

сертация кандидата технических наук / М. Д. Хизанашвили, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1973 . – 227 с.

Научный руководитель: Л.А. Беляев, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЯМОТОЧНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ**

И.С. Дергачёв, И.Г. Ткаченко  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТЭС, группа 5012

Целью данной исследовательской работе является изучение методики расчета прямоточных парогенераторов, в данном случае парогенератора БН-600.

Задачи, поставленные нами в данном исследовании:

- Изучить методику расчета прямоточных парогенераторов
- Рассмотреть особенности выбранного парогенератора, дополнить методику и показать результаты расчета.
- Произвести расчет данного парогенератора с другим теплоносителем и получить мощность и паропроизводительность равную значению из курсового проекта.
- Сравнить полученные данные, с данными уже посчитанными ранее.
- Сделать вывод по полученным данным и по методике расчета.

Методика, использованная нами в курсовом проекте, была взята из [2, стр. 363]. Эта методика рассматривает прямоточный парогенератор с натриевым теплоносителем.

В курсовом проекте задаются исходные данные. Исходя из этих данных, определяем, что нам искать в первую очередь: паропроизводительность, расход ТН, или тепловую мощность парогенератора. Для этого составляем уравнение баланса и находим неизвестную величину. Далее ищем тепловую мощность экономайзера, испарителя, перегревателя и промежуточного перегревателя. Строим T-Q диаграмму.

Дальше переходим к определению числа трубок и модулей парогенератора. Для этого необходимо знать толщину стенок трубки и физические характеристики материала трубок. Определив число модулей, находим расход ТН и паропроизводительность на один модуль.

В зависимости от модуля разбиваем его на характерные участки, и ведем расчет поверхности нагрева парогенератора и длины труб.

Для этого необходимо рассчитать коэффициенты теплопередачи. Они считаются по характерным величинам ТН и РТ на данном участке. Расчет ведется итерационно. Обычно, что бы погрешность составляла, меньше 2%, хватает трех итераций.

Рассчитав все участки, суммируем длину труб, она не должна превысить длинны труб, которые изготавливают на заводе (17м.).

Натриевый быстрый реактор обладает модульным прямоточным парогенератором. Теплоносителем является натрий, что уже оказывает влияние на методику расчета. Необходимо знать физические характеристики теплоносителя при различных температурах..

Так как в данном ПГ существует промежуточный перегрев пара, то мы рассчитываем испаритель, экономайзер и промежуточный перегреватель и делим его на несколько участков:

- участок конвективного теплообмена не кипящей жидкости (АБ);
- участок поверхностного кипения (БВ);
- участок развитого кипения (ВГ);
- участок ухудшенного теплообмена (ГД).
- участок ухудшенного теплообмена (МС).

Для расчета коэффициента теплоотдачи, необходимо было воспользоваться формулами из [1], так как полученные характеристики ТН и РТ не входят в область допустимых значений формулы из [2].

Табл. 1. результаты расчета

Величина	Обозначение	Na	Pb-Bi
Тепловая мощность, МВт	$Q_{II}^M$	360	360
Число модулей	$m'_{II}$	8	10
Расход рабочего тела через модуль, кг/с	$D_{2M}$	17,58	14,06
Расход теплоносителя, кг/с	$G_{1M}$	203,5	1450
Диаметр и толщина стенки трубы теплопередающей поверхности, мм	$d_n \cdot \delta_p$	14 × 1	22 × 1,5
Число труб в модуле	$n'_m$	547	271
Шаг между трубами, мм	$s_{II}$	21	33
Внутренний диаметр кожуха, м	$d_{вн.кожуха}$	0,567	0,627
Площадь проходного сечения трубок, м <sup>2</sup>	$f_{вн}$	0,0618	0,0768
Площадь проходного сечения межтрубного пространства, м <sup>2</sup>	$F_{МП}$	0,1799	17,96
Гидравлический диаметр, мм	$d_z$	20,75	32,61

Термическое сопротивление стенки трубки теплопередающей поверхности, °С/Вт.	$R_{cm}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$
Термическое сопротивление окислов, °С/Вт.	$2 \cdot R_{ок}$	$2 \cdot 6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 6 \cdot 10^{-5}$
Термическое сопротивление отложений, °С/Вт.	$R_{отл}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Участок АБ			
Средняя скорость теплоносителя, м/с	$w_{1AB}$	1,31	0,791
Коэффициент теплоотдачи от натрия к стенке трубки теплопередающей поверхности, Вт/м <sup>2</sup> ·°С	$\alpha_1^{AB}$	$2,39 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$
Средняя скорость рабочего тела, м/с	$w_{2AB}$	0,406	0,259
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$	$\alpha_2^{AB}$	$3,35 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$
Коэффициент теплопередачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$	$k_{AB}$	$1,54 \cdot 10^3$	$1,15 \cdot 10^3$
Средний температурный напор, °С	$\Delta t^{AB}$	61,69	63,61
Расчётная площадь теплопередающей поверхности, м <sup>2</sup>	$F_{AB}$	107,55	108,99
Участок БВ			
Средняя скорость теплоносителя, м/с	$w_{1BB}$	1,315	0,792
Коэффициент теплоотдачи от натрия к стенке трубки теплопередающей поверхности, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$	$\alpha_1^{BB}$	$2,73 \cdot 10^5$	$3,32 \cdot 10^5$
Средняя скорость рабочего тела, м/с	$w_{2BB}$	0,477	0,304
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$	$\alpha_2^{BB}$	$1,67 \cdot 10^5$	$1,52 \cdot 10^5$
Коэффициент теплопередачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$	$k_{BB}$	$2,8 \cdot 10^3$	$2,51 \cdot 10^3$
Средний температурный напор, °С	$\Delta t^{BB}$	28,62	29,61
Расчётная площадь теплопередающей поверхности, м <sup>2</sup>	$F_{BB}$	5,85	7,94
Участок ВГ			
Средняя скорость теплоносителя, м/с	$w_{1BG}$	1,323	0,794
Коэффициент теплоотдачи от натрия к стенке трубки теплопередающей поверхности, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$	$\alpha_1^{BG}$	$2,35 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$

Средняя скорость рабочего тела, м/с	$w_{2BG}$	0,78	0,65
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$	$\alpha_2^{BG}$	$1,84 \cdot 10^5$	$1,63 \cdot 10^5$
Коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$	$k_{BG}$	$3,1 \cdot 10^3$	$2,76 \cdot 10^3$
Средний температурный напор, °C	$\Delta t^{BG}$	45	48,9
Расчётная площадь теплопередающей поверхности, м <sup>2</sup>	$F_{BG}$	79,13	81,27
Участок ГД			
Средняя скорость теплоносителя, м/с	$w_{1ГД}$	1,336	0,797
Коэффициент теплоотдачи от натрия к стенке трубки теплопередающей поверхности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$	$\alpha_1^{ГД}$	$2,29 \cdot 10^5$	$0,364 \cdot 10^5$
Средняя скорость рабочего тела, м/с	$w_{2ГД}$	1,86	8,69
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$	$\alpha_2^{ГД}$	$3,1 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$
Коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$	$k_{ГД}$	$1,484 \cdot 10^3$	$11,35 \cdot 10^3$
Средний температурный напор, °C	$\Delta t^{ГД}$	80,1	85,8
Расчётная площадь теплопередающей поверхности, м <sup>2</sup>	$F_{ГД}$	45,13	17,62
Модуль испарителя			
Расчётная площадь теплопередающей поверхности модуля испарителя, м <sup>2</sup>	$F_{И}$	237,7	215,9
Площадь теплопередающей поверхности модуля испарителя с 10 %-ым запасом, м <sup>2</sup>	$F_{\text{испаритель}}$	261,5	237,5
Общая длина труб теплопередающей поверхности, м	$L_{\text{испаритель}}$	51636,8	30352
Длина трубки теплопередающей поверхности в одном модуле, м	$L_{И}$	11,8	14

Как видно из таблицы, при подсчете парогенератора со свинцово-висмутовым теплоносителем, многие характеристики сильно меняются. Это связано с физическими свойствами данного теплоносителя.

Используя свинцово-висмутовый теплоноситель мы увеличиваем теплообменную поверхность парогенератора, а следовательно, необходимо переделывать конструкцию модуля. Из этого делаем вывод, что физически невозможно заменить теплоноситель в парогене-

раторе, без внесения конструктивных изменений в его модули, так как это вызовет тепловой кризис.

Использование свинцово-висмутового теплоносителя экономически не выгодно, в связи с плохими теплофизическими свойствами по сравнению с натриевым теплоносителем.

**Вывод:**

В данной работе была рассмотрена методика теплового расчета вертикального прямоточного парогенератора БН-600. Были приведены особенности данного парогенератора и результаты расчета с двумя разными теплоносителями. Был сделан вывод о необходимом конструкторском решении для замены теплоносителя.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Кириллов П.Л. и др. Справочник по теплогидравлическим расчётам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.: ил.
2. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.: ил.
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980. – 424с.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, ст. преподаватель каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

**ПОРОГОВЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В  
МУЛЬТИПЛИЦИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ С ТОРИЕМ**

В.В. Кнышев

Томский политехнический университет  
ФТИ, ФЭУ, группа 0АМ52

Для надежной оценки эффективности уран-ториевого ЯТЦ, имеет первостепенное значение точность оценок сечений взаимодействия нейтронов с ядрами топливных композиций. В настоящее время имеется множество разноплановых экспериментальных и расчетных ядерных данных, довольно полно они представлены в следующих библиотеках оцененных ядерных данных – ENDF (США), JEFF (Европа), JENDL (Япония), TENDL (РФ), РОСФОНД (РФ). Одним из