



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



АЛЬБОМ

ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ БАКАЛАВРИАТА

КАФЕДРЫ АЭС НИУ МЭИ

(выпуск 2025г.)

Москва

НИУ МЭИ

2025г.

О кафедре АЭС НИУ МЭИ

Кафедра атомных электрических станций (АЭС) Национального исследовательского института "МЭИ" основана в 1956 году и является старейшей кафедрой атомно-энергетического профиля в Европе. Организатором кафедры, где началась подготовка инженеров для новой научно-технической отрасли – атомной энергетики, и первой заведующей была профессор Т.Х. Маргулова. Основной задачей кафедры с момента ее создания и до настоящего времени являлась и остается подготовка высококвалифицированных специалистов для предприятий атомной отрасли.

Большой вклад в становление и развитие кафедры внесли крупные ученые и специалисты промышленности и отраслевых научно-исследовательских институтов. Среди них члены-корреспонденты АН СССР: В.А. Сидоренко, Г.Н. Кружилин; профессора: Н.М. Синев, А.С. Коченов, В.В. Герасимов, В.Ф. Титов, Г.А. Бать, Л.М. Воронин.

За время своего существования кафедра АЭС внесла весомый вклад в подготовку кадров для атомной промышленности страны. Деятельность кафедры по обеспечению преемственности знаний, преодолению дефицита кадров и повышения качества их подготовки, получила поддержку ведущих специалистов атомной отрасли и способствовала включению в 2011 году Национального исследовательского университета "МЭИ" в Ассоциацию "Консорциум опорных вузов Госкорпорации "Росатом".



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Парогенератор РУ ВВЭР-С в двухпетлевой компоновке

СТУДЕНТ: **ОРЕЛЬЯНА УРСУА Е.И.**

Орельяна

ГРУППА: **ТФ-11-21**

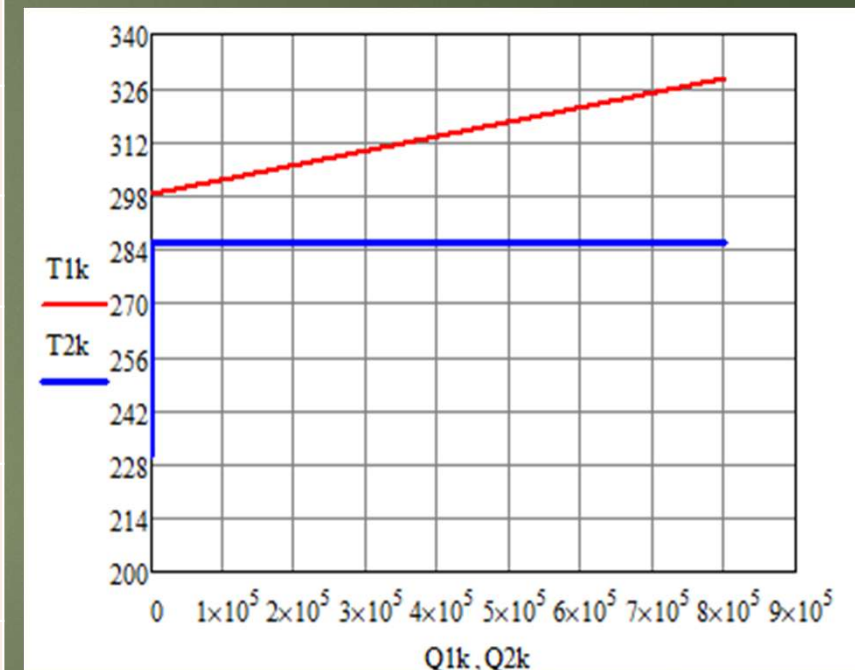
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: **КАВЕРЗНЕВ М.М.**

М.М. Каверзнев

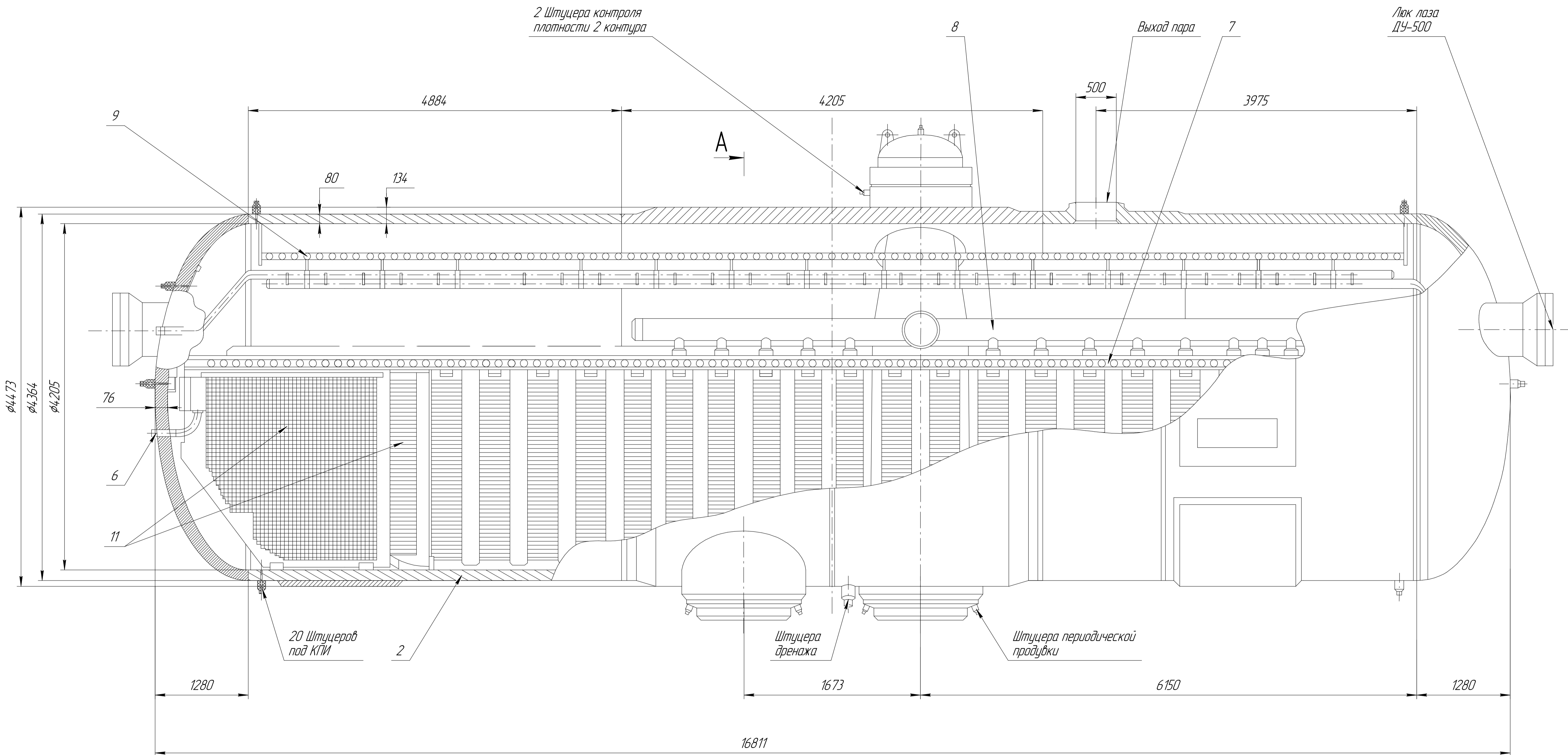
Москва, 2025

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Тепловая мощность парогенератора	$Q_{\text{пг}}$	МВт	800
Давление теплоносителя	P_1	МПа	16.2
Давление рабочего тела	P_2	МПа	7
Температура теплоносителя на выходе	$t_{1\text{вых}}$	$^{\circ}\text{C}$	328.6
Температура теплоносителя на входе	$t_{1\text{вх}}$	$^{\circ}\text{C}$	298.2
Температура питательной воды	$t_{\text{пв}}$	$^{\circ}\text{C}$	230
Температура пара на выходе из ПГ	$t_{\text{пп}}$	$^{\circ}\text{C}$	285.8



T-Q диаграмма



N	Наименование параметра	Значение	Величина
1	Давление теплоносителя	16.2	МПа
2	Температура теплоносителя		
2а	на входе	328.6	°C
2б	на выходе	298.2	°C
3	Расход теплоносителя	4560.5	кг/с
4	Паропроизводительность	448.6	кг/с
5	Давление пара	7	МПа
6	Температура питательной воды	230	°C
7	Тепловая мощность	800	МВт

				МФТ.065112.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
					у	287500	1:25
Разработчик				Парогенератор			
Проектировщик				РУ ВВЭР-С			
Технический контроль				в двухконтурной компоновке			
				Лист 1 / Листов 2			
				ИТАЭ каф. АЭС			
				ТФ-11-21			
				Формат А1			

КОМПАС-3D 12.3 Учетвер версия © 2024. ООО «ИОФ-Системы проектирования». Россия. Все права защищены.
 Имя: И.И. Иванов. Дата: 15.05.2024. Взам. инв. №: 1. Инв. № докум.: 1. Подп. и дата: 15.05.2024.

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.		Справ. №		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
								<u>Документация</u>		
								Чертёж общего вида		
								Спецификация		
								<u>Детали</u>		
						1		Трубка воздушника		
								первого контура	2	
						2		Корпус	1	
						3		Коллектор входа теплоносителя	1	
						4		Коллектор выхода теплоносителя	1	
						5		Коллектор подачи аварийной		
								питательной воды	1	
						6		Штуцер непрерывной продувки	1	
						7		Погружной дырчатый лист	1	
						8		Подвод питательной воды	1	
						9		Потолочный пароприёмный щит	1	
						10		Трубка контроля протечек	2	
						11		Трубный пучок	1	
						12		Успокоительная трубка	1	
						13		Штуцер контроля уровня	2	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Орельяна Урсца Е.И.		
Пров.		Каверзнев М.М.		
Н.контр.				
Утв.				

МИФ Т.065112.001

Спецификация

Лит.	Лист	Листов
у	1	1

ИТАЭ каф. АЭС
ТФ-11-21



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Расчет ПГ системы аварийного энергоснабжения на тепловых аккумуляторах на НКРТ

Студент: **Поленок Е.А.**

Группа: **ТФ-12-21**

Научный руководитель: **Каверзнев М.М.**

Москва, 2025

Системы аварийного энергоснабжения энергоблоков АЭС САЭ ВВЭР-1000

В качестве автономных источников электропитания на АЭС выступают резервные дизельные электростанции (РДС), обеспечивающие генерацию энергии в случае нарушения штатного энергоснабжения вспомогательных систем ядерных энергоблоков.

Для энергоблоков ВВЭР-1000 в качестве аварийного электроснабжения предусмотрены источники автономного электроснабжения: автоматизированные РДС и агрегат бесперебойного питания на основе аккумуляторных батарей (по 3 на каждый энергоблок).

Достоинства:

- освоенная технология.

Недостатки:

- имеется риск незапуска;
- перерыв в питании ~15 секунд (время развертки), полная мощность развивается за 45 секунд;
- неиспользуемая в нормальной эксплуатации система, что вызывает простой оборудования.

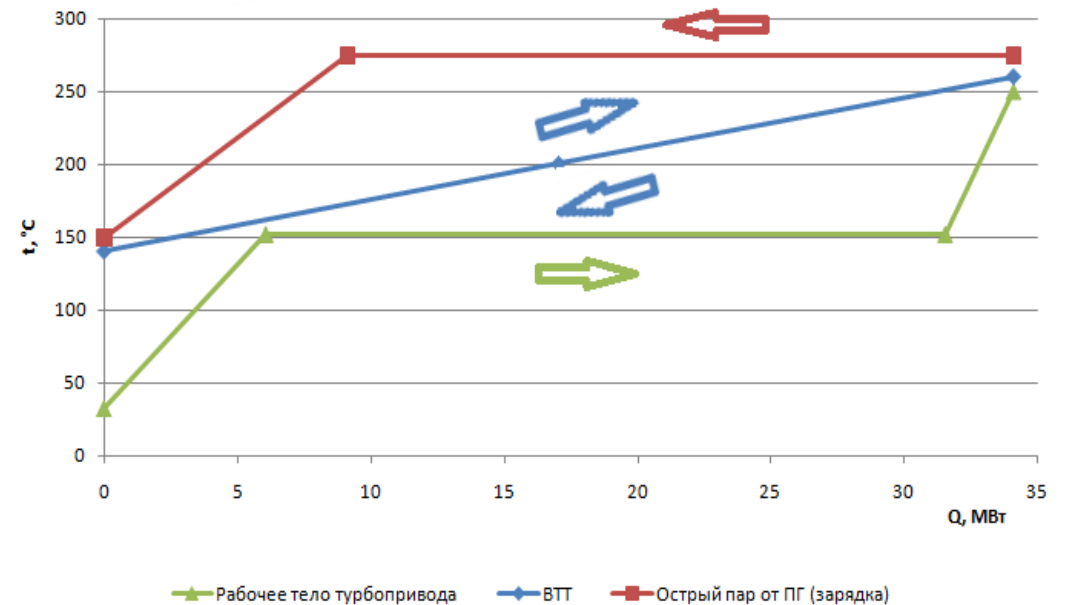
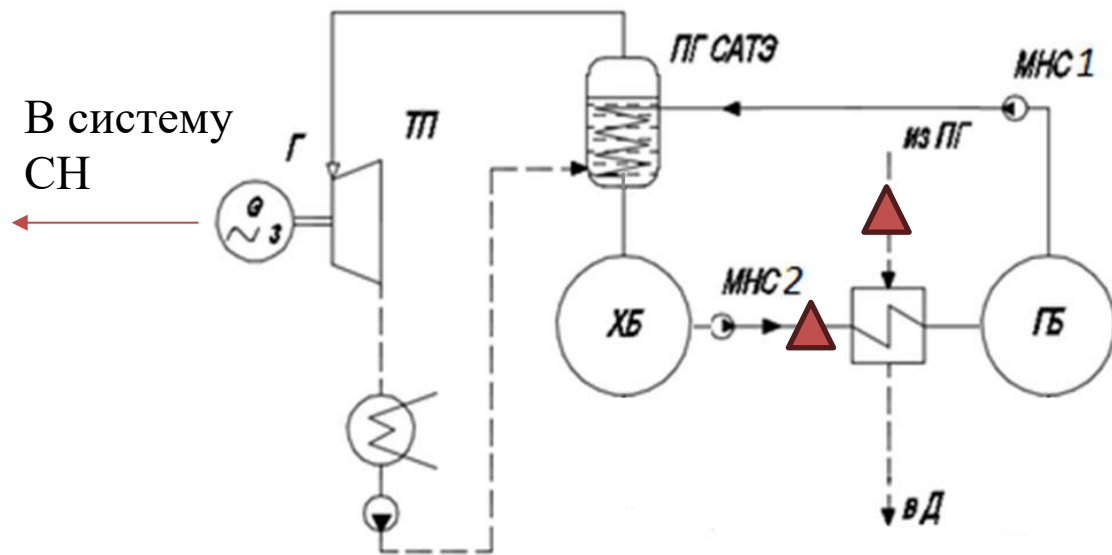


Альтернатива штатной САЭ:

Система аварийного энергоснабжения на тепловых аккумуляторах (САЭ-ТА)

В качестве одной альтернатив РДС рассматривается система аварийного энергоснабжения на тепловых аккумуляторах.

Схема обеспечивает непрерывную подзарядку ТАК и продолжение функционирования в случае обесточивания, прекращения подачи пара от ПГ, без переключений.



▲ – отключается при полном обесточивании

Процесс теплообмена между греющим паром, ВТТ и рабочим теплом ТП

Варианты конструктивных схем ПГ САЭ-ТА

При рассмотрении ПГ на воде возникала проблема в виде большой разницы плотностей пара и воды (~500 раз) при низких давлениях (~0,5МПа), что потребовало разделения ПГ на 2 корпуса с разным числом труб разной длины. Вариант колокольчик был отвергнут из-за сильной разницы длин частей, на смену ему пришла катушка.

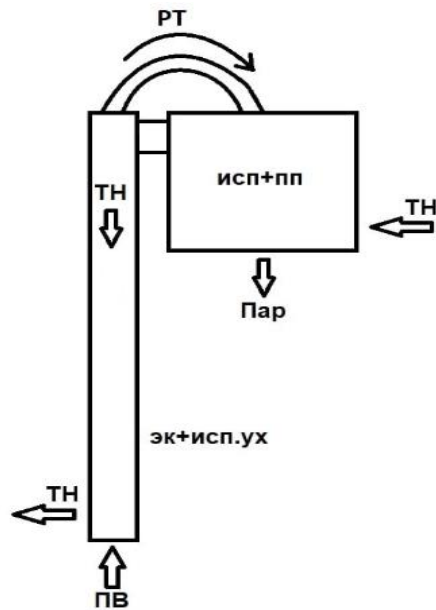


Схема
«Колокольчик»

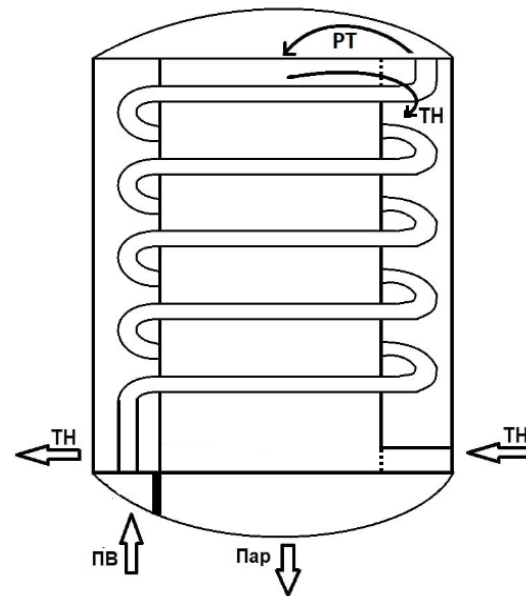
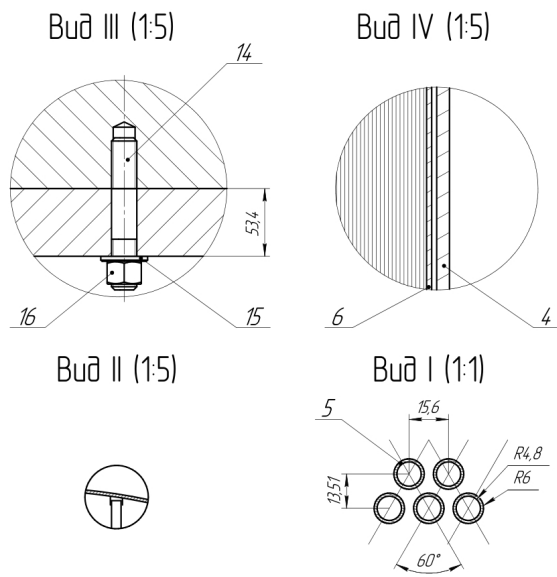
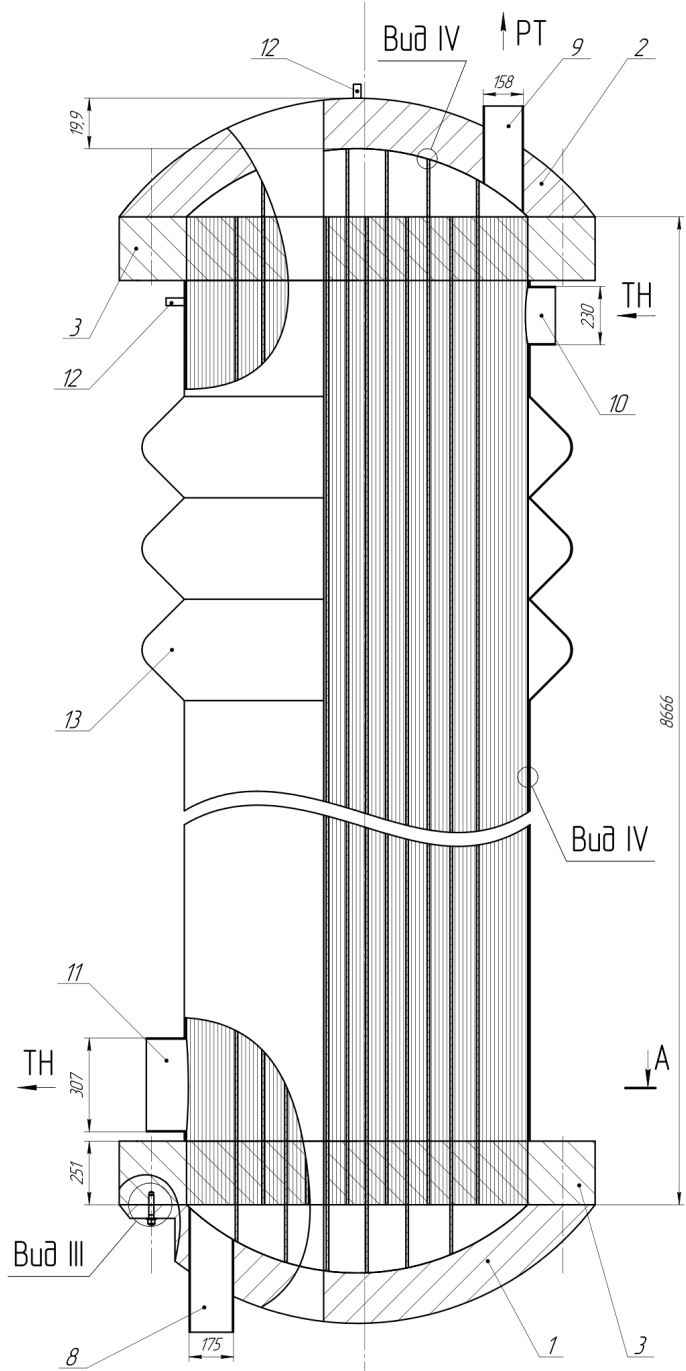


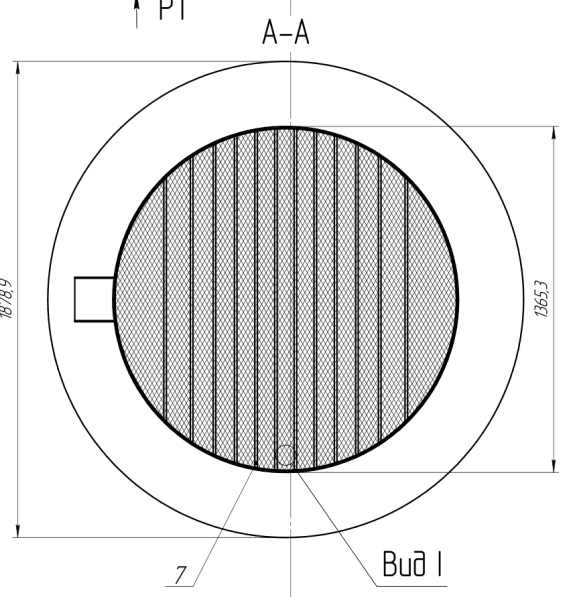
Схема
«Катушка»

Одной из причин выбора в качестве рабочего тела диоксида углерода в данной работе послужило то, что он не имеет фазовых переходов в сверхкритическом состоянии и имеет относительно малое изменение плотности.

Это позволяет создать конструкцию ПГ с простым трубным пучком, без деления на части и усложнения конструкции.



N	Наименование	Количество	Длн x S, мм
8	Патрубок подвода РТ	1	175 x 4
		2	155 x 4
		2	100 x 4
9	Патрубок отвода РТ	1	158 x 4
		2	127,5 x 4
10	Патрубок подвода ВТТ	1	230 x 4
11	Патрубок отвода ВТТ	1	307 x 4



Технические характеристики:

Наименование величин	Величина	Размерность
Расход ВТТ	85,41	кг/с
Температура ВТТ на входе	260	°С
Температура ВТТ на выходе	75	°С
Давление ВТТ	20	МПа
Расход РТ	109,66	кг/с
Температура РТ на входе	65	°С
Температура РТ на выходе	249,1	°С
Давление РТ	0,4	МПа

ИЗМ. № 01/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 02/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 03/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 04/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 05/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 06/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 07/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 08/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 09/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 10/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 11/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 12/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 13/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 14/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 15/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 16/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 17/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 18/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 19/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 20/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 21/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 22/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 23/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 24/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 25/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 26/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 27/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 28/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 29/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 30/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 31/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 32/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 33/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 34/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 35/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 36/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 37/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 38/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 39/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 40/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 41/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 42/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 43/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 44/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 45/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 46/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 47/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 48/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 49/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 50/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 51/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 52/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 53/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 54/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 55/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 56/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 57/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 58/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 59/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 60/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 61/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 62/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 63/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 64/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 65/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 66/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 67/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 68/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 69/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 70/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 71/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 72/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 73/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 74/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 75/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 76/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 77/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 78/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 79/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 80/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 81/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 82/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 83/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 84/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 85/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 86/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 87/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 88/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 89/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 90/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 91/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 92/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 93/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 94/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 95/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 96/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 97/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 98/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 99/2014 Лист 1 из 1
 ИЗМ. № 100/2014 Лист 1 из 1

МИФТ.065112.001.В0				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Лист	28	779	1:10
Разработчик	Лист	Исполнитель	Лист			
Проверщик	Лист	Лист	Лист			
Утвержден	Лист	Лист	Лист			
Исполнитель	Лист	Лист	Лист			
Лист	Лист	Лист	Лист			

Парогенератор САЭ-ТА на sCO₂
 Общий вид
 ИТАЭ каф. АЭС ТФ-12-21

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МЭИ»

Кафедра АЭС

Выпускная квалификационная работа

Расчет модуля ПГ для РУ «Шельф-М»

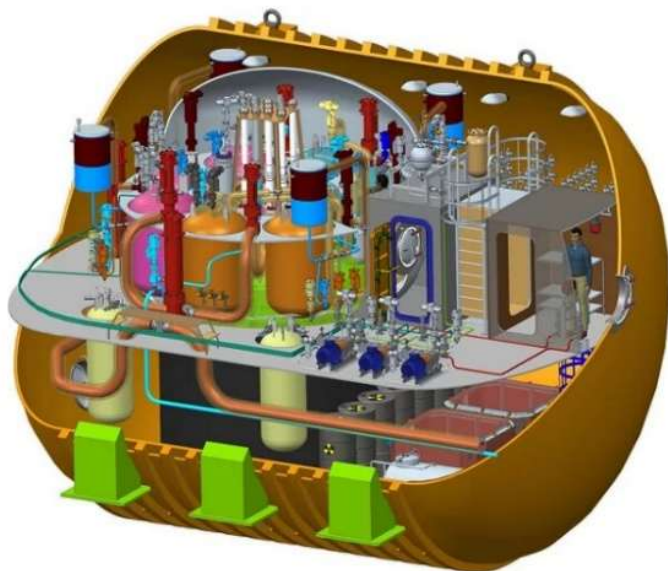
Студент: Черкасов В.А.

Группа: ТФ-11-21

Научный руководитель: Каверзнев М.М.

Москва, 2025 г.

Описание РУ «Шельф-М»



РУ «Шельф-М» — инновационная реакторная установка, созданная специалистами научно-исследовательского центра АО «НИКИЭТ». На её базе проектируются атомные станции малой мощности (АСММ) наземного размещения для энергоснабжения отдалённых регионов РФ.

Особенности:

- Интегральная компоновка
- Компактность энергоблока (11 м в длину, 8 м в диаметре)

Рисунок 1 – Модель РУ «Шельф-М»

Анализ параметров РУ «Шельф-М»



	РУ РИТМ-200	РУ "Шельф-М"
Тепловая мощность, МВт	175	35
Высота АЗ, мм	1200	702
Диаметр АЗ, мм	1600	936
Объём АЗ, м ³	2,565	0,483
Наружный диаметр опускной шахты, мм	2160	1266
Внутренний диаметр стенки корпуса, мм	3300	1682

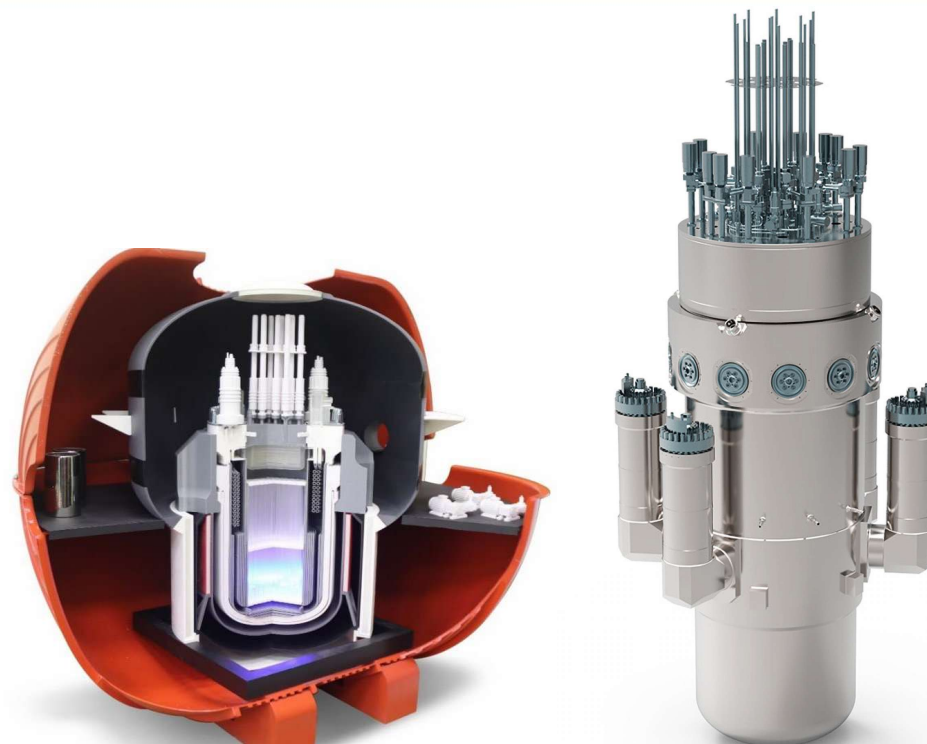


Рисунок 2 – РУ «Шельф-М» относительно РУ РИТМ-200

Анализ параметров РУ «Шельф-М»



Проектные параметры:

- Количество модулей ПГ → 12;
- Подвод ПВ/отвод пара → в верхней части модуля;
- Расположение модуля → в кольцевом зазоре между наружной стенкой опускной шахты и внутренней стенкой корпуса РУ;
- Высота пучка ТОТ → 2000 мм;
- Материал модуля ПГ → титановый сплав ПТ-7М

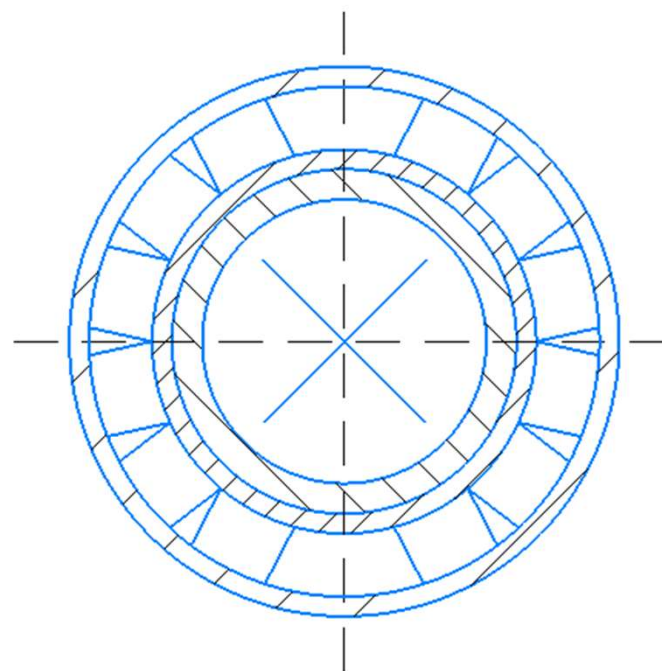
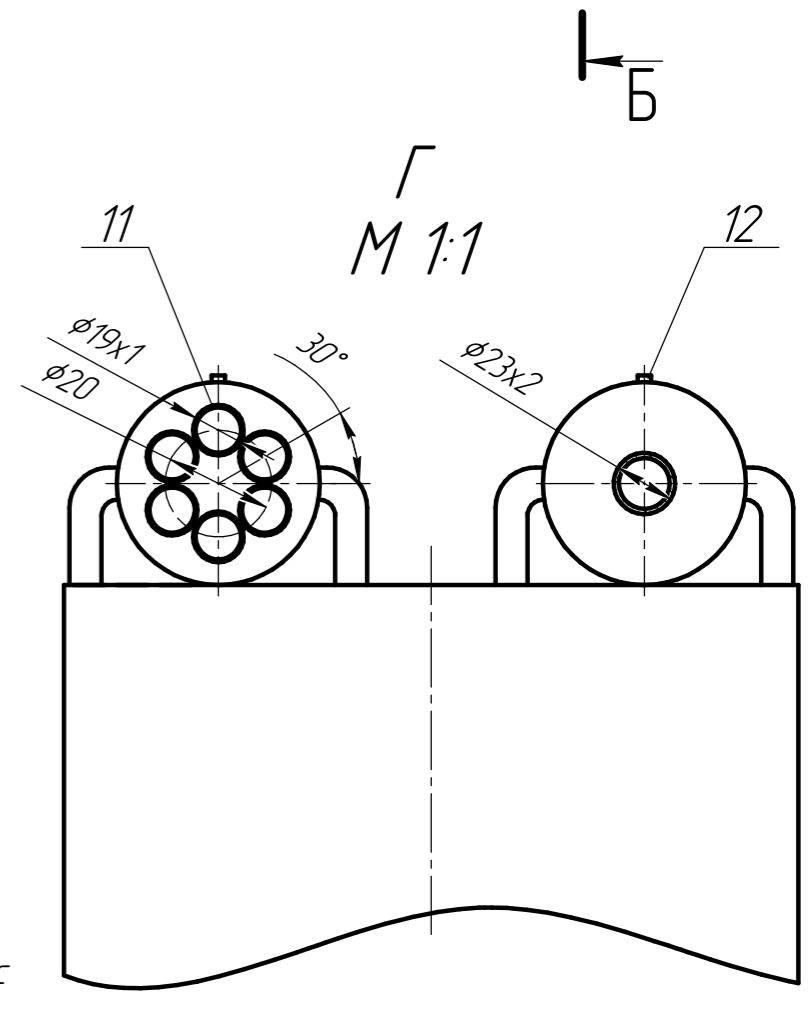
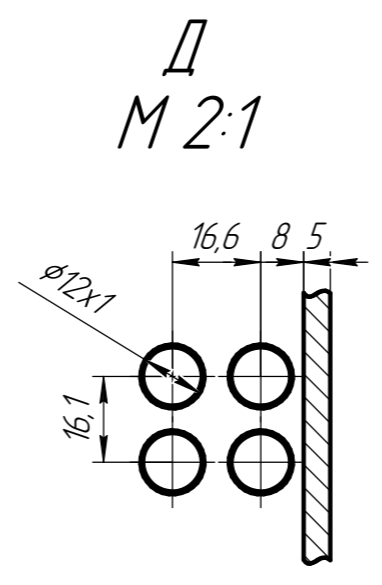
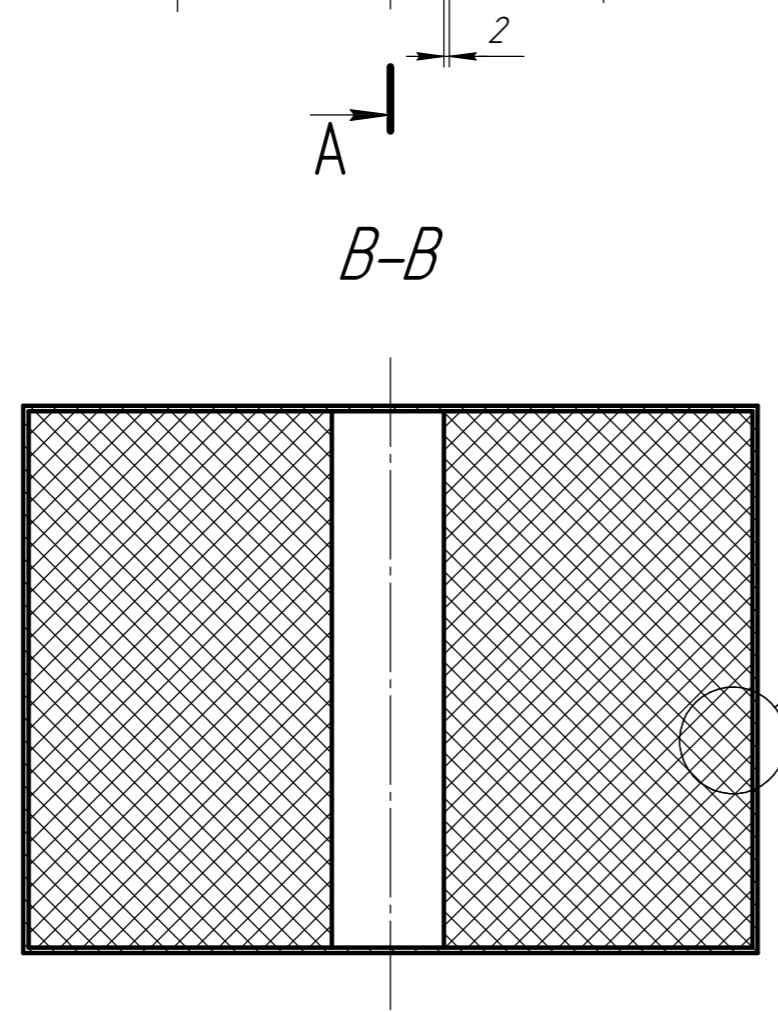
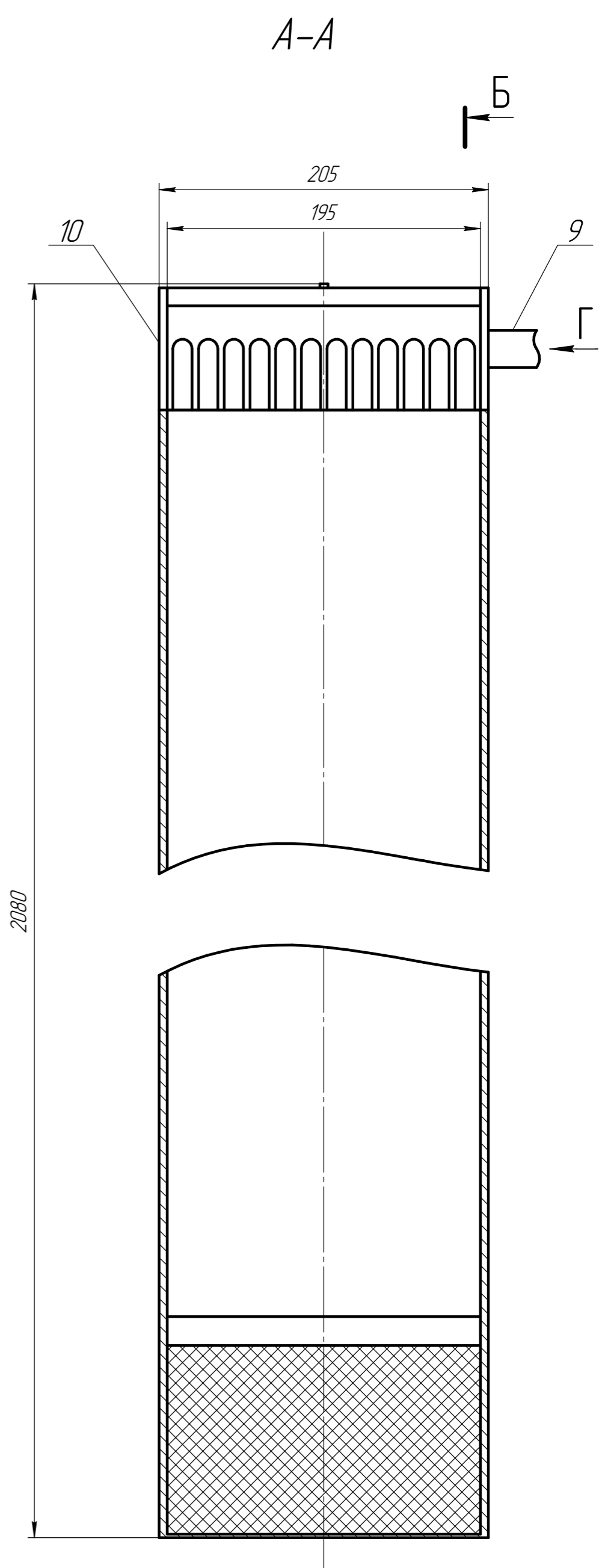
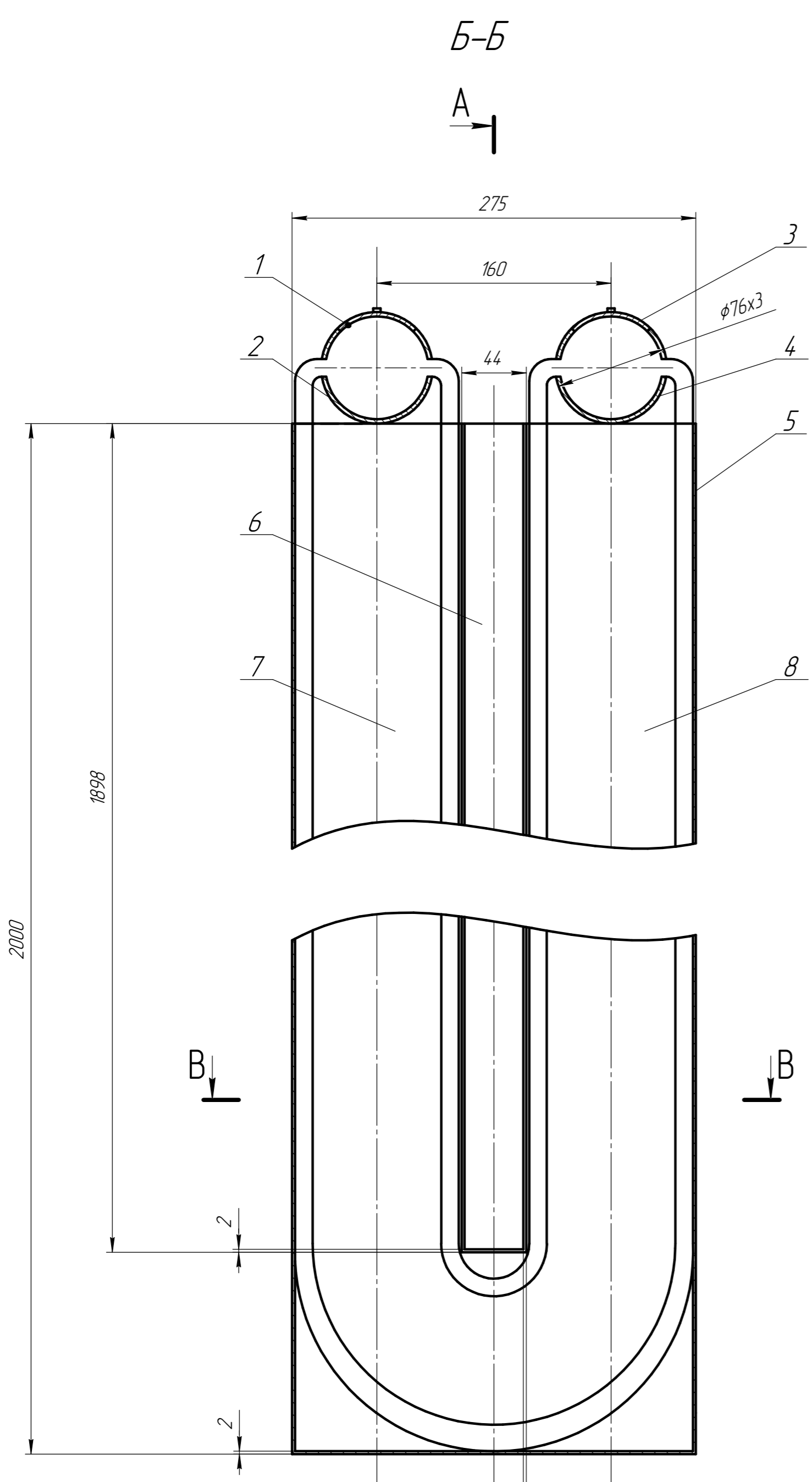


Рисунок 3 – Расположение модулей ПГ в РУ «Шельф-М»



Характеристики кассеты ПГ РУ "Шельф-М"

1. Давление ТН 14,7 МПа
2. Температура ТН на входе 308 °С
3. Температура ТН на выходе 271 °С
4. Расход ТН на опускном участке 5,13 кг/с
5. Расход ТН на подъемном участке 10,26 кг/с
6. Давление ПВ 14 МПа
7. Температура ПВ 105 °С
8. Температура перегретого пара 295 °С
9. Паропроизводительность 1,13 кг/с

МИФ Т.062524.001				Лист	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Лист	у	100,17 кг	1:2
Разраб.	Черкасав В.А.				Лист		1
Проб.	Кабарнев М.М.				Листов		
Т.контр.					ИТАЭ каф. АЭС		ТФ-11-21
Исполн.					Формат А1		
Чтб.					Копировал		Формат А1

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН" Системы прототипирования - Россия. Все права защищены.
 Имя № листа: _____ Власт. инд. № _____ Подп. и дата: _____
 Справ. № _____ Листов: _____

Перв. примен.		Справ. №		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
								<u>Документация</u>		
								Чертеж общего вида		
								Спецификация		
						1		<u>Детали</u>		
								Верхняя часть	1	
								раздающего коллектора		
						2		Нижняя часть	1	
								раздающего коллектора		
						3		Верхняя часть	1	
								собирающего коллектора		
						4		Нижняя часть	1	
								собирающего коллектора		
						5		Ограждающий кожух	1	
						6		Вытеснитель	1	
						7		Опускная часть	1	
								трудного пучка		
						8		Подъемная часть	1	
								трудного пучка		
						9		Патрубок подачи ПВ	1	
						10		Торцевая заглушка	4	
						11		Патрубок отвода пара	6	
						12		Штуцер воздушника	2	

МИФ Т.062524.001 В0

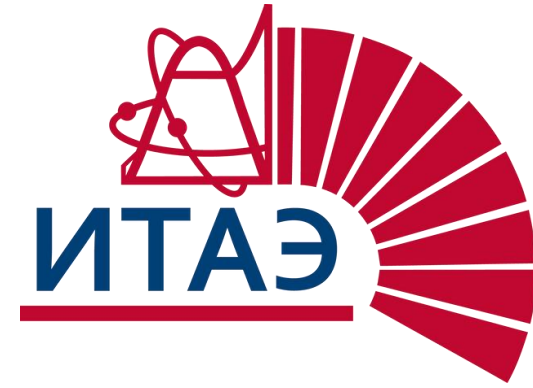
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Черкасов В.А.		
Пров.		Каверзнев М.М.		
Н.контр.				
Утв.				

Модуль ПГ для
РУ "Шельф-М"

Лит.	Лист	Листов
ч		1
ИТАЭ каф. АЭС ТФ-11-21		



Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»



Усовершенствованный вертикальный ПГ для энергоблока ВВЭР-С в двухпетлевой компоновке

Студент: Сачков Д.А.

Группа: ТФ-11-21

Научный руководитель: Каверзнев М.М.

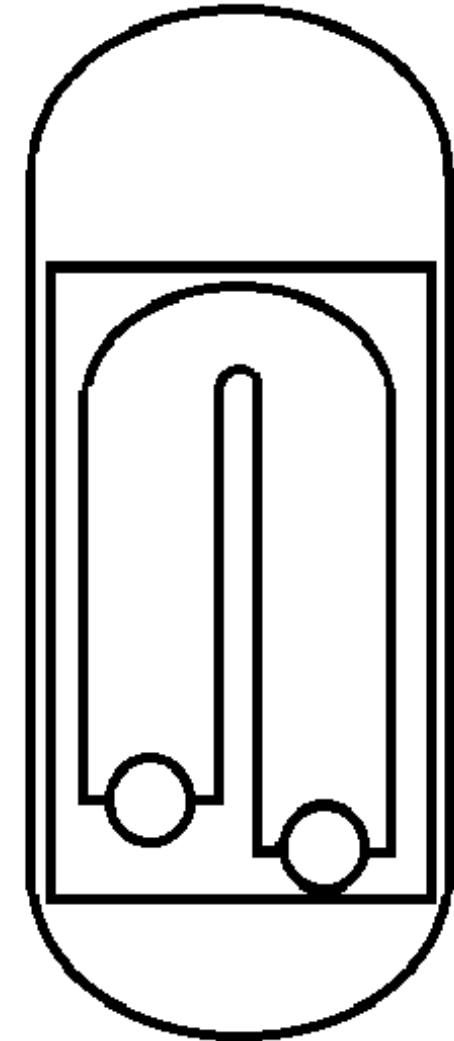
Дата: 02.07.2025

Исходные данные для расчета

Характеристика	Значение
Тепловая мощность парогенератора, МВт	800
Температура теплоносителя на входе/выходе, $t_{1ВХ}/t_{1ВЫХ}$, °С	328,6/298,2
Температура питательной воды, °С	230
Температура пара, °С	285,8
Давление теплоносителя, МПа	16,2

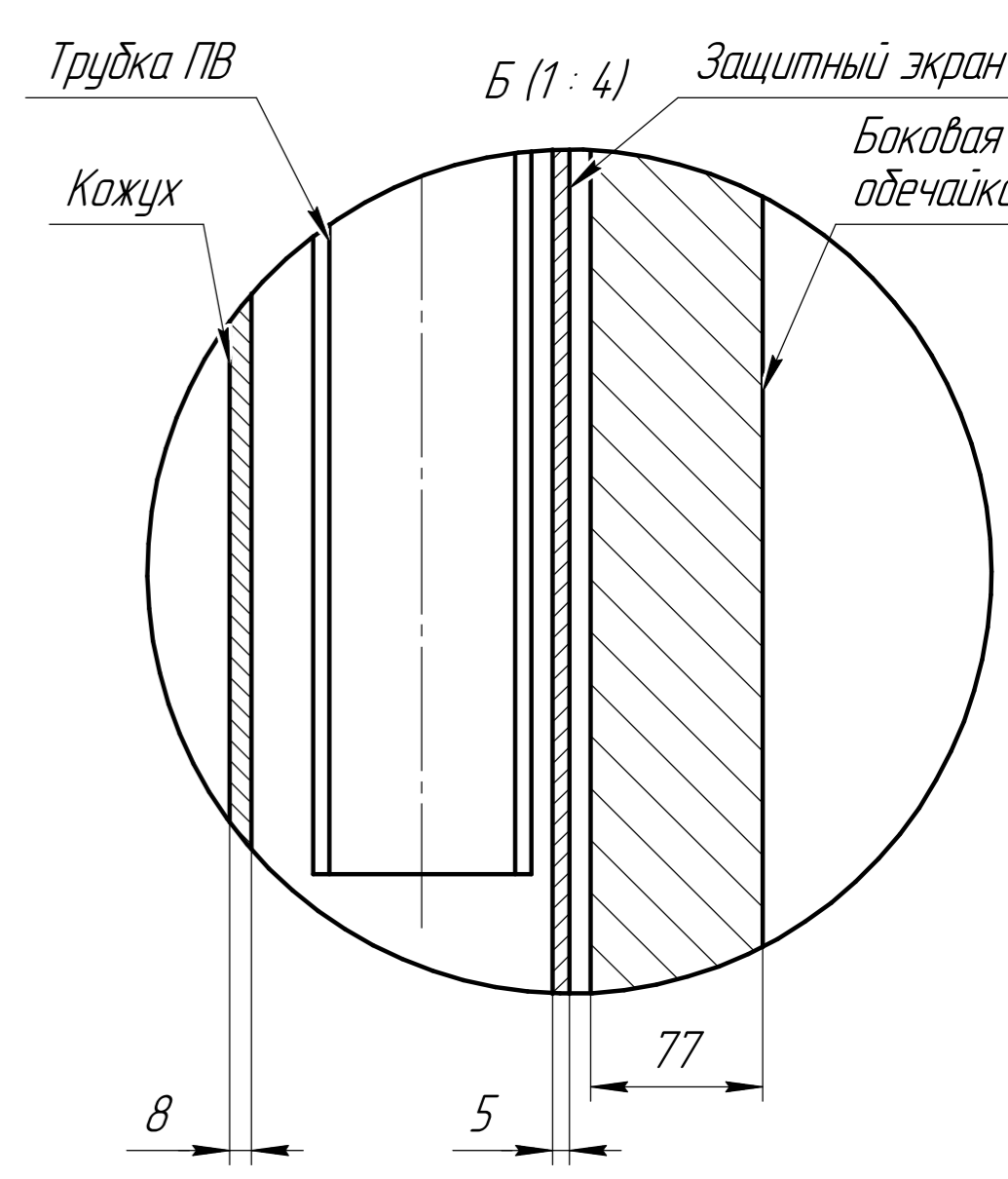
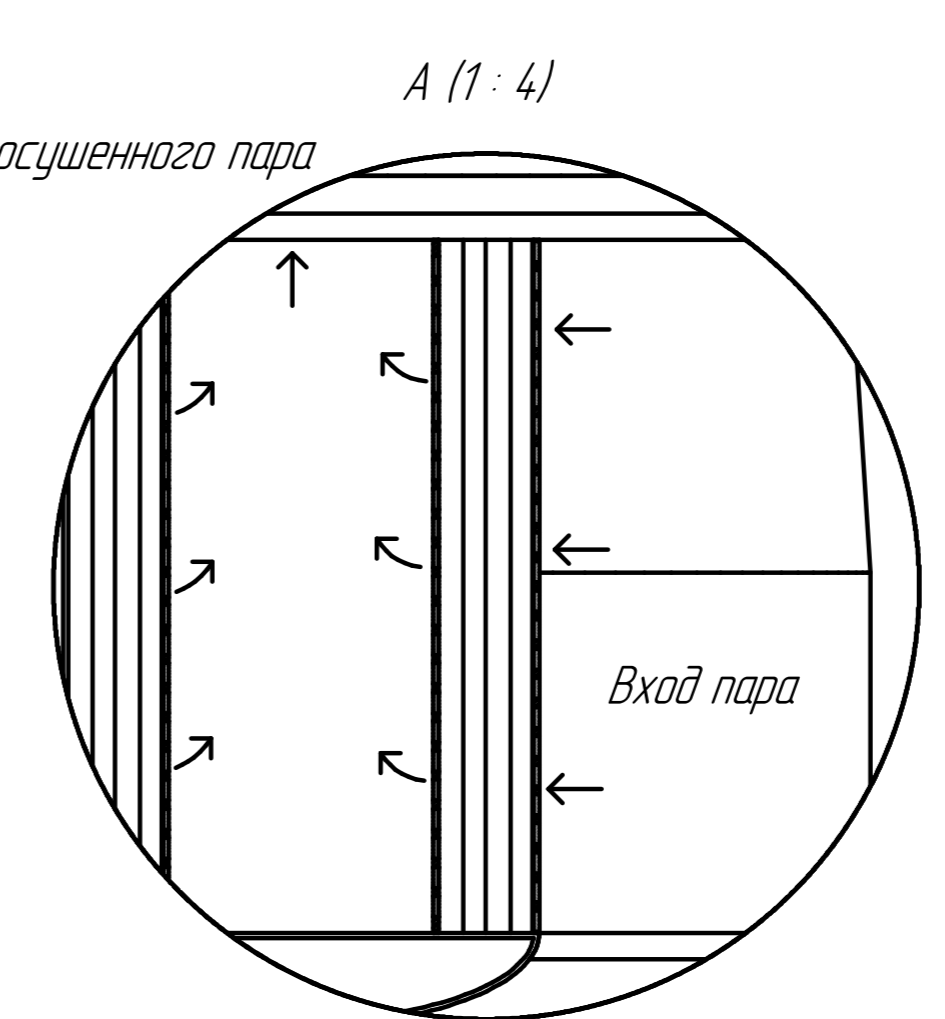
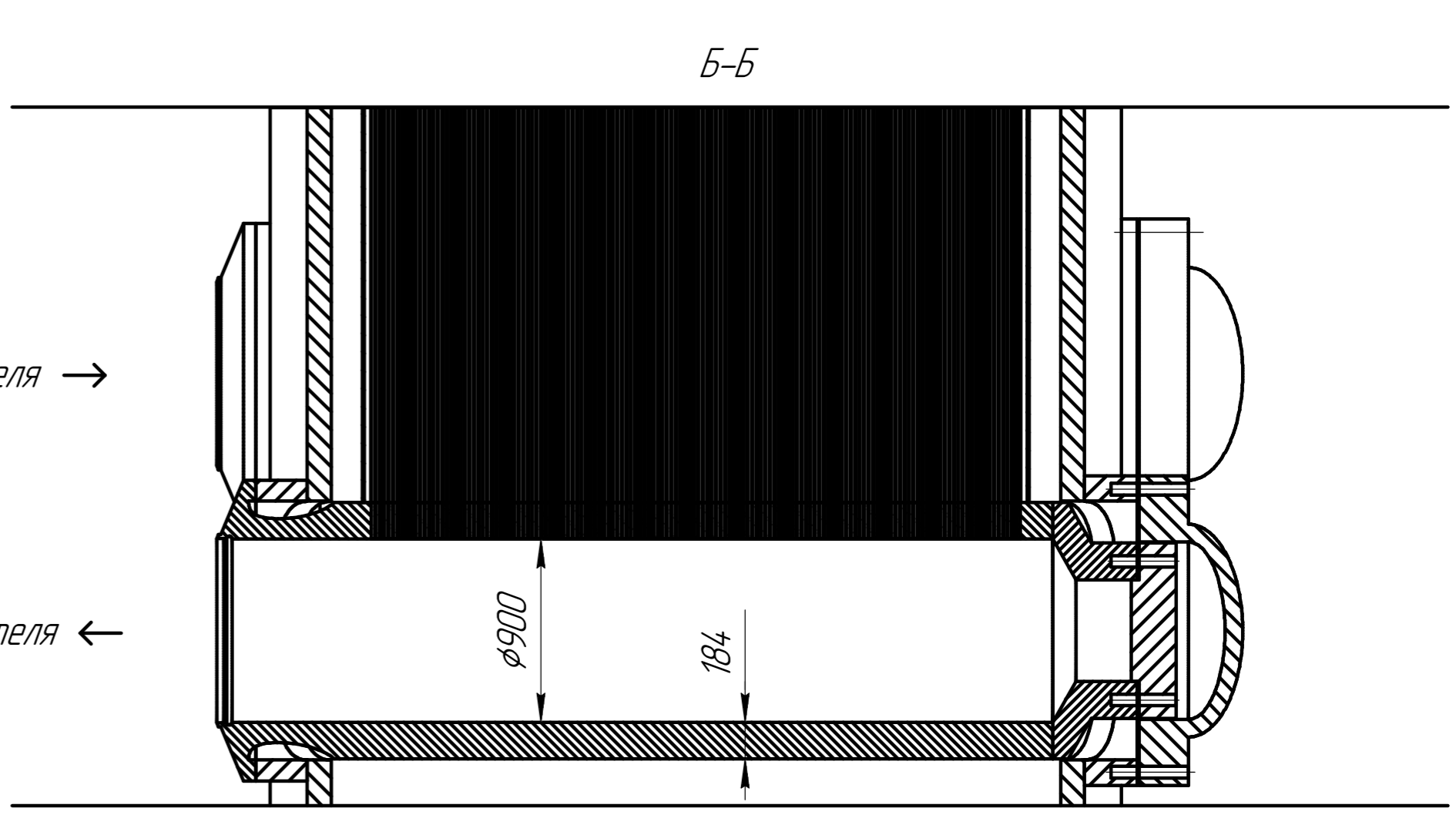
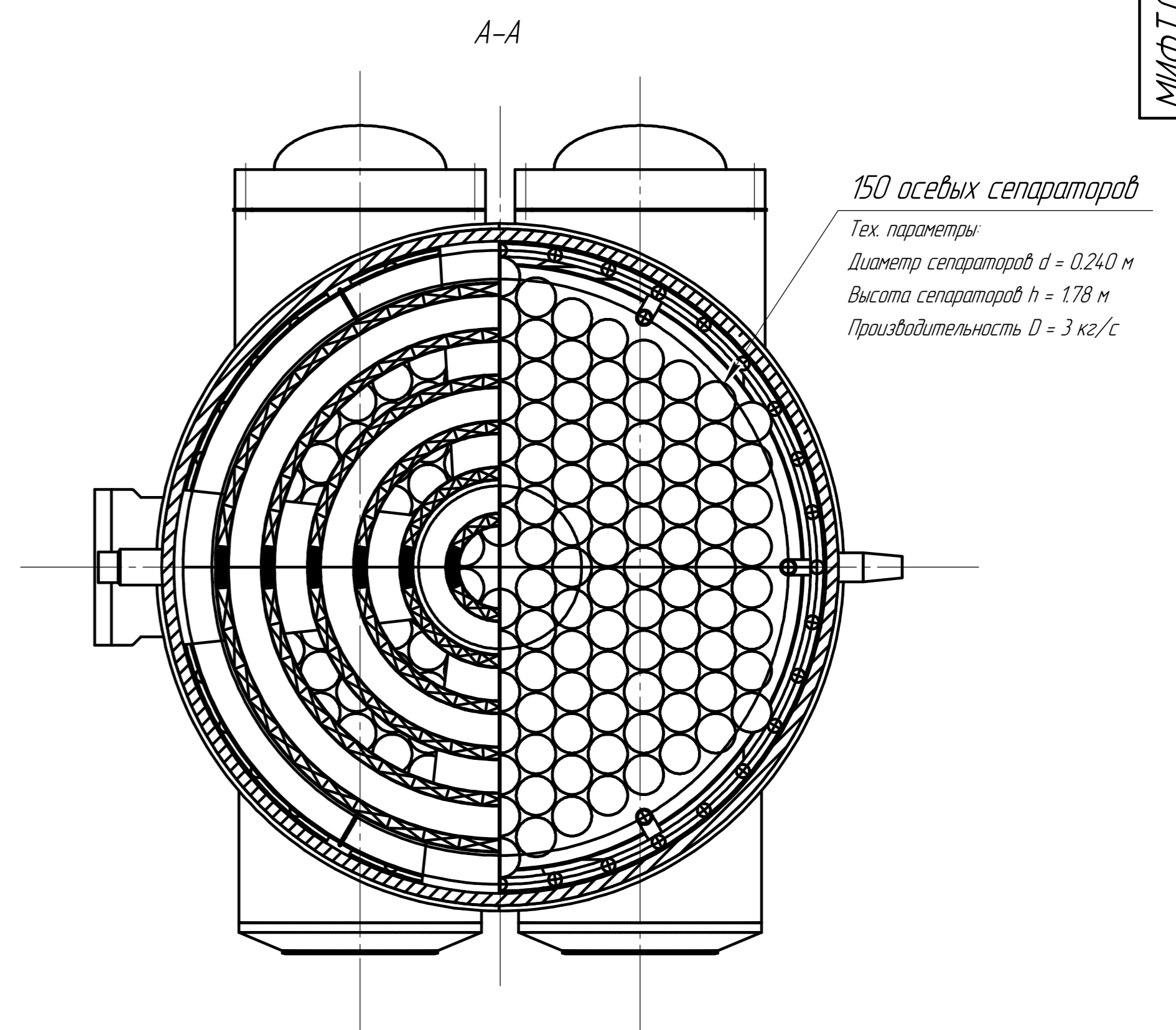
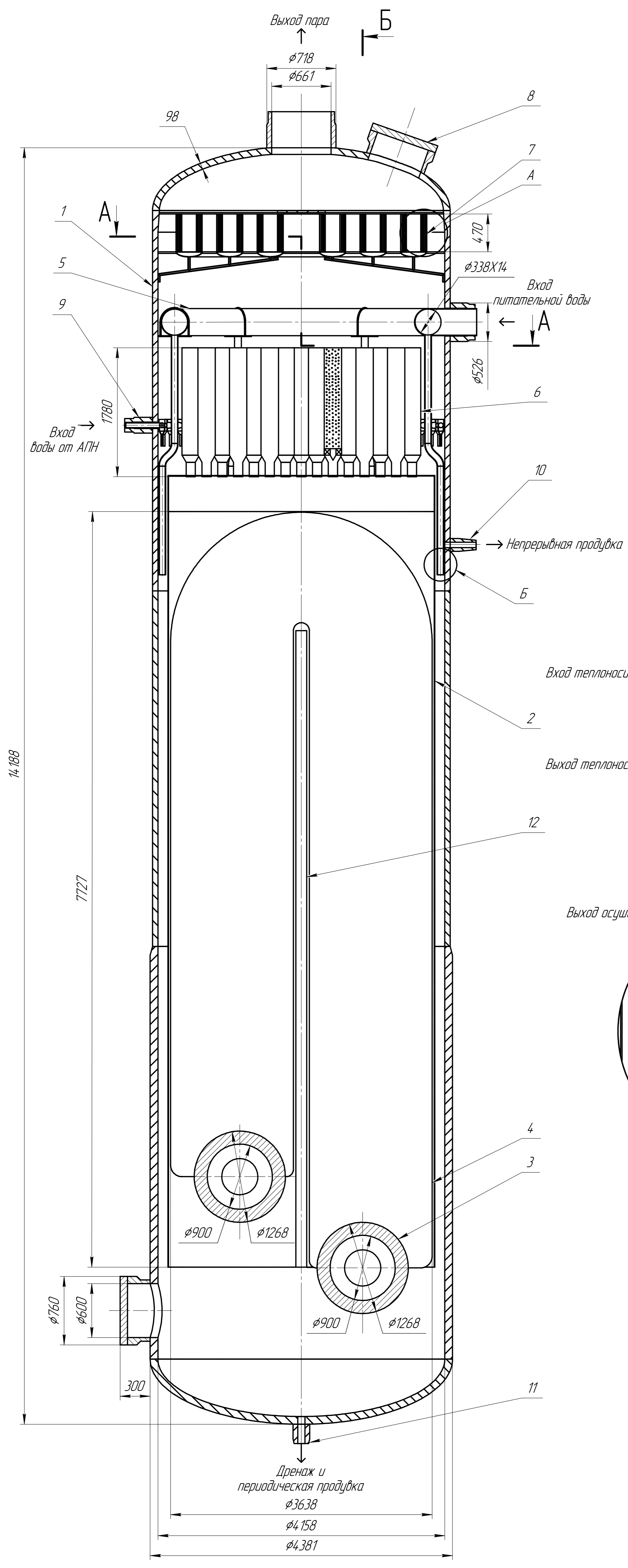
Выбор конструкционных материалов

Деталь	Марка стали
Корпусные детали	10ГН2МФА
Трубы ТПП	12Х18Н10Т
Коллектора теплоносителя	10ГН2МФА



Конструкционная схема ПГ

Выбор конструкционной схемы ПГ сочетает достоинства горизонтальных и вертикальных парогенераторов, а также используются узлы и детали ПГВ.



№	Наименование величин	Размерность	Значение
1	Расход теплоносителя	кг/с	4514
2	Температура теплоносителя		
2а	на входе	°С	328.6
2б	на выходе	°С	298.2
3	Давление теплоносителя	МПа	16.2
4	Расход рабочего тела	кг/с	4516.12
5	Температура рабочего тела		
5а	на входе	°С	230
5б	на выходе	°С	285.8
6	Давление пара	МПа	7

МИФТ.065012.001 СБ.

Усовершенствованный вертикальный парогенератор для энергоблока с реактором ВВЭР-С в двухтрубной компоновке

Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
1	Сачков Д.А.				235210	1:20
Лист	Листов					
1	1					

ИТАЭ кафедра АЭС гр. ТФ-11-21

Формат А1

Не для коммерческого использования

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №		A1				<u>Документация</u>		
						<u>Сборочный чертеж</u>		
						<u>Детали</u>		
				1		Корпус	1	
				2		Кожух	1	
				3		Коллектор	2	
				4		Трубный пучок	1	
				5		Труба раздачи ПВ	1	
				6		Осевой сепаратор	150	
				7		Вертикальный жалюзийный сепаратор	1	
				8		Люк-лаз	2	
				9		Штуцер аварийного подвода воды	1	
				10		Штуцер непрерывной продувки	1	
				11		Штуцер дренажа и периодической продувки	1	
				12		Вытеснитель	1	

МИФ Т.065012.001				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сачков Д.А.		
Пров.		Каверзнев М.М.		
Н.контр.				
Утв.				
Усовершенствованный вертикальный парогенератор для энергоблока с реактором ВВЭР-С в двухпетлевой компоновке			Лит.	Лист
				Листов
				1
ИТАЭ кафедра АЭС гр. ТФ-11-21				