

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING
COMMISSIONING OF EQUIPMENT
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 621.22
doi: 10.26583/gns-2022-02-04

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ АЭС

© 2022 Разуваев Александр Валентинович

*Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ, Балаково, Россия
vipdomik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4593-0653>*

Аннотация. В статье рассматривается актуальность решения вопросов по повышению энергоэффективности использования добываемого углеводородного топлива, а также целесообразность разработки и применению этих мероприятий в экономиках индустриально развитых стран. Обосновывается необходимость иметь постоянно действующий надежный источник электроэнергии при использовании возобновляемых и альтернативных источниках электроэнергии. В качестве постоянно действующего и надежного источника электроэнергии предлагается применять эксплуатирующиеся и разрабатываемые атомные энергетические установки. Применение этих энергоустановок требует и совершенствование в них различных систем различного назначения. Для этого в работе представлен анализ параметров паровой и газовой систем компенсаторов давления для обеспечения необходимого давления теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установки. Анализ параметров работы этих систем представлены в табличной удобочитаемой форме. На основании проведенного анализа предложена к детальному рассмотрению «гибридная» система компенсатора давления, включающая положительные свойства рассматриваемых – паровой и газовой систем компенсатора давления. Представлен оценочный расчет возможного использования воздуха (или газа) в свободном объеме компенсатора давления с обеспечением предварительного давления, с последующим доведением величины этого давления до требуемого значения при эксплуатации. Отмечены достоинства и недостатки рассматриваемых систем и некоторые вопросы, требующие детальной проработки.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, система компенсации давления (объема), паровая система компенсатора давления, газовая система компенсатора давления, расчет первоначального давления, «гибридная» система компенсатора давления.

Для цитирования: Разуваев А.В. Анализ работы систем компенсации давления АЭС // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 2(43). – С. 34-41. – <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-04>

Поступила в редакцию 07.04.2022
После доработки 11.05.2022
Принята к печати 23.05.2022

В настоящее время известно, что применяемое достаточно широко углеводородное топливо является ограниченным продуктом на земле. В связи с этим индустриально развитые государства разрабатывают и внедряют различные мероприятия по повышению эффективности использования добываемого в земле топлива. Так в энергетической стратегии России [1] сказано, что «целью развития энергетики Российской Федерации является, с одной стороны, максимальное содействие социально – экономическому развитию страны, а с другой стороны, –

укрепление и сохранение позиций Российской Федерации в мировой энергетике, как минимум, на период до 2035 года», при этом отмечается, что одной из задач атомной энергетики является: «повышение эффективности атомной энергетики, включая обеспечение экономической конкурентоспособности новых атомных электростанций с учетом их полного жизненного цикла».

Директива ЕС по энергетической эффективности (Energy Efficiency Directive, EED) «имеет более общий характер, но вводит несколько административных процедур, влияющих на энергопотребление зданий для стран – членов ЕС. Документ предписывает проведение аудита энергопотребления и реконструкцию существующих зданий. Отдельно рассматривается вопрос, касающийся увеличения эффективности систем комбинированного производства электрической и тепловой энергии.

Энергетическая политика ЕС включает в себя еще несколько инструментов: Программу энергетически разумной Европы (Intelligent Energy Europe) по обучению энергосбережению и распространению знаний об энергетике» [2] и ряд других.

Так экономия не возобновляемых источников энергии способствует разработки и развитию различных мероприятий в области энергетики. Так, в частности, развивается ветряная энергетика, которая, конечно же, является достаточно эффективным способом снижению стоимости электроэнергии и повышение ее выработки на рынки энергоресурсов. Достоинства применения ветроэнергетики более подробно представлены в работе [3].

Но прошедшая зима в 20-21 гг. показала, что применение этих технологий хотя и имеет ряд положительных моментов, но без постоянно и стабильно работающих генерирующих предприятий не обойтись. Недостатки таких технологий анализируются и детализируются.

На сегодняшний день наиболее стабильным источником электроэнергии являются атомные электрические станции. Основной задачей разработки, строительства и эксплуатации АЭС является обеспечение надежности, безопасности и эффективности этого достаточно сложного технологического объекта.

В настоящей статье представлен анализ одной из ответственных систем для нормальной эксплуатации АЭС. К ней относится система компенсации давления. Ее задача – обеспечивать и поддерживать необходимое давление теплоносителя (воды) в первом контуре атомной энергетической установки.

Параметры газовой и паровой систем компенсатора давления (объема) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры газовой и паровой систем компенсатора давления (объема) [Parameters of the pressure (volume) compensator gas and steam system]

Некоторые параметры систем	
Паровая (ВВЭР–1000)	Газовая (КЛТ–40)
Тепловая мощность, МВт	
3 120	150
Электрическая мощность, МВт	
1 000	36
Давление теплоносителя 1 контура, МПа (атм)	
15,9 (160)	12,7 (130)
Температура воды 1 контура выход/вход в реактор, °С	
320 / 290	316 / 278
Точность поддержания величины давления, МПа	
0,5	при поддержании $T_{ср} \pm 7^\circ\text{C}$
Эксплуатационный предел изменения мощности реактора (% $N_{ном}$)	
0–100	10–100
Расход теплоносителя, т /ч	
84900 ⁺²⁷⁵⁰ _{–3450}	2 600

Продолжение таблицы 1

Объем теплоносителя 1 контура, м ³	
370	26,45
вспомогательное оборудование для работы системы КО:	
ТЭН* суммарной мощностью 2520 кВт (каждый 90 кВт) Бак – барботер с трубопроводами и арматурой	баллоны высокого давления (газовые) с трубопроводами и арматурой и 1 комплект резервный Объем 1 баллона – 0,5 м ³ (500 л), рабочее давление газа – 20 МПа (200 кгс/см ²), количество баллонов – 18 шт.

*ТЭН – теплоэлектронагревающие элементы.

Сама система компенсации давления (КД) имеет два разных подхода к выполнению своей задачи – поддержание необходимого давления в ядерных реакторах с водяным теплоносителем. Это система паровой компенсации давления (ПКД) и система газовой компенсации давления (ГКД).

Далее проведем анализ работы этих систем. Для этого проанализируем информацию по работам [4-7 и др.], а результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Перечень достоинств систем компенсатора давления (объема) [List of advantages of pressure (volume) compensator systems]

Достоинства систем	
Паровая	Газовая
компактность системы компенсатора	постоянная готовность к действию
газ для регулировки и поддержания необходимого давления в первом контуре – пар от специальной паровой подушки	отсутствие необходимости в обслуживании в процессе работы ППУ
точность поддержания давления в контуре пределах 5 % от номинального.	отсутствие необходимости в какой-либо энергии в процессе работы ППУ.
надежность работы системы	отсутствие дополнительной энергии на испарение жидкости.
—	просты в эксплуатации
—	не требуют специальной системы регулирования
—	не требуют системы разогрева
—	создают и поддерживают давление в контуре в стояночном режиме
—	обеспечивают готовность установки в любой момент к выходу на мощность
—	совместимы с самоподдерживающимся аммиачным водно-химическим режимом
—	компенсаторы с газовой подушкой могут быть сравнительно легко приспособлены к пожаротушению в отсеке
—	при одинаковых объемах сосудов компенсаторы с газовой подушкой более жестки по сравнению с паровыми, колебания давления в первом контуре в переходных режимах – при маневрировании, подключении и отключении оборудования – в случае использования газовых компенсаторов выше, чем у паровых.
—	газ для регулировки и поддержания необходимого давления в первом контуре – азот, гелий (в газовых баллонах)
—	более целесообразно применение парогазовой компенсации давления не только с точки зрения стояночных режимов, но и снижения термоциклических напряжений

Если коротко, то газовая система и проста, и надежна и не требует затрат электроэнергии на создание паровой подушки. Но необходимо отметить и недостатки этих систем, которые сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Перечень недостатков систем компенсатора давления (объема) [List of disadvantages of pressure (volume) compensator systems]

Недостатки систем	
Паровая	Газовая
необходимо производить постоянную сдвигку парогазовой смеси из верхней части парового объема компенсатора давления	точность поддержания давления в контуре 5 МПа.
необходимость затрачивать дополнительную энергию на испарение жидкости.	достаточно большие объемы газовых баллонов
паровая система компенсация давления значительно сложнее газовой, она требует надежных электронагревателей со своей системой регулирования их мощности.	растворимость газов в жидкостях, увеличивающаяся с ростом температуры.
во время подготовки установки по вводу в действие подъем давления в первом контуре при паровой компенсации происходит довольно медленно, что увеличивает время выхода на мощность на 0,5 – 1 ч.	объем газовых баллонов, необходимый для компенсации изменения объема теплоносителя при разогреве, расхолаживании установки, не прибегая к сбросу теплоносителя при разогреве или подпитке при расхолаживании, довольно велик, что требует увеличения размера герметичной выгородки
при выключенном реакторе во время стоянки требуется практически непрерывная работа электронагревателей для поддержания минимального давления в первом контуре, позволяющая обеспечить сохранение работоспособности герметизирующих рубашек статоров электродвигателей ЦНПК	требуются особые меры для поддержания работоспособности и ресурса соединяющих компенсатор давления с реактором трубопроводов ввиду знакопеременных нагрузок, возникающих при переменном направлении движения теплоносителя, имеющего разные температуры внутри реактора и в баллонах компенсатора давления
довольно большие изменения температуры воды на выходе из АЗ существенно изменяют давление пара и, как следствие, температуру верхней части корпуса и крышки, а также и давление внутри корпуса реактора. Возникают термоциклические напряжения корпуса и крышки реактора.	для уменьшения газонасыщения первого контура температура воды в вынесенных баллонах поддерживается обычно в диапазоне 80 – 120 °С

Коротко о недостатках сравниваемых систем КД. Отмечается основным недостатком газовой системы компенсации давления – это загазованность теплоносителя первого контура энергоустановки и возникновение термических напряжений в трубопроводах, которые требуют особых мер для поддержания их работоспособности. Кроме того, в работе [4] отмечено, что «колебания температуры в трубопроводах еще больше снижаются, если через компенсаторы давления организовать постоянный проток теплоносителя, соединив разбрызгиватель с напором центробежного насоса первого контура (ЦНПК)». По этому вопросу есть техническое решение, описанное в работе [8]. В ней компенсатор давления подключен параллельно реактору, что и способствует циркуляции теплоносителя через корпус КД.

Кроме этого, для детального анализа данных по газовой системе КД рассмотрены параметры работы этой системы, согласно источнику [4], и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры работы газовой системы КД [Operating parameters of the gas pressure compensation system]

№	Параметр, характеристика	Значение
Исходное состояние при температуре в первом контуре 20 °С		
1	Исходное давление, МПа	6,96
2	Объём первоначальной заливки в КД, м ³ (%)	0,832 (10)
3	Масса первоначальной заливки в КД, кг	834,5
4	Объём газа в системе, м ³	13,3
Работа на номинальной мощности		
1	Давление рабочее, МПа	12,7
2	Объём теплоносителя в КД, м ³ (%)	6,03 (74)
3	Объём газовой подушки в КД, м ³	2,13
Максимальная величина выбега давления, МПа		
1	При изменении мощности в диапазоне (10 -100)% Nном со скоростью 0,1 % Nном/с	0,5
2	При поддержании T _{ср} ±7 °С	± 0,12
3	В проектных аварийных режимах	1,46
Гидроиспытания		
1	Давление при гидроиспытаниях, МПа	24,5± 0,4
2	Температура при гидроиспытаниях, °С	от 24 до 82

На основании вышеизложенного, и представленных в этой статье данных можно составить алгоритм работы «гибридной» системы со своими достоинствами от паровой и газовой систем компенсации давления (объема).

Рассматривается возможность использования первоначального давления газа в свободном объеме КД с учетом необходимого его повышения и поддержания при необходимой его величине в первом контуре.

После анализа систем КД, проведем предварительный анализ работы новой – «гибридной» системы КД с учетом положительных свойств газовой и паровой системах и с использованием данных из таблиц 1 и 4. Так же примем во внимание экспериментальные материалы по работе системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, представленные в работе [9] и с учетом материалов, представленных в работе [10].

Для этого проведем оценочный расчет повышения величины давления воздуха (газа) в свободном объеме КД, при его герметизации после заправки водой по нижнему уровню (уровень нижней сливной трубы из свободного объема КД).

При исходных начальных параметрах воздуха (газа): давление $P_1 = 1$ ата, объем (пустой объем корпуса КД) $V_1 = 79$ м³, температура воздуха при заправки КД водой $T_1 = 303$ К (30 °С) и его конечных параметрах, объем после заполнения КД теплоносителем до оптимального уровня $V_2 = 24$ м³, температура номинальная рабочая в первом контуре $T_2 = 593$ К (320 °С). После нагрева воздуха (газа) в свободном объеме КД от теплоносителя и уменьшения его объема при тепловом расширения теплоносителя до номинальной величины в свободном корпусе КД определим P_2 – конечное давление воздуха (газа) в КД. При этом воспользуемся уравнением (1):

$$(P_1 \times V_1)/T_1 = (P_2 \times V_2)/T_2, \quad (1)$$

откуда найдем (2):

$$P_2 = (P_1 \times V_1 \times T_2) / (T_1 \times V_2) = 0,644 \text{ МПа } (\sim 6,44 \text{ ата}). \quad (2)$$

Эту величину давления воздуха (газа) в свободном объеме КД, хотя она не отвечает необходимым значениям.

По табличным данным величина давления насыщения при $T_2 = 593 \text{ K}$ ($320 \text{ }^\circ\text{C}$) составляет $P_2 = 112,9 \text{ ата}$ и прибавив к ней давление $0,644 \text{ МПа}$ ($\sim 6,44 \text{ ата}$), будем иметь $P_2 = 119,34 \text{ МПа}$ ($119,34 \text{ ата}$), а температура насыщения при этом составит $T_2 = 611 \text{ K}$ ($\sim 338 \text{ }^\circ\text{C}$). Данная величина температуры T_2 хоть и больше, чем требуется для работы в первом контуре, но не обеспечивает необходимый запас по температуре в нем, который должен составлять как минимум $25 \text{ }^\circ\text{C}$ с обеспечением необходимого давления 16 МПа (160 ата).

Таким образом необходимо повысить P_1 – начальное давление воздуха (газа) в свободном объеме КД после герметизации его корпуса до $\sim 0,86 \text{ МПа}$ ($8,6 \text{ ата}$).

Это позволит поднять давление теплоносителя в первом контуре до необходимой величины. Здесь следует проанализировать вопрос о работоспособности главного центробежного насоса (ГЦН) на первоначальном этапе пуска атомной энергоустановки. При этом необходимо уделить особое внимание величине давления теплоносителя на всасывании ГЦН, при котором обеспечивается надежная его работа. В данном случае это требует дополнительных расчетных исследований, так как его расход достаточно высокий (см. табл. 1). После этого анализа при необходимости обеспечения кавитационного запаса на всасывании ГЦН возможно потребуются увеличить величину P_1 – начального давления воздуха (газа) в свободном объеме КД после герметизации. Далее при достижении номинальных параметров работы первого контура и при наличии повышенного конечного и необходимого давления в 16 МПа (160 ата) его можно сбросить в бак – барботер.

На этапе пуска атомной энергоустановки, учитывая ограниченную скорость нагрева теплоносителя первого контура в $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$ есть основания считать, что скорость роста давления обеспечит температурный запас до вскипания жидкости. Этот процесс связан с предыдущим разделом статьи по описанию обеспечения кавитационного запаса ГЦН.

Так же необходимо отметить еще и отрицательный момент. Он заключается в возможно повышенной степени загазованности теплоносителя (воды) при этих условий эксплуатации. Поэтому этот вопрос так же подлежит детальному анализу и исследованию уровня возможного повышения загазованности теплоносителя (воды) и насколько усложнит или затронет работу других систем обеспечения надежности работы атомной энергоустановки [11].

Проведение обоснования и выбора той или иной системы КД предполагается на основе типа и устройства энергоустановки и с учетом условий ее эксплуатации.

Так же необходима разработка алгоритма работы «гибридной» системы КД и проведения расчетных исследований для поддержания необходимого и заданного значения давления теплоносителя в первом контуре энергоустановки, в том числе и с комбинированными водородными циклами АЭС [12].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. No 1523-п). – URL : <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>.
2. Олли Сеппанен Sustainable building technologies (пер. с англ. и техническое редактирование Владимира Устинова). – URL : <http://portal-energo.ru/articles/details/id/827>.
3. Кужелева, К.С. Энергетическая политика ЕС в области ВИЭ, энергоэффективности и внедрения новых ресурсосберегающих технологий / К.С. Кужелева, Б.А. Грачев // Региональная энергетика: безопасность и эффективность. – 2018. – № 1. – С. 8-14.
4. Хлопкин, Н.С. Морская атомная энергетика / Н.С. Хлопкин. – Москва : МИФИ, 2007. – 244 с.
5. Горбатов, С.А. Анализ систем компенсации давления в реакторной установке с водородным энергетическим реактором (ВВЭР) / С.А. Горбатов // Молодой ученый. – 2018. – № 50(236). – С. 45-46.

6. Маргулова, Т.Х. Атомные электрические станции / Т.Х. Маргулова. – Москва : Издательство по атомной технике (ИздАТ), 1994. – 269 с.
7. Разуваев, А.В. Анализ работы паровой системы создания и поддержания повышенного давления теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установки / А.В. Разуваев, В.А. Разуваев // Вестник КРСУ. – 2021. – Том 21, № 12. – С. 80-86.
8. Патент на изобретение № 2685220 Российской Федерации, МПК G21C 15/00 (2006/01). Устройство первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки: опубл. 17.04.2019 Бюл. № 11, Разуваев А.В. – 6 с.
9. Разуваев, А.В. Анализ гидравлической схемы энергоустановок с двигателями внутреннего сгорания / А.В. Разуваев // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 3(36). – С. 73-77.
10. Проскуряков, К.Н. Влияние компенсатора давления на логарифмический декремент затухания колебания давления в первом контуре АЭС с ВВЭР-1000 / К.Н. Проскуряков, П.А. Романов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 1(6). – С. 43-53.
11. Бердышев, В.Ф. Основы автоматизации технологических процессов очистки газов и воды / В.Ф. Бердышев, К.С. Шатохин. – Москва : МИСиС, 2013. – 136 с.
12. Аминов, Р.З. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями / Р.З. Аминов. – Москва : Наука, 2016. – 949 с.

REFERENCES

- [1] Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 goda (utverzhdена rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 iyunya 2020 g. No 1523-r) [Energy strategy of Russia for the period up to 2035 (main provisions of the edition of 07.02.2014)]. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRB7wx.pdf> (in Russian).
- [2] Sustainable Building Technologies, Olli Seppanen, (Translated from English and edited by Vladimir Ustinov). URL : <http://portal-energo.ru/articles/details/id/827> (in Russian).
- [3] Kuzheleva K.S., Grachev B.A. Energeticheskaya politika ES v oblasti VIE, energoeffektivnosti i vnedreniya novyh resursosberegayushchih tekhnologij [Energy policy in the Field of Renewable energy, energy efficiency and introduction of new resource-saving Technologies]. Regional'naya energetika: bezopasnost' i effektivnost' [Regional Energy: Safety and Efficiency]. 2018. № 1. P. 8-14 (in Russian).
- [4] Khlopkin N.S. Morskaya atomnaya energetika [Marine nuclear power]. Moscow: MEPhi, 2007. 244 p. (in Russian).
- [5] Gorbатов S.A. Analiz sistem kompensacii davleniya v reaktornoj ustanovke s vodo-vodyanym energeticheskim reaktorom (VVER) [Analysis of pressure compensation systems in a reactor installation with a pressurized power reactor (WWER)]. Molodoj uchenyj [A young scientist]. 2018. № 50(236). P. 45-46 (in Russian).
- [6] Margulova T.X. Atomnye elektricheskie stancii [Nuclear power plants]. Publishing on Atomic Engineering (IzdAT), 1994. 269 p. (in Russian).
- [7] Razuvaev A.V., Razuvaev V.A. Analiz raboty parovoj sistemy sozdaniya i podderzhaniya povyshennogo davleniya teponositelya v pervom konture yadernoj energeticheskoy ustanovki [Analysis of steam system for creating and maintaining increased coolant pressure in the first circuit of a nuclear power plant]. Vestnik KRSU [KRSU Bulletin]. 2021. Vol. 21. No 12. P. 80-86 (in Russian).
- [8] Patent na izobretenie № 2685220 Rossijskoj Federacii, MPK G21C 15/00 (2006/01). Ustrojstvo pervogo kontura dvuhkonturnoj yadernoj energeticheskoy ustanovki: opubl. 17.04.2019 Byul. № 11, Razuvaev A.V [Patent for Invention No. 2685220 of the Russian Federation, IPC G21C 15/00 (2006/01). The Device of the first circuit of a double-circuit nuclear power plant: publ. 17.04.2019. Bul. No 11, Razuvaev A.V.]. 6 p. (in Russian).
- [9] Razuvaev A.V. Analiz gidravlicheskoj skhemy energoustanovok s dvigatelyami vnutrennego sgoraniya [Analysis of the hydraulic scheme of power plants with internal combustion engines]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2020. № 3(36). P. 73-77 (in Russian).
- [10] Proskuryakov K.N., Romanov P.A. Vliyanie kompensatora davleniya na logarifmicheskij dekrement zatuhaniya kolebaniya davleniya v pervom konture AES s VVER-1000 [Influence of pressure compensator on logarithmic decrement of attenuation of pressure fluctuations in the first circuit of nuclear power plants with WWER-1000]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2013. № 1(6). P. 43-53 (in Russian).
- [11] Berdyshev V.F. Osnovy avtomatizatsiya tekhnologicheskikh proizvodstva filosofii rosov i vody [Fundamentals of gas and water treatment process automation]. Moscow: MISIS, 2013. 136 p. (in Russian).

- [12] Aminov R.Z. Kombinatsiya hydrogen energicheskikh energokrov s somnykh ekateroki [Combining hydrogen energy cycles with nuclear power plants]. Moskva: Nauka [Moscow: Science]. 2016. 949 p. (in Russian).

Analysis of NPP Pressure Compensation Systems Operation

Alexander V. Razuvaev

*Balakovo Institute of Technology, NRNU MEPhI, 140 Chapaeva Str., Balakovo, Saratov region, Russia 413800
vipdomik@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4593-0653*

Received by the editorial office 07/04/2022

After completion on 11/05/2022

Accepted for publication on 23/05/2022

Abstract. The article deals with the relevance of solving issues to improve the energy efficiency of the use of extracted hydrocarbon fuel, as well as the feasibility of developing and applying these measures in the economies of industrially developed countries. The necessity of having a permanent reliable source of electricity when using renewable and alternative sources of electricity is substantiated. As a permanent and reliable source of electricity, it is proposed to use operating and developing nuclear power plants. The use of these power plants requires the improvement of various systems for various purposes in them. To do this, the paper presents an analysis of the parameters of the steam and gas systems of pressure compensators to ensure the necessary pressure of the coolant in the first circuit of the nuclear power plant. Analysis of the parameters of operation of these systems is presented in tabular readable form. Based on the analysis, a "hybrid" pressure compensator system is proposed for detailed consideration, which includes the positive properties of the pressure compensator systems under consideration - steam and gas. An estimated calculation of the possible use of air (or gas) in the free volume of the pressure compensator with the provision of preliminary pressure is presented, followed by bringing the value of this pressure to the required value during operation. The advantages and disadvantages of the considered systems and some issues that require detailed study are noted.

Keywords: nuclear power plant, pressure (volume) compensation system, steam pressure compensator system, gas pressure compensator system, initial pressure calculation, «hybrid» pressure compensator system.

For citation: Razuvaev A.V. Analysis of the Operation of NPP Pressure Compensation Systems // Global nuclear safety. 2022. Vol. 2(43). P. 34-41. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-02-04>