discharge of CGS from the HE through the APSD into the environment;

- minimization of the radiation impact on the environment and population in the event of an emergency discharge of ASG from the HE through the SPDS into the environment.

In addition, forced pressure also provides an additional function - heat removal from the localization zone to the environment.

#### Аннотація:

Однією з основних цілей впровадження даної модифікація (впровадження системи примусового скидання тиску з СГО) є доповнення комплексу систем, що виконують функціональні завдання локалізуючих систем безпеки (ОСБ) із запобігання руйнуванню контейнменту під час важкої аварії системою, робота якої заснована на інших фізичних принципах і для функціонування якої не потрібні джерела енергії, а також робота інших забезпечуючих систем.

Впровадження СПСД, в складі якої є фільтри парогазового середовища, дозволяє в умовах важких аварій підвищити надійність виконання функцій безпеки СГО в повній відповідності з вимогами загальних положень щодо безпеки для українських АЕС в частині вимог щодо реалізації стратегії глибоко ешелонованої захисту для енергоблоків АЕС.

#### Мета:

Таким чином, метою СПСД є:

- захист СГО від руйнування в разі збільшення внутрішнього надлишкового тиску в ГО понад проектного межі - 4,0 кгс / см<sup>2</sup> (хат.) (При запроектних і «важких» аваріях) шляхом реалізації аварійного фільтруемого скидання ПГС з ГО через СПСД в навколишнє середовище;

- мінімізація радіаційного впливу на навколишнє середовище і населення в разі реалізації аварійного скидання ПГС з ГО через СПСД в навколишнє середовище.

Крім того, СПСД також забезпечує виконання додаткової функції - відведення тепла із зони локалізації в навколишнє середовище.

В проекте энергоблока №2 ХАЭС предусмотрен комплекс систем, выполняющих функциональные задачи ЛСБ:

- СГО - система герметичного ограждения (контейнмент, гермопроходки, локализующі клапана на трубопроводах, выходящих из контейнмента);
- спринклерная система;
- система контроля концентрации водорода в зоне локализации аварии.
- система аварийного удаления водорода (пассивные автокаталитические рекомбинаторы водорода);

Комплекс ЛСБ в условиях проектных и запроектных аварий предназначены для выполнения следующих функций:

- удерживать в пределах зоны локализации аварий выделяющиеся радиоактивные вещества;
- изолировать от окружающей среды те системы и/или элементы, отказ которых может привести к выбросу радиоактивных веществ;
- защищать персонал и население от ионизирующих излучений;
- снижать давление среды внутри зоны локализации аварий;

- отводит тепло из зоны локализации аварий;
- контролировать и снижать содержание водорода в зоне локализации аварии;
- снижать концентрацию радиоактивных веществ в зоне локализации аварии (контейнменте).

Как показали результаты расчётного моделирования тяжёлых аварий с длительным обесточением энергоблоков, а также изучение развития и последствий тяжелой аварии 11 марта 2011г. в Японии на АЭС «Фукусима», во время тяжёлых аварий с полным обесточением энергоблока происходит разрушение реактора, генерация большого количества водяного пара и водорода, рост температуры и давления в контейнменте, причём давление может повышаться выше проектного предела для контейнмента. В результате, возможно разрушение контейнмента. После тяжелой аварии 11 марта 2011г. в Японии на АЭС «Фукусима» в атомной промышленности всех стран вырос интерес к системам принудительного фильтруемого сброса ПГС из контейнмента.

Одной из основных целей внедрения данной модификация (внедрение системы принудительного сброса давления из контейнмента) является дополнение комплекса систем, выполняющих функциональные задачи ЛСБ по предотвращению разрушения контейнмента во время тяжелой аварии системой, работа которой

основана на других физических принципах и для функционирования которой не требуются источники энергии, а также работа других обеспечивающих систем. Первое включение СПСД осуществляется пассивно. В Европе для систем аварийного фильтруемого сброса среды из контейнмента в составе которой имеется скруббер Вентури используют аббревиатуру FCVS (Filtered Containment Venting System).

Внедрение СПСД, в составе которой имеются фильтры парогазовой среды, позволяет в условиях тяжёлых аварий повысить надёжность выполнения функций безопасности СГО в полном соответствии с требованиями общих положений по безопасности для Украинских АЭС [8] в части требований по реализации стратегии глубоко эшелонированной защиты для энергоблоков АЭС.

Таким образом, целью СПСД является:

- защита СГО от разрушения в случае увеличения внутреннего избыточного давления в ГО свыше проектного предела - 4,0 кгс/см<sup>2</sup> (изб.) (при запроектных и «тяжелых» авариях) путём реализации аварийного фильтруемого сброса ПГС из ГО через СПСД в окружающую среду;
- минимизация радиационного воздействия на окружающую среду и население в случае реализации аварийного сброса ПГС из ГО через СПСД в окружающую среду.

Кроме того, СПСД также обеспечивает выполнение дополнительной функции - отвод тепла из зоны локализации в окружающую среду.

В настоящее время, системы фильтрации на основе скруббера Вентури установлены более чем на 40 энергоблоках АЭС.

The design of the KhNPP power unit No. 2 provides for a complex of systems that perform the functional tasks of the LSS:

- 1 SGO - a hermetic enclosure system (containment, pressurized bridges, localizing valves on pipelines leaving the containment);
- 2 sprinkler system;
- 3 control system for hydrogen concentration in the accident localization zone.
- 4 emergency hydrogen removal system (passive autocatalytic hydrogen recombiners);

The LSS complex under design basis and beyond design basis accidents is designed to perform the following functions:

- 5 keep the released radioactive substances within the limits of the accident localization zone;
- 6 isolate from the environment those systems and / or elements, the failure of which may lead to the release of radioactive substances;
- 7 protect personnel and population from ionizing radiation;
- 8 reduce the pressure of the environment inside the accident localization zone;
- 9 remove heat from the accident localization zone;
- 10 control and reduce the hydrogen content in the accident localization zone;
- 11 to reduce the concentration of radioactive substances in the accident localization zone (containment).

As shown by the results of computational modeling of severe accidents with prolonged blackout of power units, as well as the study of the development and consequences of a severe accident on March 11, 2011. in Japan at the Fukushima NPP, during severe accidents with a complete blackout of the power unit, the reactor is destroyed, a large amount of water vapor and hydrogen is generated, the temperature and pressure in the containment increase, and the pressure can rise above the design limit for the containment. As a result, containment destruction is possible. After a severe accident on March 11, 2011r. In Japan, at the Fukushima NPP in the nuclear industry of all countries, there has been a growing interest in systems for forced filtered discharge of ASGs from the containment.

One of the main goals of the implementation of this modification (the introduction of a forced pressure relief system from the containment) is to supplement the complex of systems that perform the functional tasks of the LSS to prevent the destruction of the containment during a severe accident with a system whose operation based on other physical principles and for the functioning of which does not require energy sources, as well as the work of other supporting systems. The first activation of the SPDS is carried out passively. In Europe, the abbreviation FCVS (Filtered Containment Venting System) is used for systems of emergency filtered discharge of medium from the containment, which includes a Venturi scrubber.

The introduction of a SPDS, which includes filters for a vapor-gas environment, allows, in severe accidents, to increase the reliability of the safety functions of the SSS in full compliance with the requirements of the general safety regulations for Ukrainian NPPs in terms of requirements for the implementation of the defense in depth strategy for NPP power units.

Thus, the purpose of the PCAA is:

- protection of the CGS from destruction in the event of an increase in the internal overpressure in the HE over the design limit - 4.0 kgf / cm<sup>2</sup> (g) (in case of beyond design basis and "severe" accidents) by implementing an emergency filterable discharge of CGS from the HE through the APSD into the environment ;
- minimization of the radiation impact on the environment and population in the event of an emergency discharge of ASG from the HE through the SPDS into the environment.

In addition, SPDS also provides an additional function - heat removal from the localization zone to the environment.

At present, filtration systems based on the Venturi scrubber have been installed in more than 40 nuclear power plants.

У проєкті енергоблоку №2 ХАЕС передбачено комплекс систем, що виконують функціональні завдання ОСБ:

- 1 СГО - система герметичного огороження (контайнмент, гермопроходкі, локалізуючі клапана на трубопроводах, що виходять з контайнменту);
- 2 спринклерна система;

3 система контролю концентрації водню в зоні локалізації аварії;

4 система аварійного видалення водню (пасивні автокаталитические рекомбінатори водню);

Комплекс ОСБ в умовах проектних і запроектних аварій призначені для виконання наступних функцій:

5 утримувати в межах зони локалізації аварій виділяються радіоактивні речовини;

6 ізолювати від навколишнього середовища ті системи і / або елементи, відмова яких може призвести до викиду радіоактивних речовин;

7 захищати персонал і населення від іонізуючих випромінювань;

8 знижувати тиск середовища всередині зони локалізації аварій;

9 відводити тепло із зони локалізації аварій;

10 контролювати і знижувати вміст водню в зоні локалізації аварії;

11 знижувати концентрацію радіоактивних речовин в зоні локалізації аварії (контайнмент).

Як показали результати розрахункового моделювання важких аварій з тривалим знеструмленими енергоблоків, а також вивчення розвитку і наслідків важкої аварії 11 березня 2011г. в Японії на АЕС «Фукусіма», під час важких аварій з повним знеструмленими енергоблоку відбувається руйнування реактора, генерація великої кількості водяної пари і водню, зростання температури і тиску в контайнмент, причому тиск може підвищуватися вище проектного межі для контайнменту. В результаті, можливе руйнування контайнменту. Після важкої аварії 11 березня 2011г. в Японії на АЕС «Фукусіма» в атомній промисловості всіх країн зріс інтерес до систем примусового фільтруемого скидання ПГС з контайнменту.

Однією з основних цілей впровадження даної модифікація (впровадження системи примусового скидання тиску з контайнменту) є доповнення комплексу систем, що виконують функціональні завдання ОСБ із запобігання руйнуванню контайнменту під час важкої аварії системою, робота якої заснована на інших фізичних принципах і для функціонування якої не потрібні джерела енергії, а також робота інших забезпечуючих систем. Перше включення СПСД здійснюється пасивно. В Європі для систем аварійного фільтруемого скидання середовища з контайнменту в складі якої є скруббер Вентурі використовують аббревіатуру FCVS (Filtered Containment Venting System).

Впровадження СПСД, в складі якої є фільтри парогазового середовища, дозволяє в умовах важких аварій підвищити надійність виконання функцій безпеки СГО в повній відповідності з вимогами загальних положень щодо безпеки для українських АЕС в частині вимог щодо реалізації стратегії глибоко ешелонованої захисту для енергоблоків АЕС.

Таким чином, метою СПСД є:

- захист СГО від руйнування в разі збільшення внутрішнього надлишкового тиску в ГО понад проектного межі - 4,0 кгс / см<sup>2</sup> (хат.) (При запроектних і «важких» аваріях) шляхом реалізації аварійного фільтруемого скидання ПГС з ГО через СПСД в навколишнє середовище ;

- мінімізація радіаційного впливу на навколишнє середовище і населення в разі реалізації аварійного скидання ПГС з ГО через СПСД в навколишнє середовище.

Крім того, СПСД також забезпечує виконання додаткової функції - відведення тепла із зони локалізації в навколишнє середовище.

В даний час, системи фільтрації на основі скрубера Вентурі встановлені більш ніж на 40 енергоблоках АЕС.

Вывод:

Проект СПСД полностью соответствует техническим требованиям заказчика. Внедрение СПСД в составе которой имеется скруббер Вентури, позволяет в условиях тяжёлых аварий повысить надёжность выполнения функций безопасности комплекса ЛСБ и СГО в полном соответствии с требованиями общих положений по безопасности для АЭС в части требований по реализации стратегии глубоко эшелонированной защиты для энергоблоков АЭС.

Список литературы:

1 Расчётно-аналитическое обоснование количества и мест установки автокаталитических рекомбинаторов водорода (NIS PAR) на энергоблоках №1,2 Запорожской АЭС. Отчет. WEG-PEA-15-0008.MC. WESTINGHOUSE ELECTRIC GERMANY GMBH. 2015г.

2 НП 306.2.141-2008. Общие положения безопасности атомных станций.

Колыханов Виктор Николаевич,  
Колиханов Віктор Миколайович,  
Kolykhanos Victor,  
Синюта Артем Алексеевич,  
Синюта Артем Олексійович,  
Syniuta Artem.