

Использование данных способов поможет накапливать остаточное энерговыделение ОТВС, что приведет к более эффективному использованию бассейна выдержки атомной электростанции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Как производится ядерное топливо // rosatom-easteurope.com: 2020. 14 мая. URL: <https://rosatom-easteurope.com/journalist/smi-about-industry/kak-proizvoditsya-yadernoe-toplivo/> (дата обращения: 31.10.2021).
2. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А. Андрущечко, А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф. Украинцев. – М.: Логос, 2010. – 171 с. – ISBN 978-5-98704-496-4.
3. Jose I. LINARES, María M. CLEDERA. Sizing of thermal energy storage devices for micro-cogeneration systems for the supply of domestic hot water // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2014. – Vol. 5. – P. 37-43. – doi: 10.1016/j.seta.2013.11.002.
4. Патент РФ № 2017126650, 26.07.2017.
5. Патент США US № 2013/0028365A1.

Научный руководитель: А.И. Минибаев, ст. преподаватель, КГЭУ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПГ АЭС С ВОДООХЛАЖДАЕМЫМИ РЕАКТОРАМИ

А.В. Борисов

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5061

В двухконтурных водоохлаждаемых реакторных установках для генерации сухого насыщенного пара используются парогенераторы. Глобально их конструктивное исполнение можно разделить на два типа: горизонтальные (применяемые на отечественных реакторных установках типа ВВЭР) и вертикальные (применяемые на зарубежных водоохлаждаемых реакторных установках).

В качестве основных достоинств ПГ вертикального типа можно отметить [1]:

- возможность выделения экономайзерного участка;
- возможность установки пароперегревателя;
- отсутствие тепловой разверки при применении труб одинаковой длины в виде радиально расположенных ширм;
- уменьшение диаметра контеймента.

Недостатки:

- усложнение системы сепарации пара из-за увеличенной нагрузки зеркала испарения, что приводит к значительному увеличению длины парогенератора;
- отсутствие опыта производства и эксплуатации [2].

Основной целью данной работы является сравнение характеристик парогенераторов вертикального типа, используя их основные достоинства, с традиционно применяемыми в отечественной атомной энергетике – горизонтальными парогенераторами. Для этого была разработана методика расчета существующего парогенератора, согласно которой расчетные значения являются достаточно точными по сравнению с паспортными характеристиками выбранного прототипа. Далее по той же методике были рассчитаны различные варианты вертикальных парогенераторов. Полученные результаты были сопоставлены с горизонтальным прототипом.

В качестве прототипа был выбран серийно выпускаемый парогенератор ПГВ-1000М для дальнейшего сравнения его с альтернативными конструкциями. Была составлена расчетная модель на параметры стационарной работы энергоблока с ВВЭР-1000 (давление теплоносителя $p_1 = 15,7$ МПа; температуры теплоносителя: $t_1^{\text{вх}} = 320$ °С, $t_1^{\text{вых}} = 289$ °С; температура генерируемого сухого насыщенного пара $t_2^{\text{вых}} = 278,5$ °С; температура питательной воды $t_{\text{пв}} = 220$ °С; паропроизводительность $D = 1470$ т/ч) [3].

В качестве теплообменных трубок приняты трубы 16x1,5 мм выполненные из стали 08X18H10T, такие же как в прототипе. При выполнении расчетов было учтено термическое сопротивление окисных пленок, которое было принято равным $1 \cdot 10^{-5} (\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт}$ [4]. Результаты теплового расчета, а также сравнение полученных значений с прототипом представлены в таблице 1, tQ-диаграмма изображена на рисунке 1.

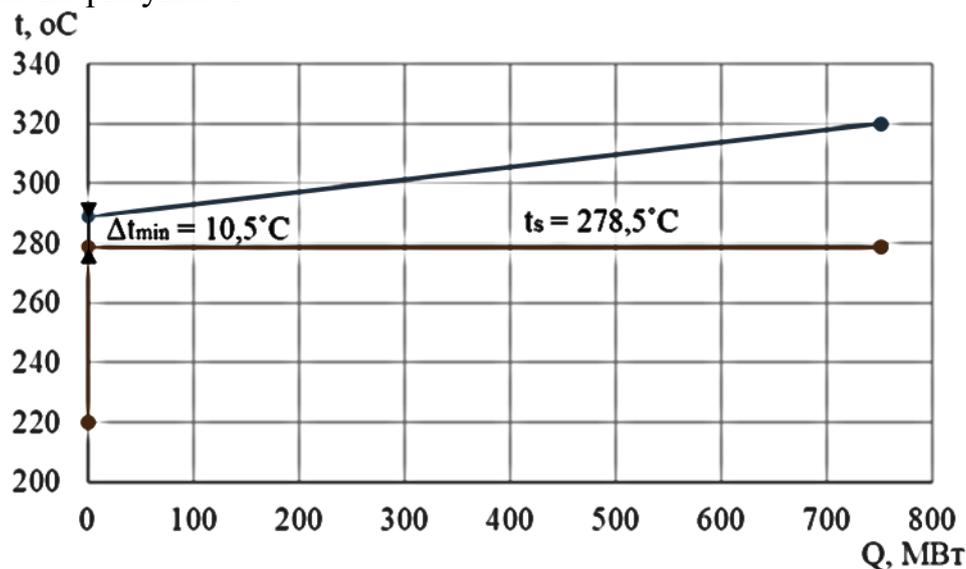


Рис. 1. tQ-диаграмма серийного ПГВ-1000М

Таблица 1. Сравнение результатов теплового расчета с прототипом

| Характеристики | Расчетное значение | По прототипу | Относительная погрешность, % |
|--------------------------------------|--------------------|--------------|------------------------------|
| Тепловая мощность 1 ПГ, МВт | 750,6 | 750 | 0,08 |
| Минимальный температурный напор, °С | 10,46 | 10,53 | 0,66 |
| Количество теплообменных трубок, шт. | 11000 | 11000 | 0,00 |
| Площадь теплообмена, м ² | 6080 | 6115 | 0,57 |
| Средняя длина трубки, м | 11,0 | 11,1 | 0,93 |

Полученные в ходе расчета значения не имеют существенного отклонения от паспортных характеристик прототипа, следовательно, разработанная методика расчета дает достаточно точные результаты и может быть применена для расчета парогенераторов альтернативных конструкций.

Далее по той же методике был осуществлен расчет вертикального парогенератора с ширмовой поверхностью теплообмена с экономайзерным участком при неизменных температурах первого и второго контуров (tQ -диаграмма приведена на рисунке 2). В результате было установлено, что необходимая площадь теплообменной поверхности уменьшилась на 9% по сравнению с горизонтальным ПГ без экономайзера (с 6080 до 5517 м²) в связи с увеличением минимального температурного напора с 10,5°С до 15,6°С.

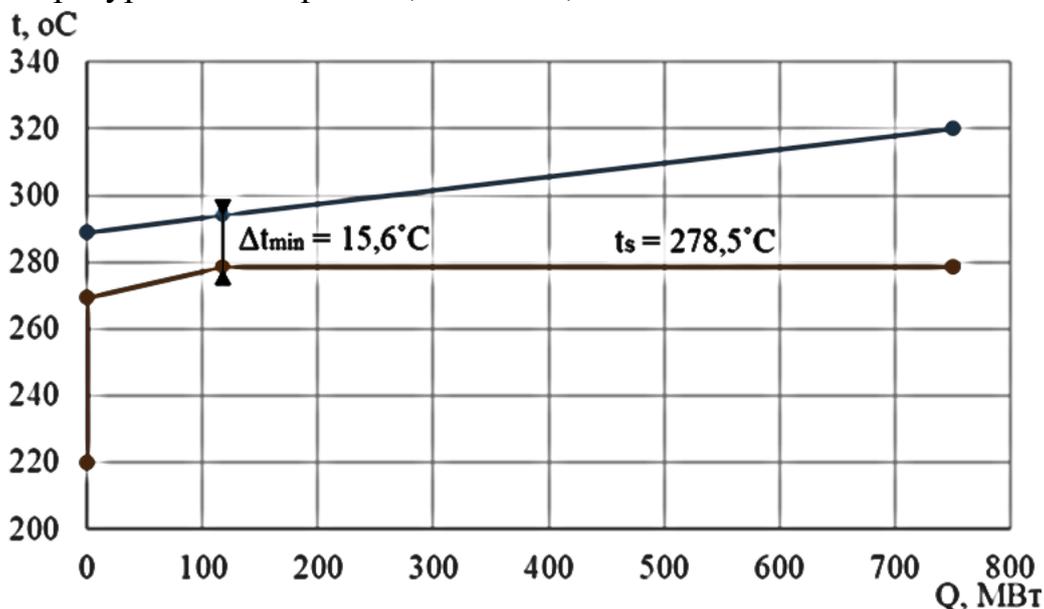


Рис. 2. tQ -диаграмма вертикального ПГ с экономайзерным участком при неизменных температурах первого и второго контуров

В другом варианте расчета вертикального парогенератора с экономайзерным участком был принят постоянным минимальный температурный напор за счет повышения давления второго контура (tQ -диаграмма представлена на рисунке 3). В этом случае возможно повышение давления острого пара на 0,55 МПа (с 6,28 до 6,83 МПа) при неизменных температурах теплоносителя первого контура. Это позволит повысить КПД турбоустановки и энергоблока в целом,

однако требуемая площадь теплообмена возрастает на 25% (до 7603 м²) в сравнении с ПГВ-1000М.

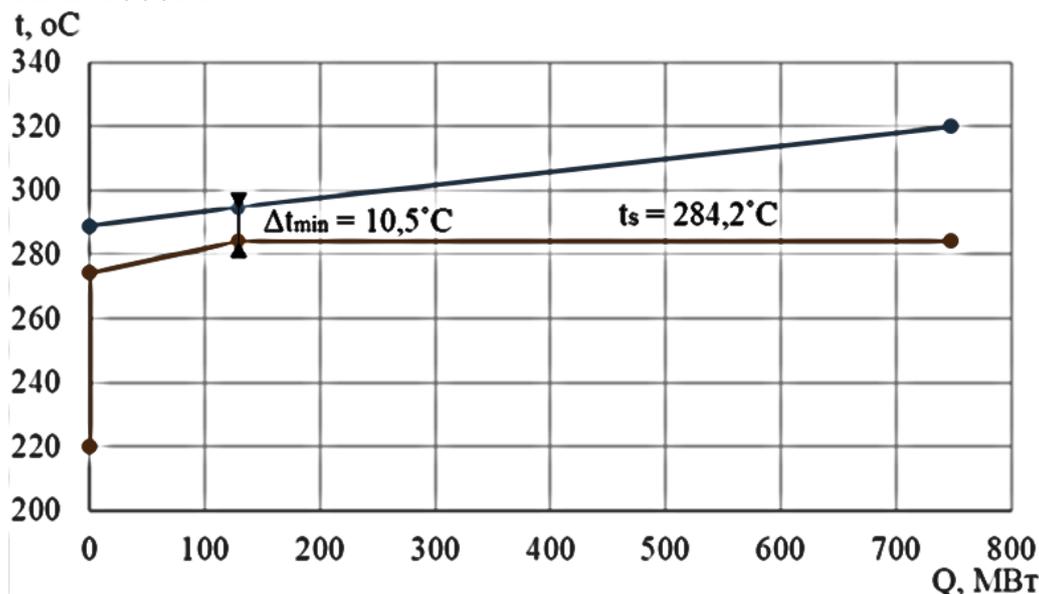


Рис. 3. tQ-диаграмма вертикального ПГ с экономайзерным участком при неизменном минимальном температурном напоре и температуре теплоносителя

Стоит отметить, что во всех проведенных расчетах были использованы теплообменные трубы 16x1,5 мм из стали 08X18H10T в количестве 11000 штук, как в прототипе [3].

Результаты расчетов основных характеристик парогенераторов сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета характеристик парогенераторов

| Характеристики | Горизонтальный ПГ | Вертикальный ПГ (1) | Вертикальный ПГ (2) |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Экономайзерный участок | - | + | + |
| Давление генерируемого пара, МПа | 6,28 | 6,28 | 6,83 |
| Тепловая мощность 1 ПГ, МВт | 750,6 | 750,6 | 747,8 |
| Минимальный температурный напор, °C | 10,46 | 15,59 | 10,46 |
| Количество теплообменных трубок, шт. | 11000 | 11000 | 11000 |
| Площадь теплообмена, м ² | 6080 | 5517 | 7603 |
| Средняя длина трубки, м | 11,0 | 9,98 | 13,75 |

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Применение вертикальных парогенераторов на АЭС с водоохлаждаемыми реакторами имеет существенные достоинства по сравнению с горизонтальными. Так, например, благодаря выделению экономайзерного участка, возможно снижение площади теплообменной поверхности или повышение давления острого пара при неизменных параметрах первого контура. Существенным преимуществом является и возможность уменьшения диаметра гермооболочки РУ. Однако, ввиду отсутствия опыта

производства и эксплуатации вертикальных парогенераторов в отечественной атомной энергетике, требуется проведение большого количества экспериментов и исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ядерные энергетические установки // Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев, Е.Б. Копосов, Л.А. Кузнецов, Н.Ф. Рекшня, С.В. Селиховкин. - М.: Атомэнергоиздат, 1990.- 629 с.
2. Трунов Н.Б., Лукасевич Б.И., Веселов Д.О., Драгунов Ю.Г. Парогенераторы – горизонтальные или вертикальные // Атомная энергия. - 2008. - Т.105, вып.3.- С. 127-135.
3. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций // Б.И. Лукасевич, Н.Б. Трунов, Ю.Г. Драгунов, С.Е. Давиденко. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.- 391 с.
4. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций. - М.: Атомэнергоиздат, 1987.- 384 с.

Научный руководитель: А.В. Воробьёв, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова, ИШЭ ТПУ.

ЛИЧНОЕ И КОЛЛЕКТИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В.П. Булгакова

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.Парахина

Аннотация. В данной статье рассматривается личное и коллективное поведение людей в области энергосбережения, выявлены мотивирующие факторы, которые в наибольшей степени оказывают влияние на поведение человека в сфере сбережения ресурсов. Выявлена роль энергосбережения в экономике страны как важных факторов экономического роста.

Ключевые слова: энергосбережение, личное поведение, коллективное поведение.

В декабре 2019 года Европейская комиссия предложила Европейскую "зеленую сделку" в рамках долгосрочной стратегии перехода к круговой экономике и, в конечном счете, достижения цели чистого нулевого выброса парниковых газов (ПГ) не позднее 2050 года. Намеченные меры по сокращению выбросов включают обезуглероживание энергетического сектора путем сосредоточения внимания на низкоуглеродистых источниках энергии и эффективном использовании энергии.

Когда речь заходит о мерах, которые отдельные домохозяйства могут применять для экономии энергии, в соответствующей литературе обычно проводится различие между сокращением и эффективностью [1]. Сокращение потребления энергии относится к действиям, которые экономят энергию за счет