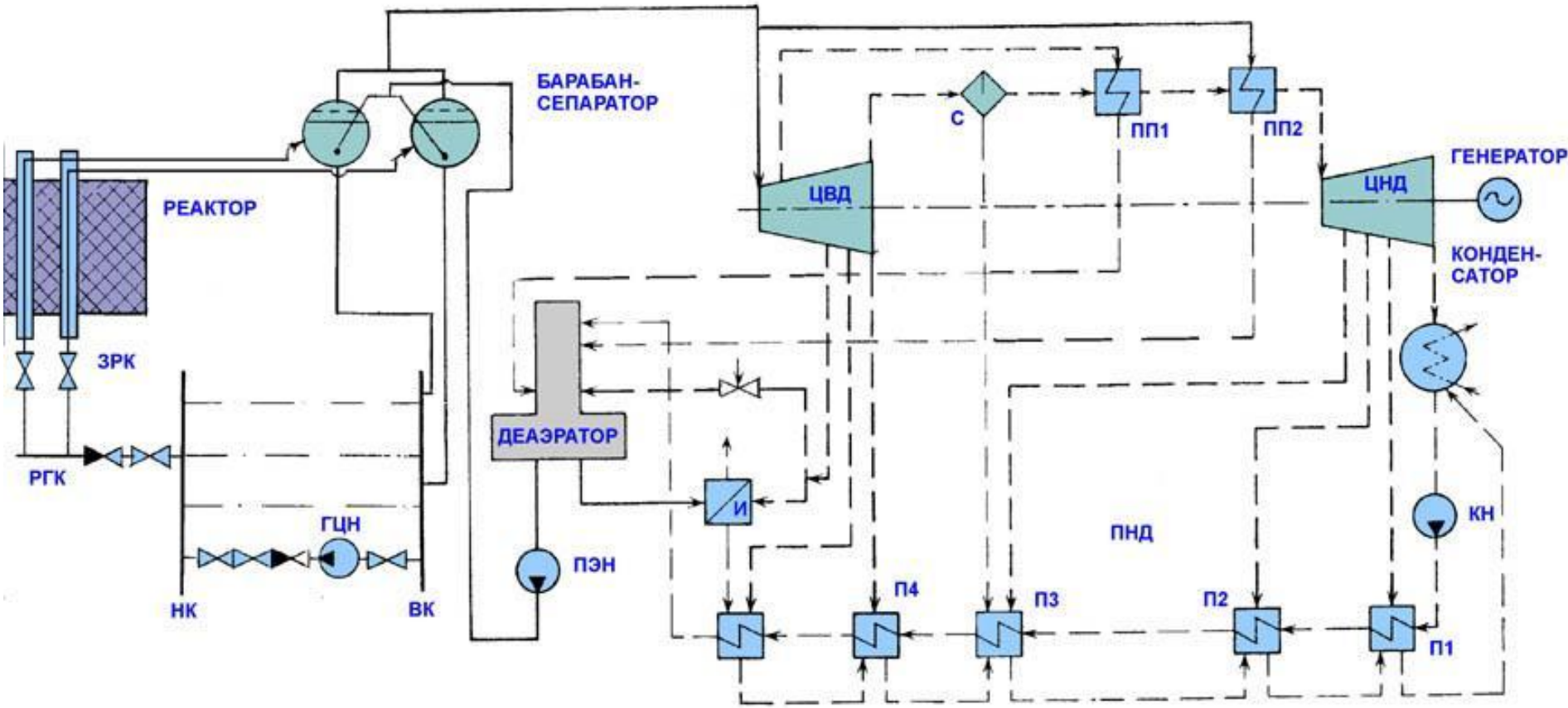
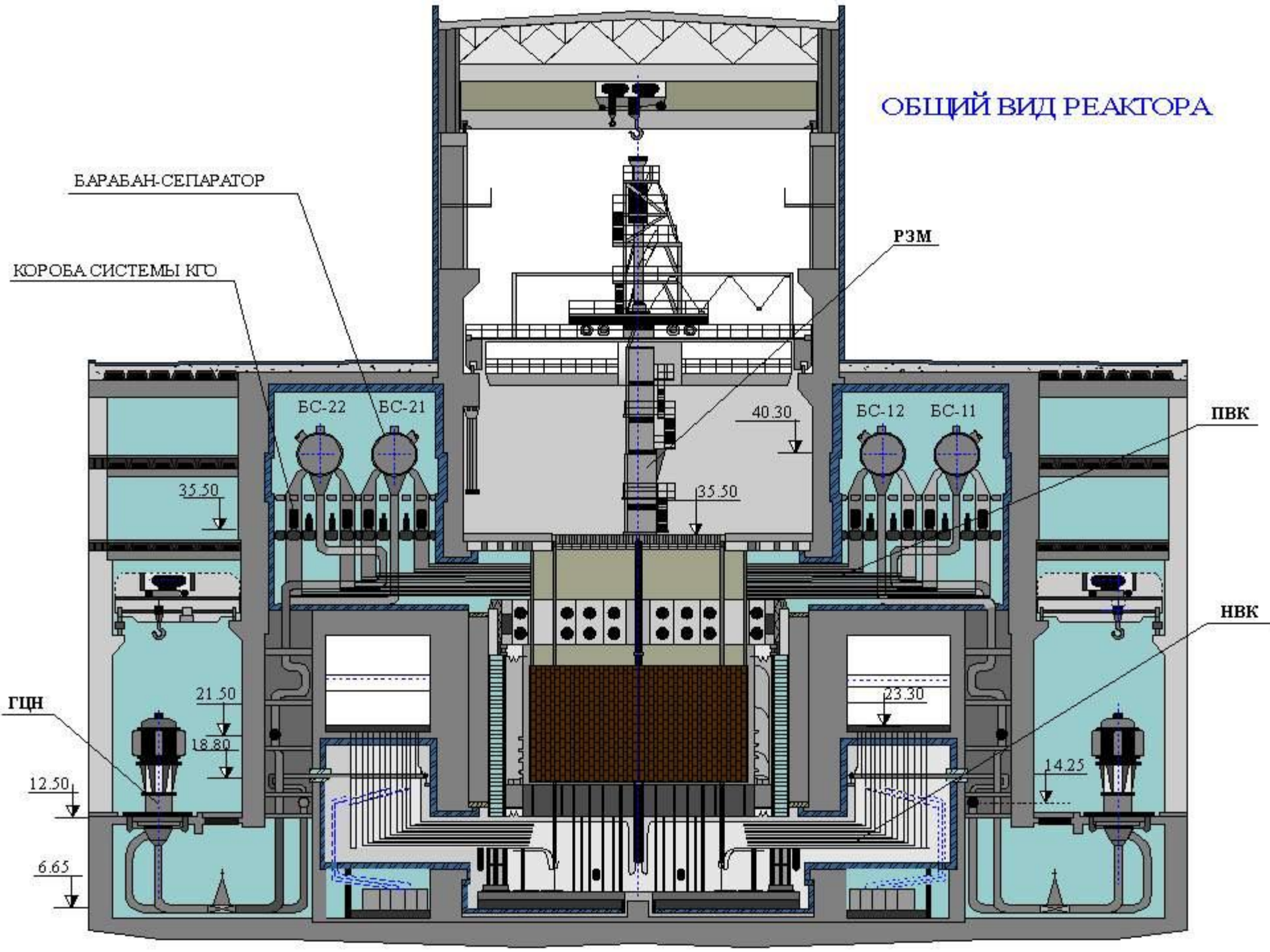
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ОДНОКОНТУРНОЙ АЭС С ТУРБОУСТАНОВКОЙ К-500-65

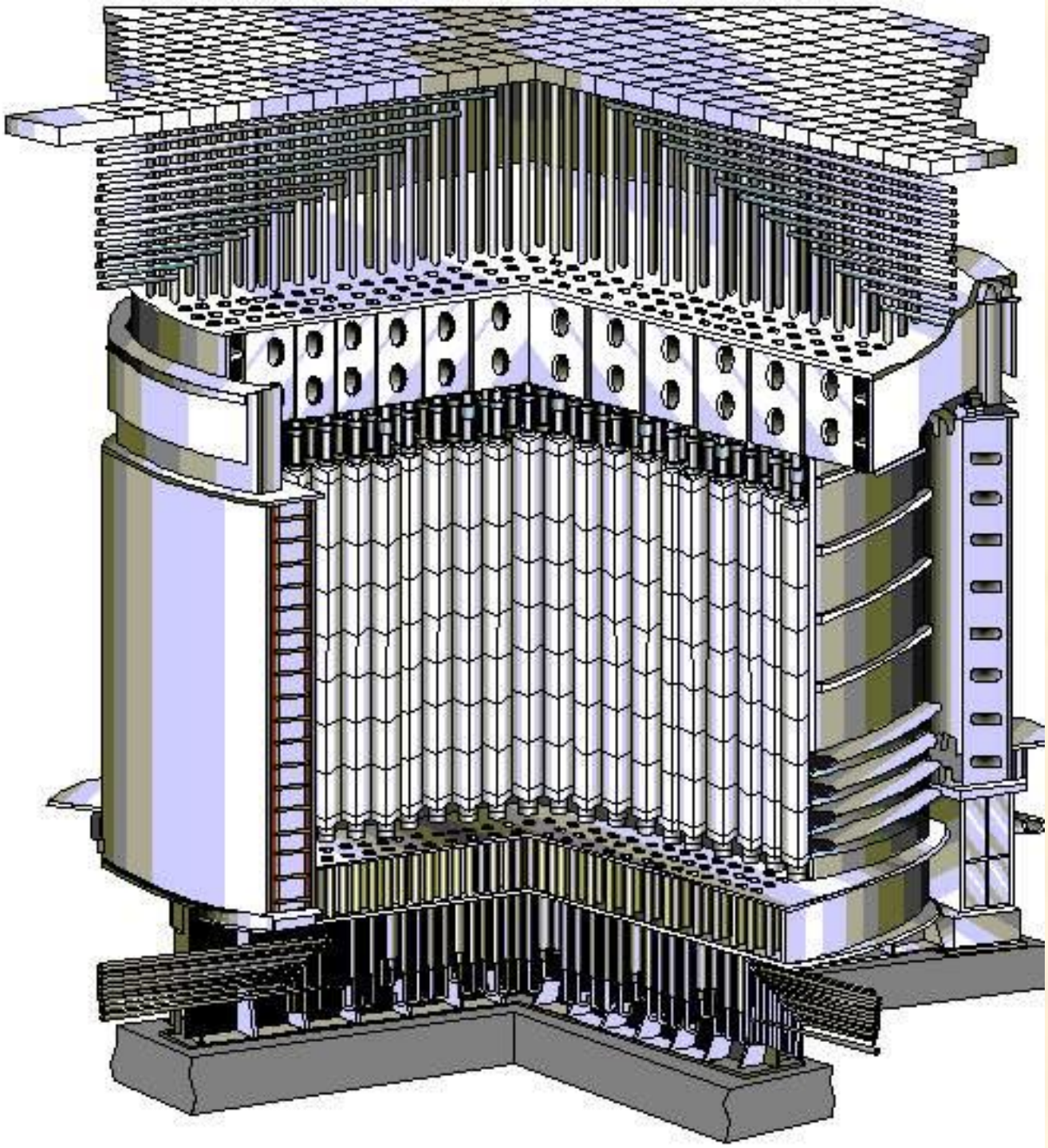


ГО-42

РБМК-1000 - это гетерогенный, уранграфитовый, кипящего типа, на тепловых нейтронах реактор, предназначенный для выработки насыщенного пара.

Реактор размещен в центральной части блока "А" или "Б" **в бетонной шахте** квадратного сечения размером 21,6х21.6х25.5 м (оси 45-50ряды И-Н).


ОБЩИЙ ВИД РЕАКТОРА
БАРАБАН-СЕПАРАТОР
КОРОБА СИСТЕМЫ КГО
РЗМ
ПВК
НВК
ГЦН
БС-22
БС-21
БС-12
БС-11
40.30
35.50
35.50
21.50
18.80
12.50
6.65
23.30
14.25



Основными конструктивными элементами реактора являются **металлоконструкции** реактора и **графитовая кладка.**

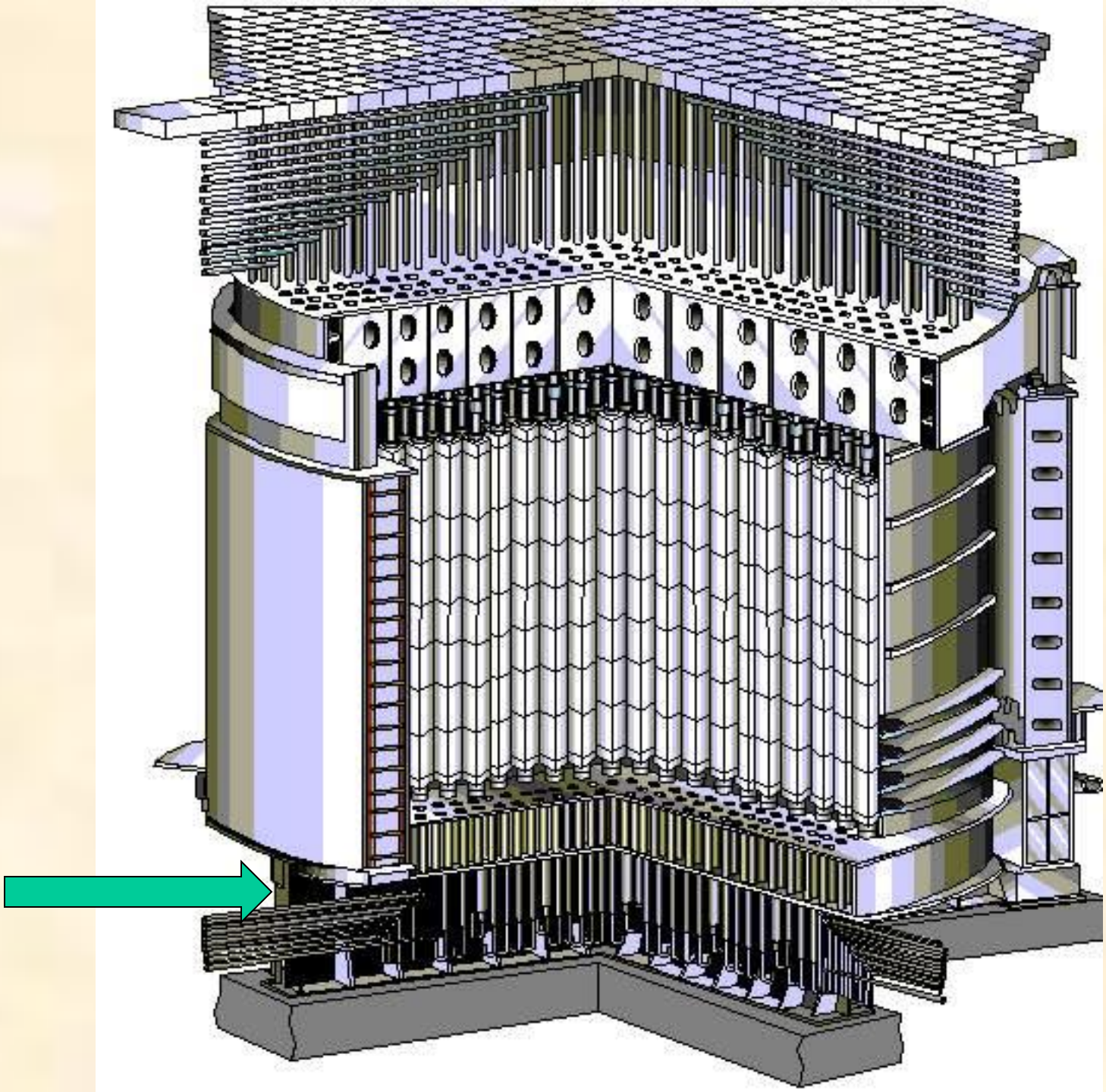
Металлоконструкции выполняют роль **защитных и несущих элементов** конструкции реактора.

Графитовая кладка (сб. 05) размещена внутри герметичного кожуха (схема "КЖ") и **выполняет функцию замедлителя и отражателя нейтронов** и представляет собой вертикально расположенный цилиндр, собранный из отдельных графитовых блоков сечением 250х250, образующих колонны с шагом 250 мм.

Внутри графитовых колонн имеются **вертикальные сквозные отверстия**, для размещения в них технологических каналов, каналов СУЗ и других устройств, обеспечивающих работу реактора.

Какие

- схема "С";
- схема "ОР";
- схемы "Л" и "Д";
- схема "КЖ";
- схема "Е";
- схема "Э";
- схема "Г";
- плитный настил;
- графитовая кладка;
- технологические каналы;
- каналы СУЗ, КД, ДКЭ и КОО;
- тракты телевизионных камер;
- нижние водяные коммуникации;
- паро-водяные коммуникации.



МК схемы **"С"** является **опорной** конструкцией **для схемы "ОР" и нижней частью опирается на закладные части** фундаментной плиты.

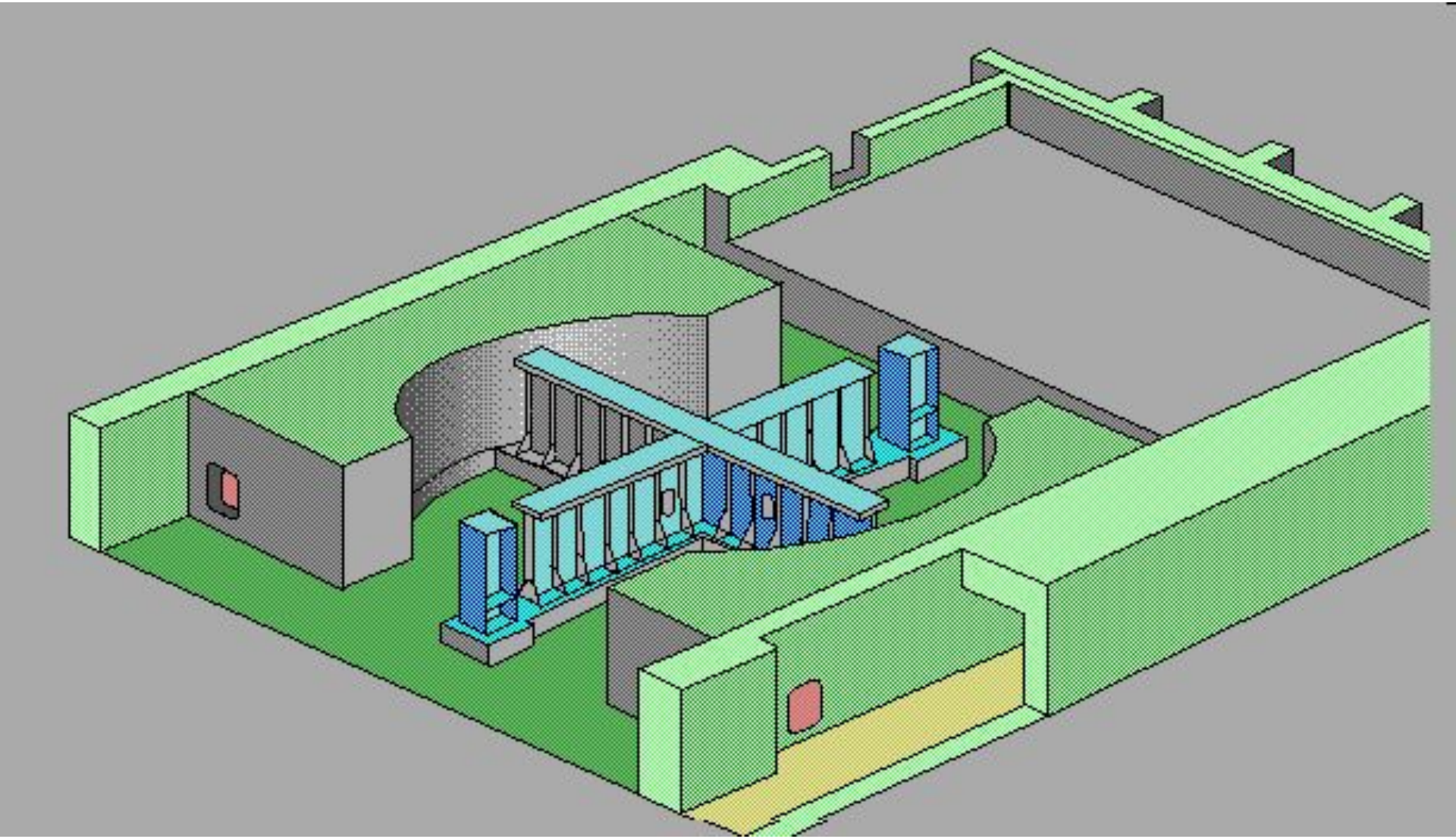
Представляет собой конструкцию, собранную с помощью фланцевых болтовых соединений **из балок-стоек** высотой 5000мм, расположенных по двум взаимно-перпендикулярным плоскостям в виде креста и полностью опирающихся на фундаментную плиту.

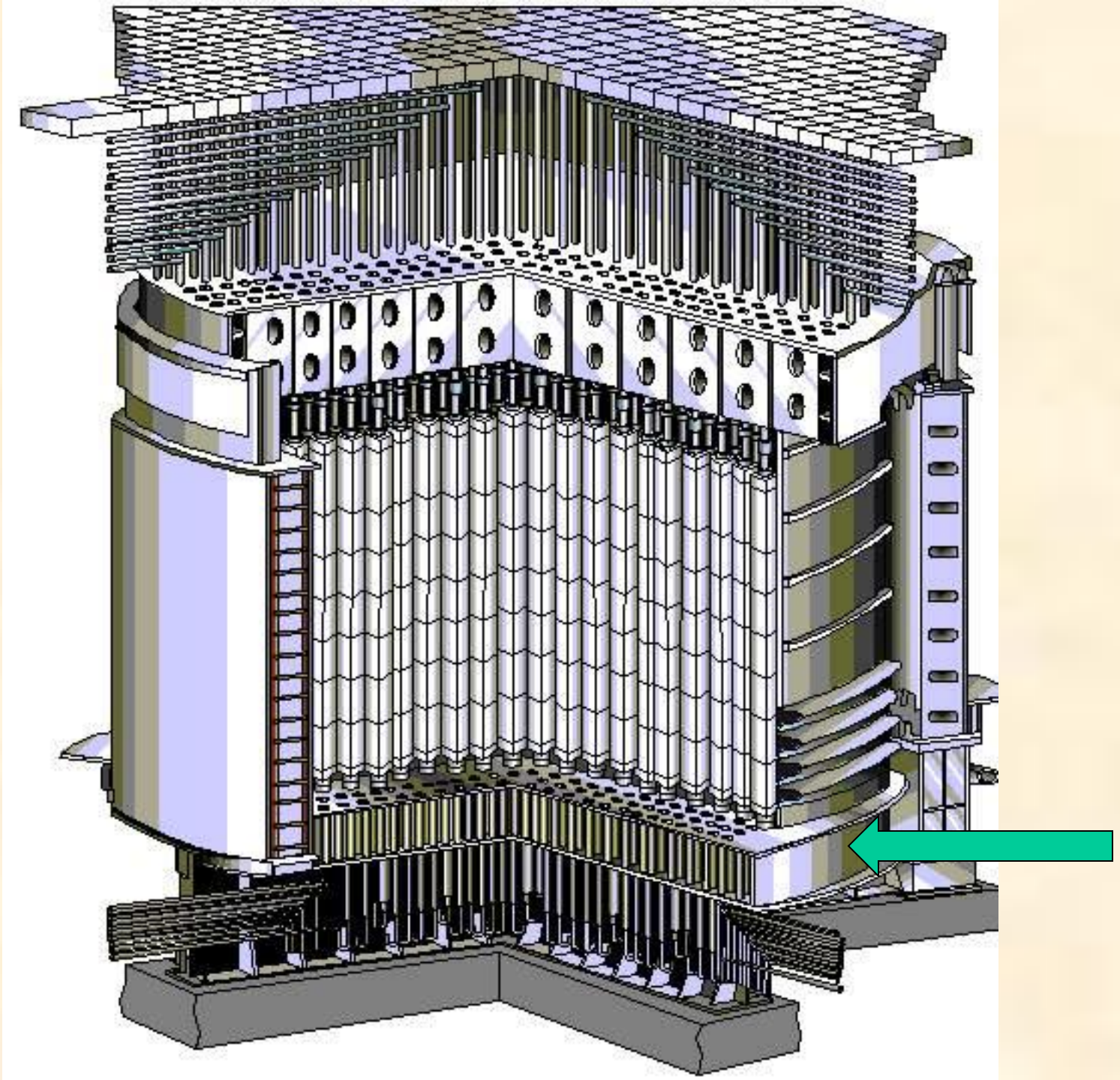
Верхняя часть схемы "С" имеет выступы и **подогнана по поверхности контакта с нижней плитой схемы "ОР".**

Все детали МК схемы "С" изготовлены из стали марки 10ХСНД, фундаментные плиты – из стали марки ВСт3кп2.

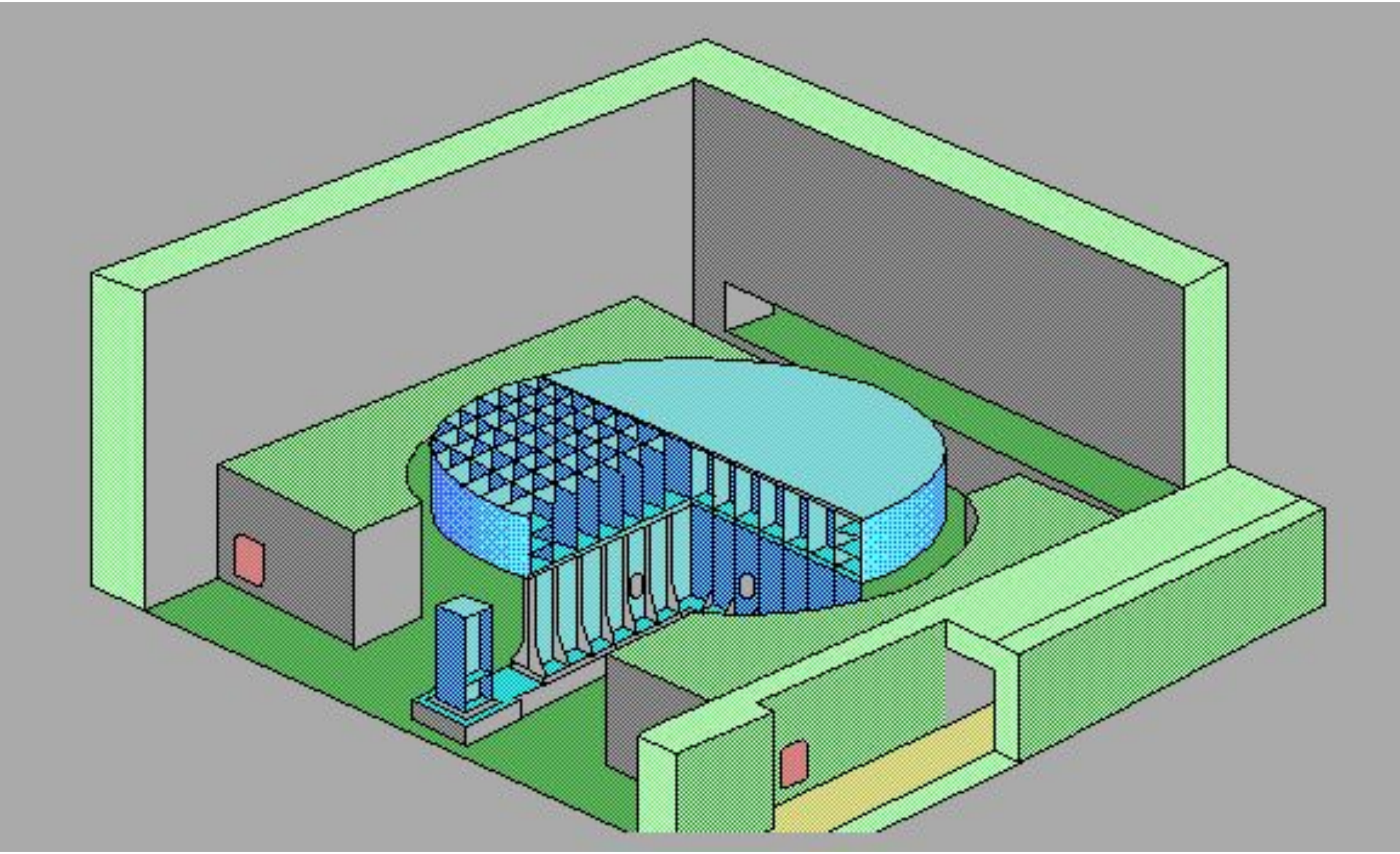
Окружающая среда МК схемы "С"–воздух с относительной влажностью до 80% и температурой до 270^0С.

Металлоконструкция схемы «С»





Металлоконструкция схемы «ОР»

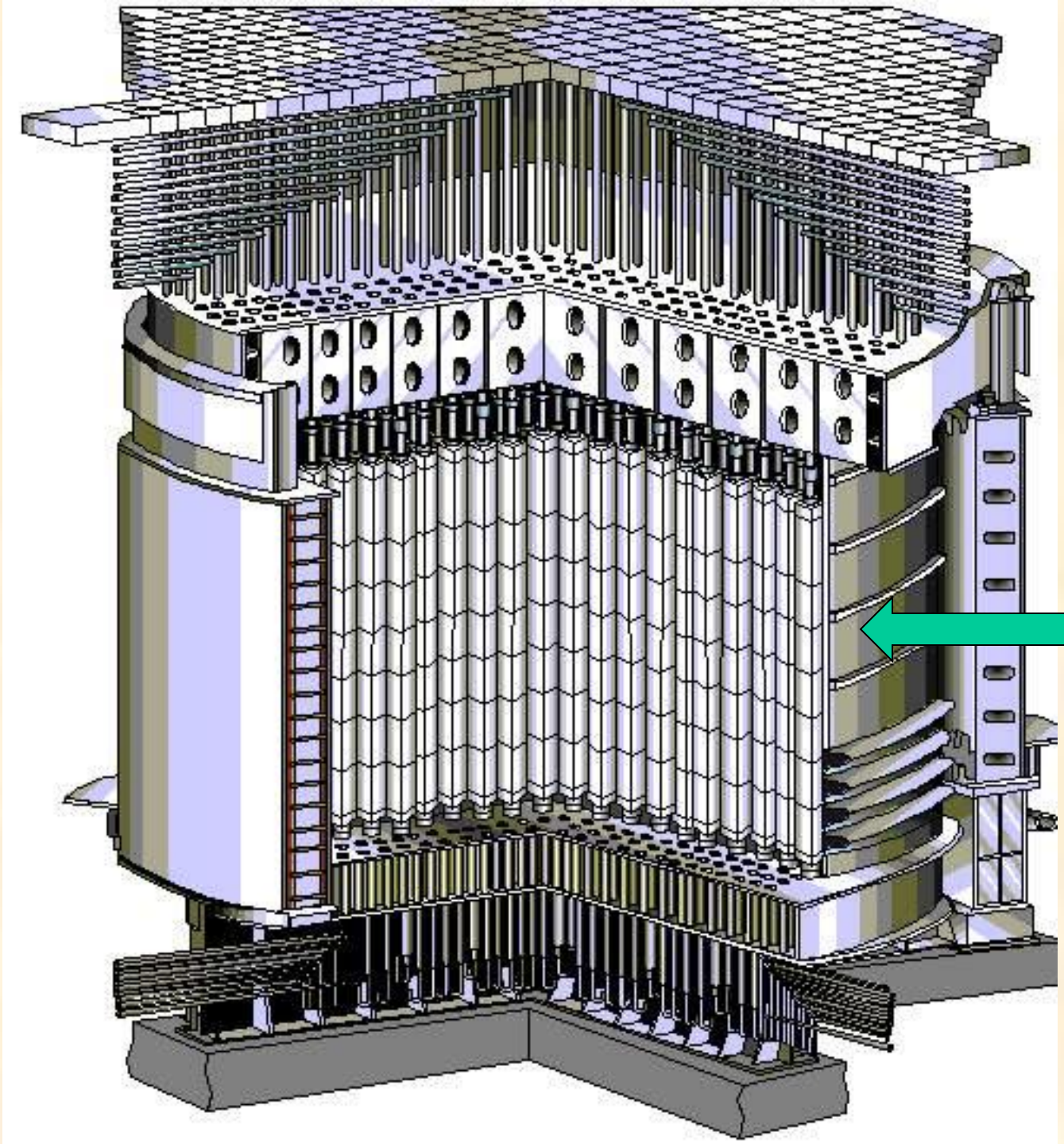


МК схемы **"ОР"** служит **нижней биологической защитой** реактора и **опорой для графитовой кладки, схемы "КЖ" и трубопроводов** коммуникаций низа реактора.

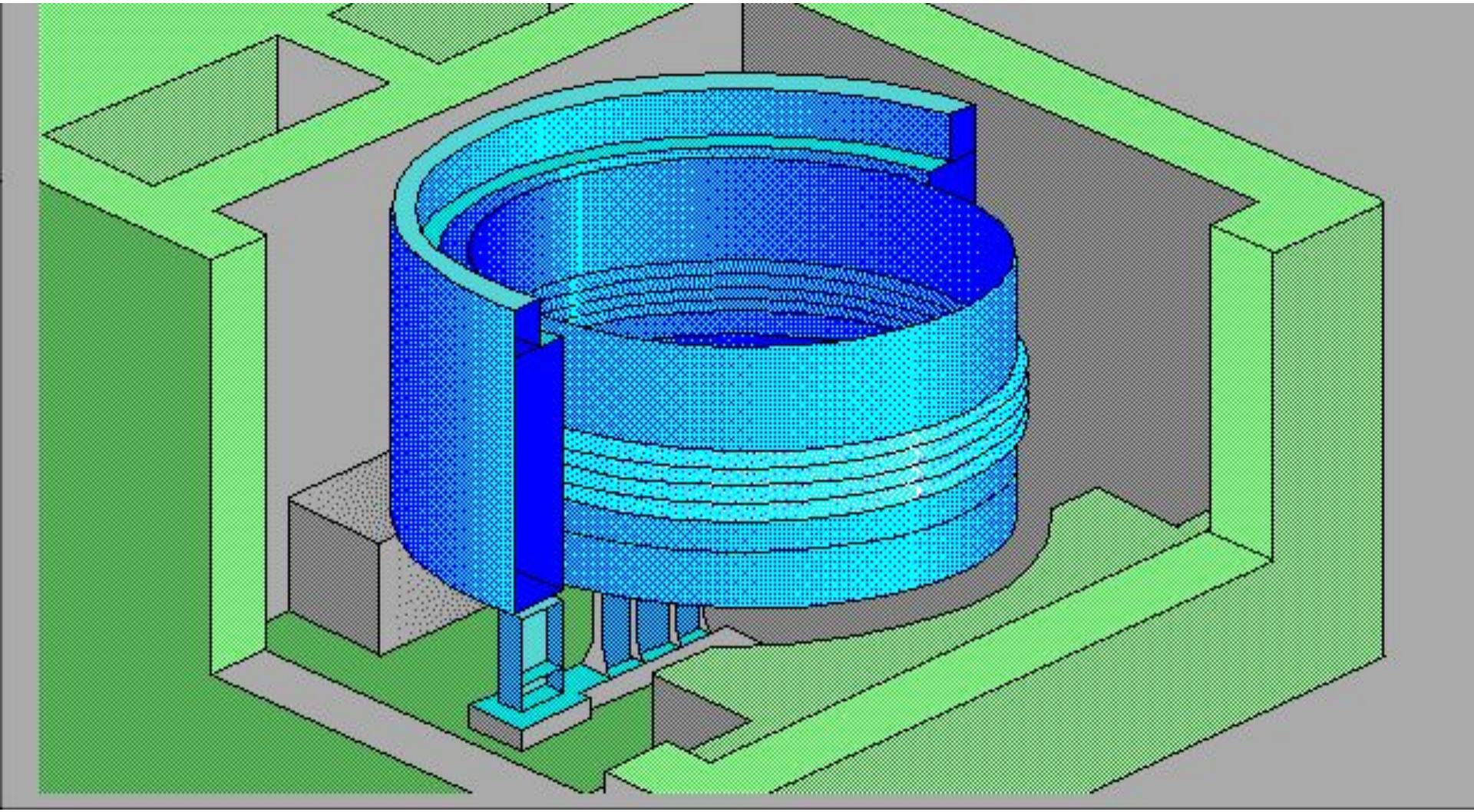
МК схемы **"ОР"** имеет **форму цилиндра** диаметром 14500мм и высотой 2000мм.

В МК схемы "ОР" расположены нижние тракты технологических, специальных каналов, гильзы термопар МК сб.160, трубы подвода гелиево-азотной смеси во внутреннюю полость реактора, трубы отвода паро-газовой смеси из полости реактора, дренажные трубы с верхней плиты и трубы подвода и отвода азота сб.171 из внутренней полости МК схемы "ОР".

Все детали схемы "ОР" изготовлены из стали марки 10ХСНД.

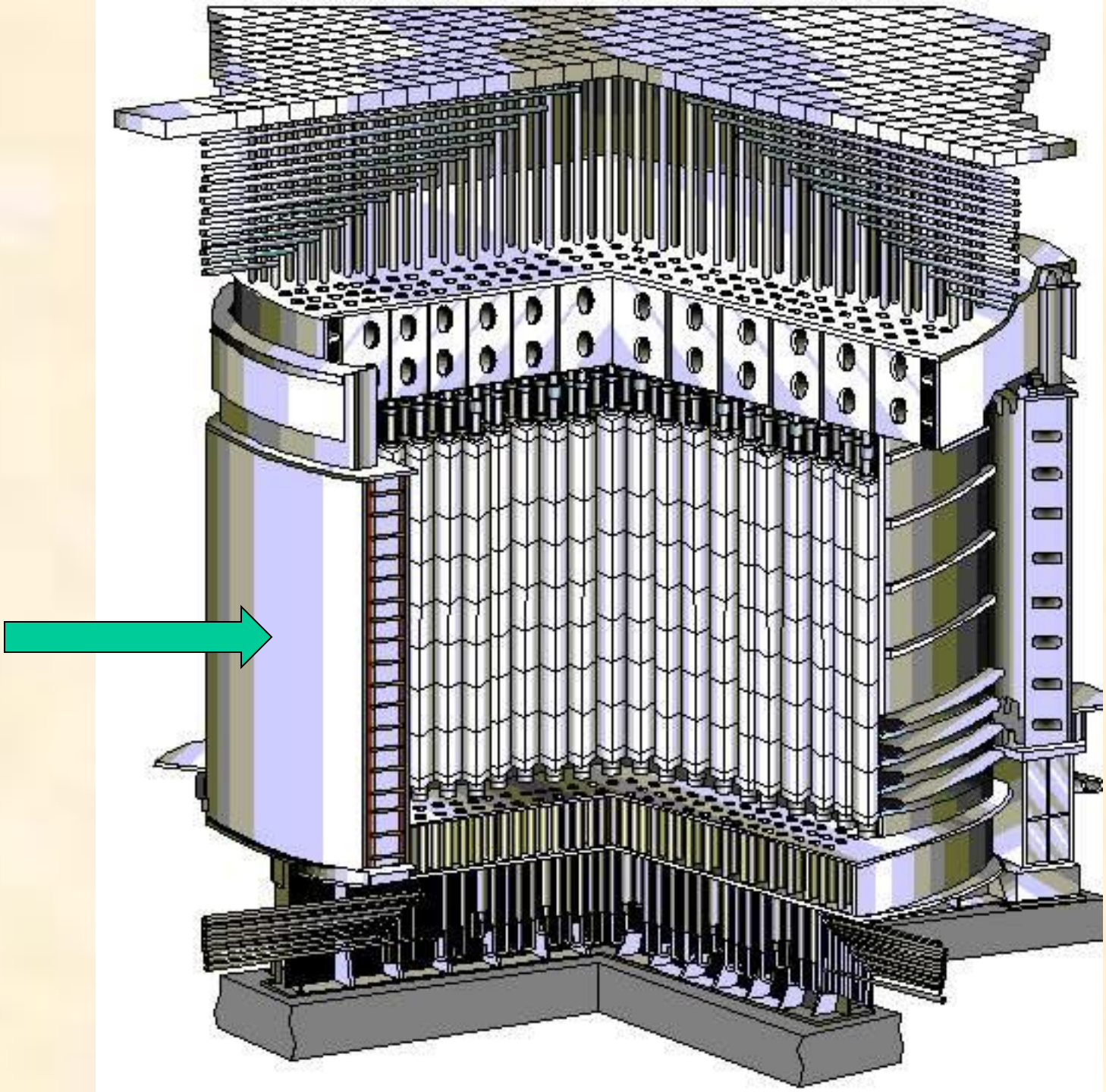


Металлоконструкция схемы "КЖ"

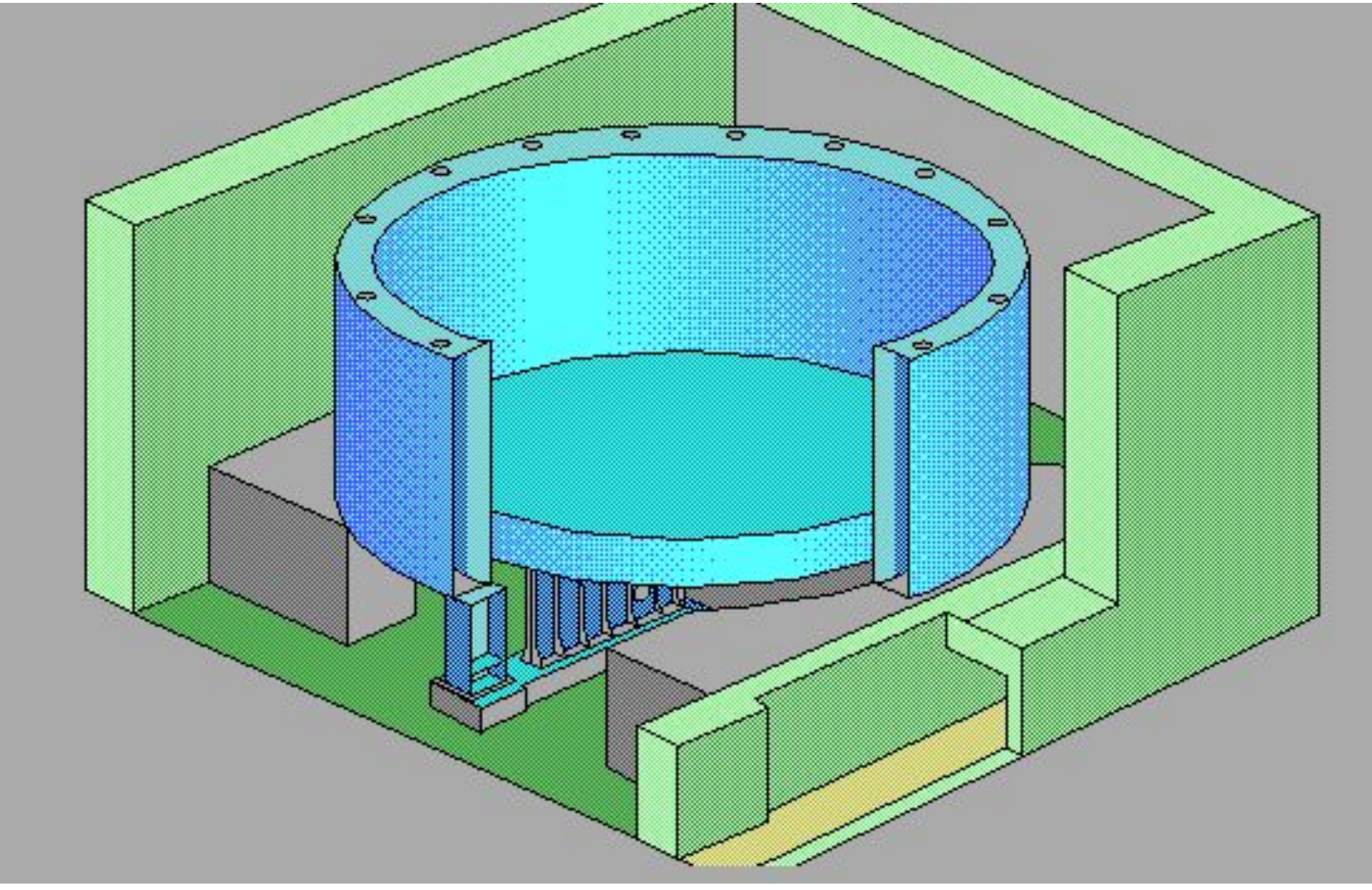


МК схемы **"КЖ"** вместе с нижней плитой схемы "Е" и верхней плитой схемы "ОР" образуют вокруг кладки реактора герметичную полость – реакторное пространство, **(РП)** в котором удерживается гелиево-азотная смесь.

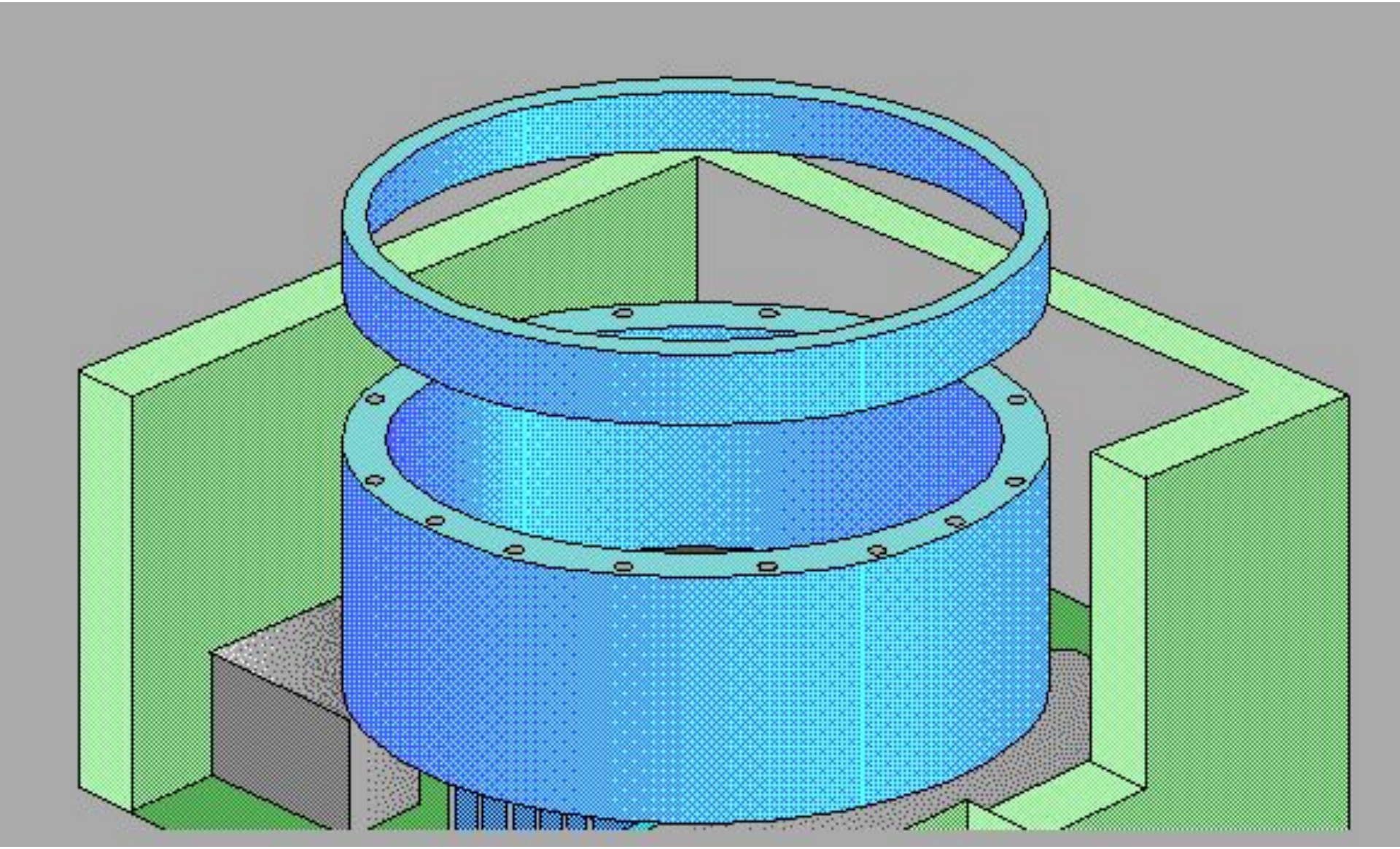
Конструкция схемы **"КЖ"** выполнена в виде **цилиндрического** сварного кожуха **диаметром 14500мм** из листового проката стали марки 10ХСНД **толщиной 16мм** с четырьмя кольцевыми компенсаторами из той же стали толщиной 8мм. По наружной поверхности кожуха приварены кольцевые ребра жесткости.



Металлоконструкция схемы«Л»



Металлоконструкция схемы«Л» и «Д»

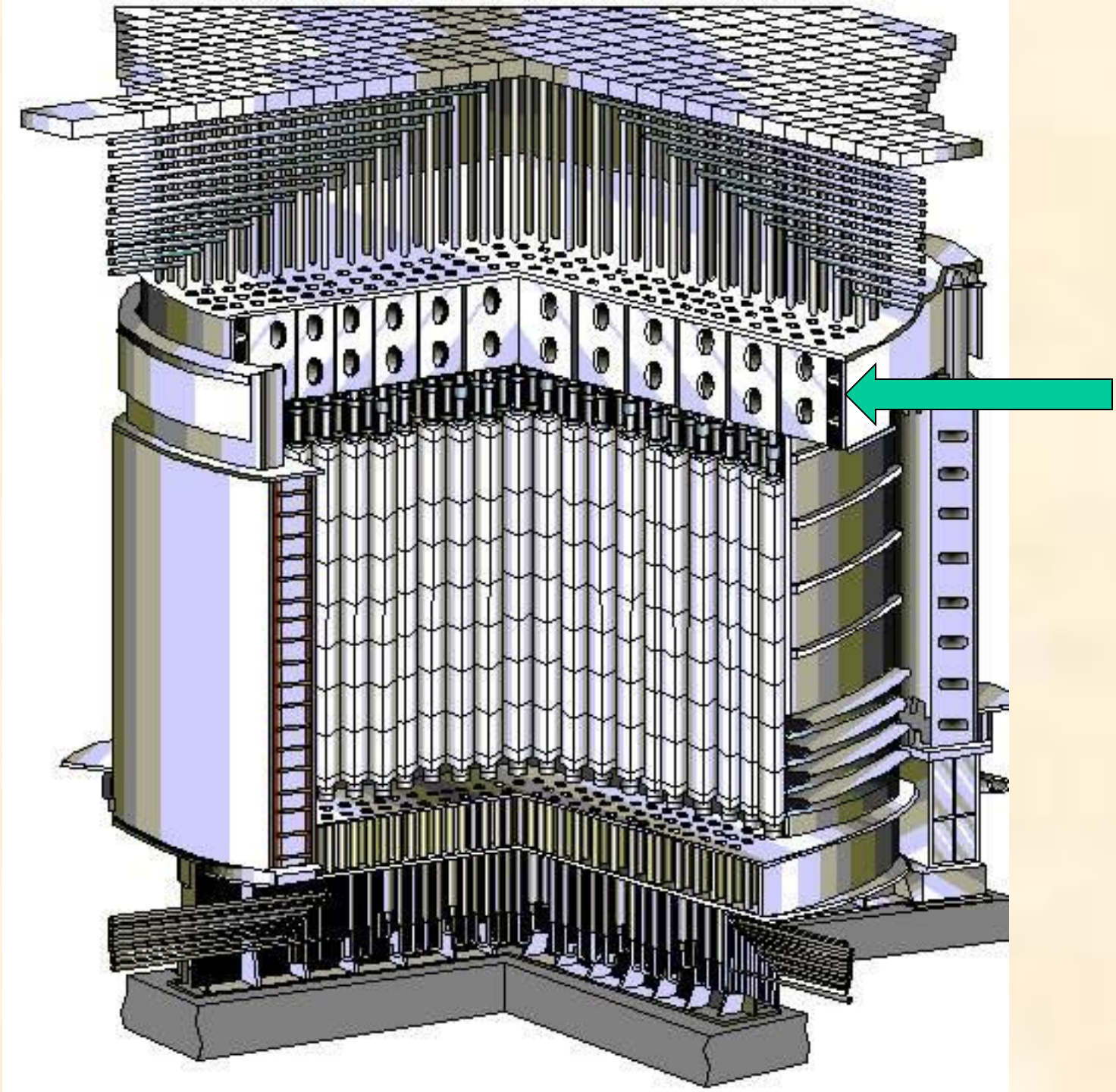


МК схем **"Л" и "Д"** являются **боковой биологической защитой** реактора. МК схемы **"Л"** являются также **опорной конструкцией для схемы "Е".**

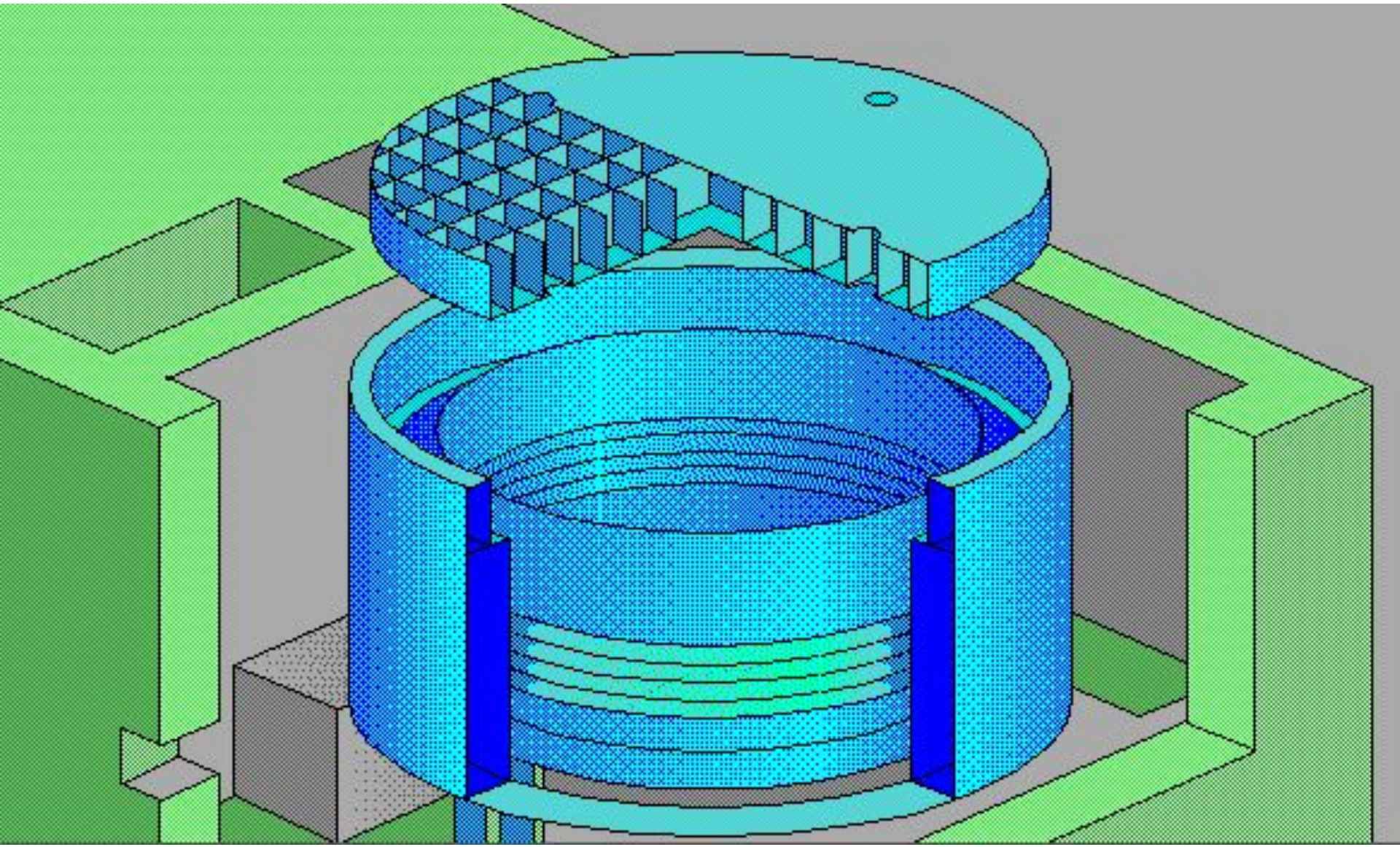
МК схем "Л" и "Д" имеют **форму полых кольцевых резервуаров**, заполненных водой и разделенных перегородками на 16 отсеков. Наружный диаметр блоков МК схем "Л" и "Д" равен 19000мм, внутренний диаметр блоков МК схемы "Л" – 16600мм, схемы "Д" – 17800мм. Высота блоков МК схемы "Л" – 11050мм, схемы "Д" – 3200мм.

Все элементы МК схем "Л" и "Д" изготовлены из стали марки 10ХСНД.

В МК схем "Л" и "Д" размещены каналы РИК и ПИК, дренажные трубы и гильзы термопар сб.172(по одной на каждый отсек) для замера температуры воды в отсеках.



Металлоконструкция схемы "Е"



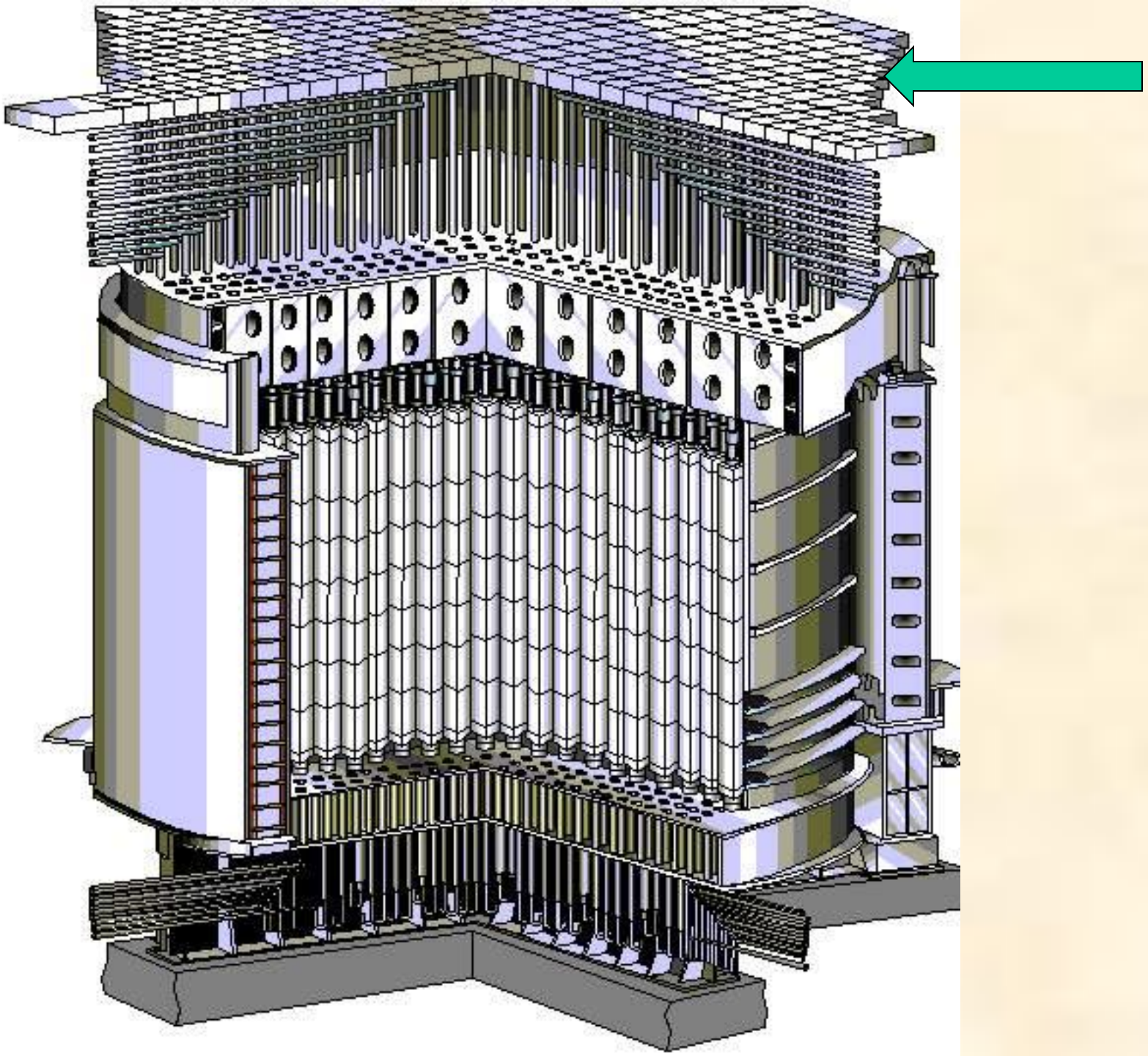
МК схемы **"Е"** служит **верхней биологической защитой** реактора **и опорой** для труб верхних частей **трактов** каналов ТК, специальных каналов, плитного настила и трубопроводов коммуникаций верха реактора. **Выполнена в форме цилиндра диаметром 17370 мм и высотой 3000мм**.

Состоит из цилиндрической обечайки, верхней и нижней плит толщиной 40мм, внутренних ребер жесткости. Материал МК – сталь 10ХСНД. В МК схемы "Е" вварены верхние части трактов технологических и специальных каналов (кроме каналов РИК и ПИК), тракты телевизионных камер сб.45, гильзы термопар МК сб.160, трубы отвода ПГС из внутренней полости реактора, а также трубы подвода и отвода азота сб.171. Внутренняя полость МК схемы "Е" при монтаже заполняется смесью из серпентинита (60% по массе) и гали (40% по массе). МК схемы "Е" опирается на МК схемы "Л" с помощью 16 катковых опор сб.08, каждая из которых расчитана на нагрузку 750т.

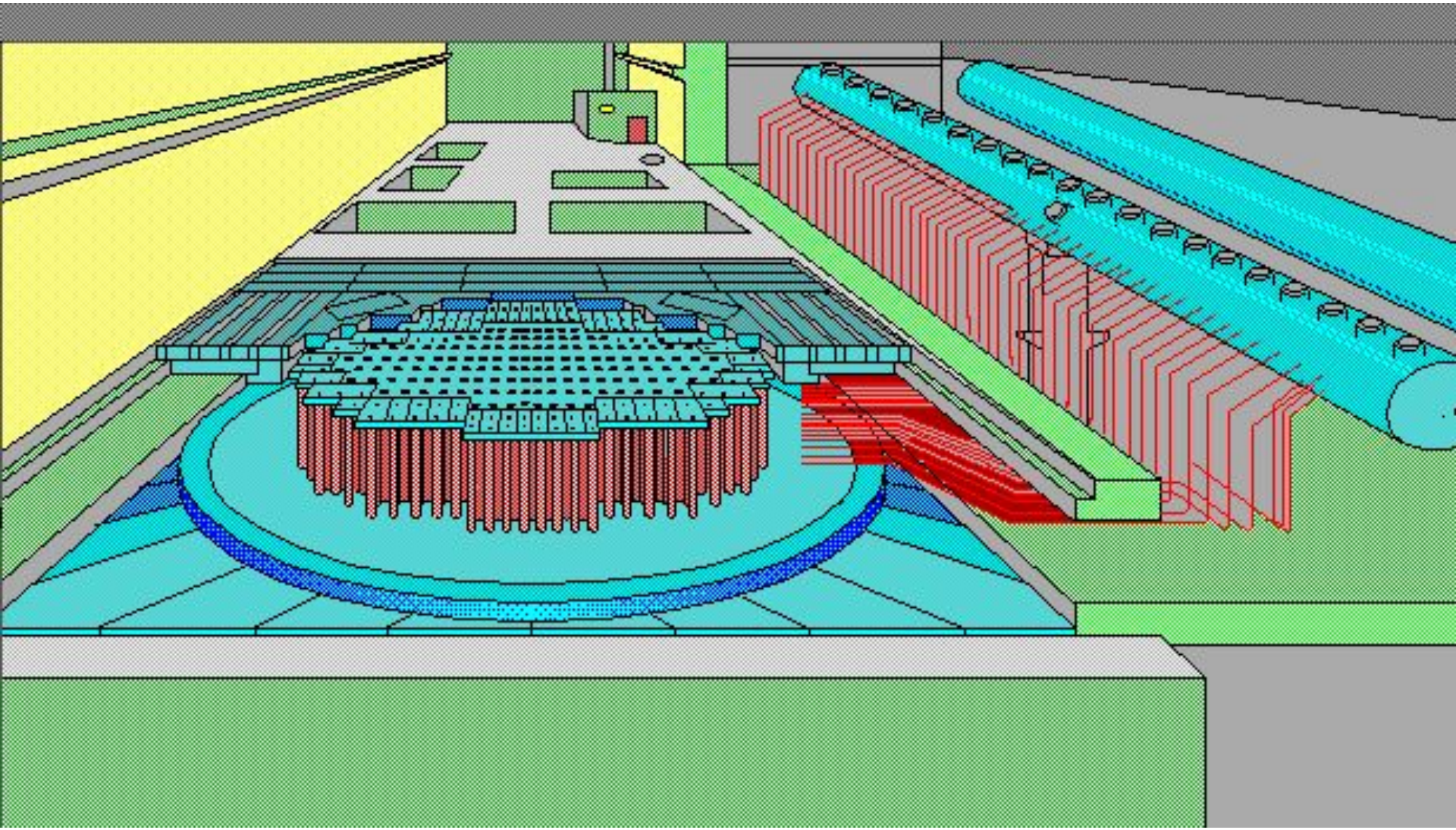
Пространство между внутренним цилиндром МК схемы "Л" и МК схемы "КЖ" заполнено азотом.

Монтажное пространство, образованное внешним цилиндром МК схем "Л" и "Д" и шахтой реактора заполнено песком, который служит дополнительной биологической защитой.

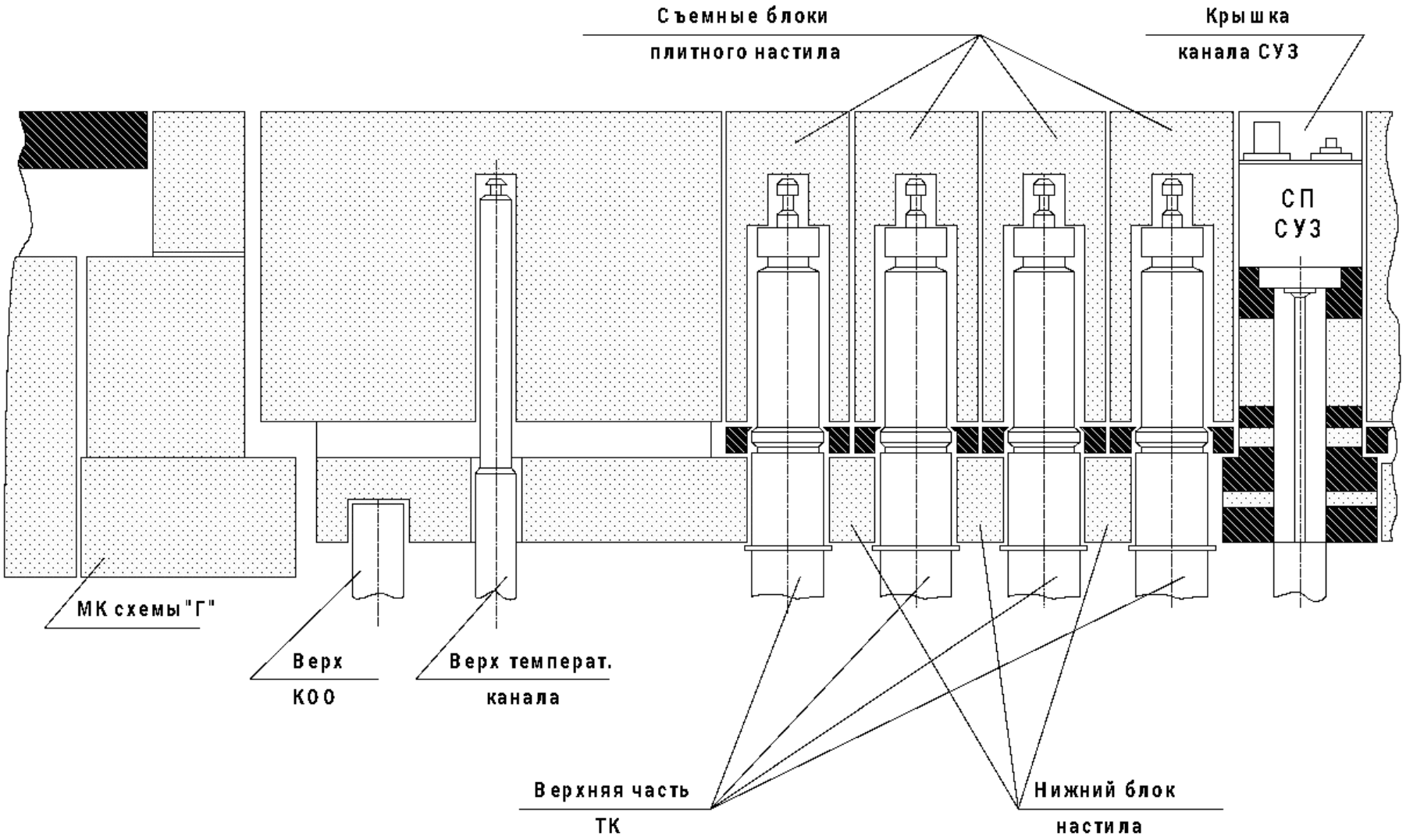
Нижняя часть монтажного пространства заполнена щебнем (200-400мм) для исключения попадания песка в отверстия дренажной трубы Ду150.



Металлоконструкция схемы " Г "



Плитный настил



МК схемы **"Г"** представляет собой **плиты и короба** перекрытий и предназначена **для биологической защиты** центрального зала **от ионизирующего излучения коммуникаций верха реактора**.

Верхняя часть МК схемы **"Г"** выполнена **из плит** углеродистой стали марки ВСт3кп2 толщиной **100мм,** облицованных со стороны центрального зала листовой коррозийно-стойкой сталью 0Х18Н10Т толщиной 5мм.

Нижняя часть **толщиной 700мм** представляет собой металлические (сталь 10ХСНД) **короба и балки**, заполненные смесью серпентинитовой гали (14% по массе) и чугунной или стальной дроби (86% по массе) диаметром 2-3мм.

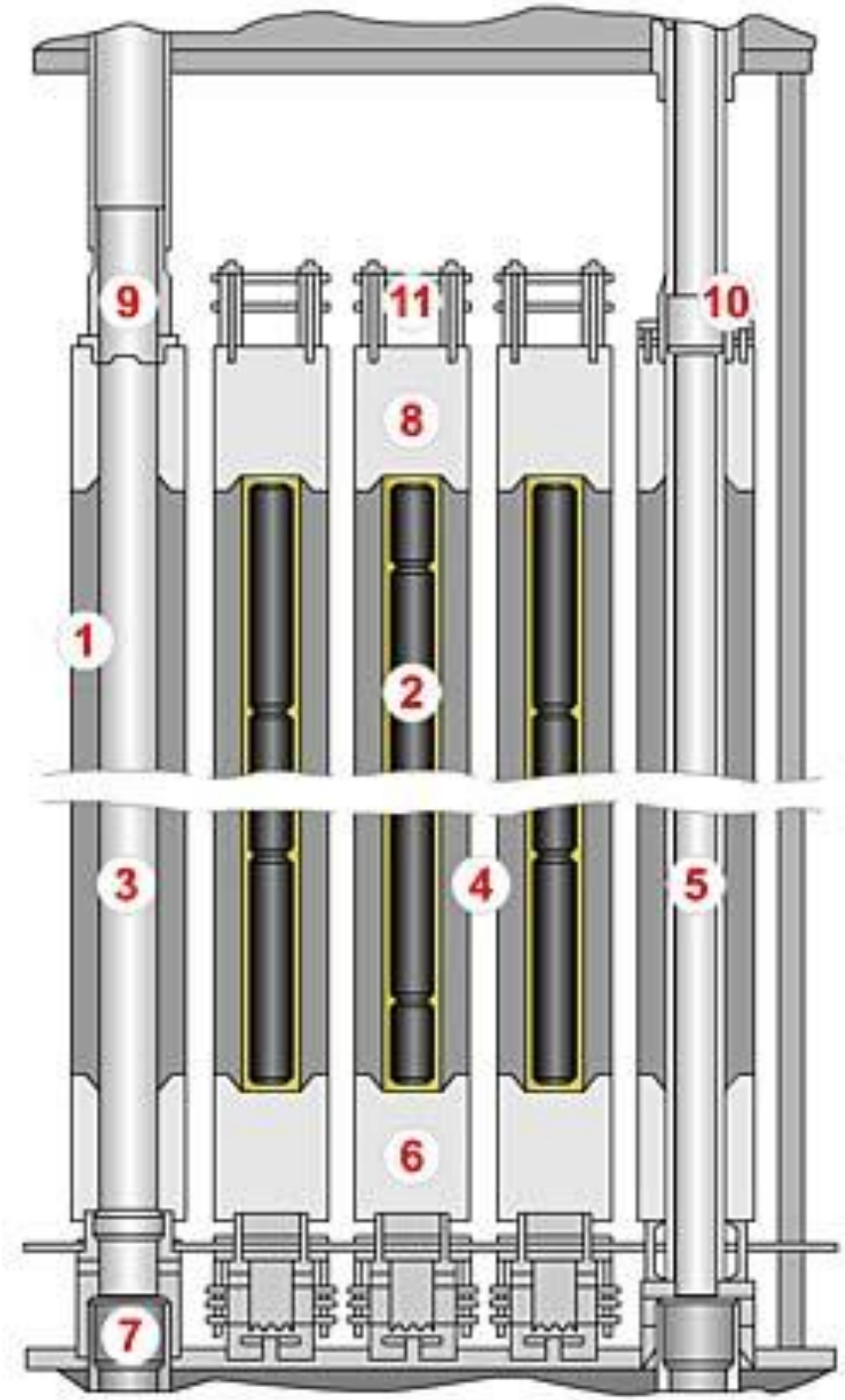
Плитный настил **сб.11 служит биологической защитой центрального зала (ЦЗ)** от ионизирующих излучений коммуникаций верха реактора и ТВС при извлечении ее из ТК, а также является тепловой защитой центрального зала. **Верхние блоки** настила образуют **пол ЦЗ** в районе расположения каналов.

Плитный настил **состоит из верхней съемной** части и **нижней стационарной** части, которые опираются на тракты ТК и КОО.

Верхние блоки выполнены индивидуально для каждого тракта, нижние укрупнены и каждый опирается на три стояка.

Графитовая кладка размещена **внутри** защитного кожуха схемы **"КЖ"** и представляет собой вертикально расположенный цилиндр диаметром 14000мм и высотой 8000мм, собранный из отдельных графитовых блоков в 14 слоев, образующих 2488 колонн с шагом 250мм.

Четыре периферийных ряда колонн по всей окружности кладки выполняют **функции отражателя**. **Внутри графитовой кладки** формируется **активная зона** с помощью технологических каналов и каналов СУЗ, которые проходят по оси графитовых колонн, образующих квадратную решетку с шагом 250мм.

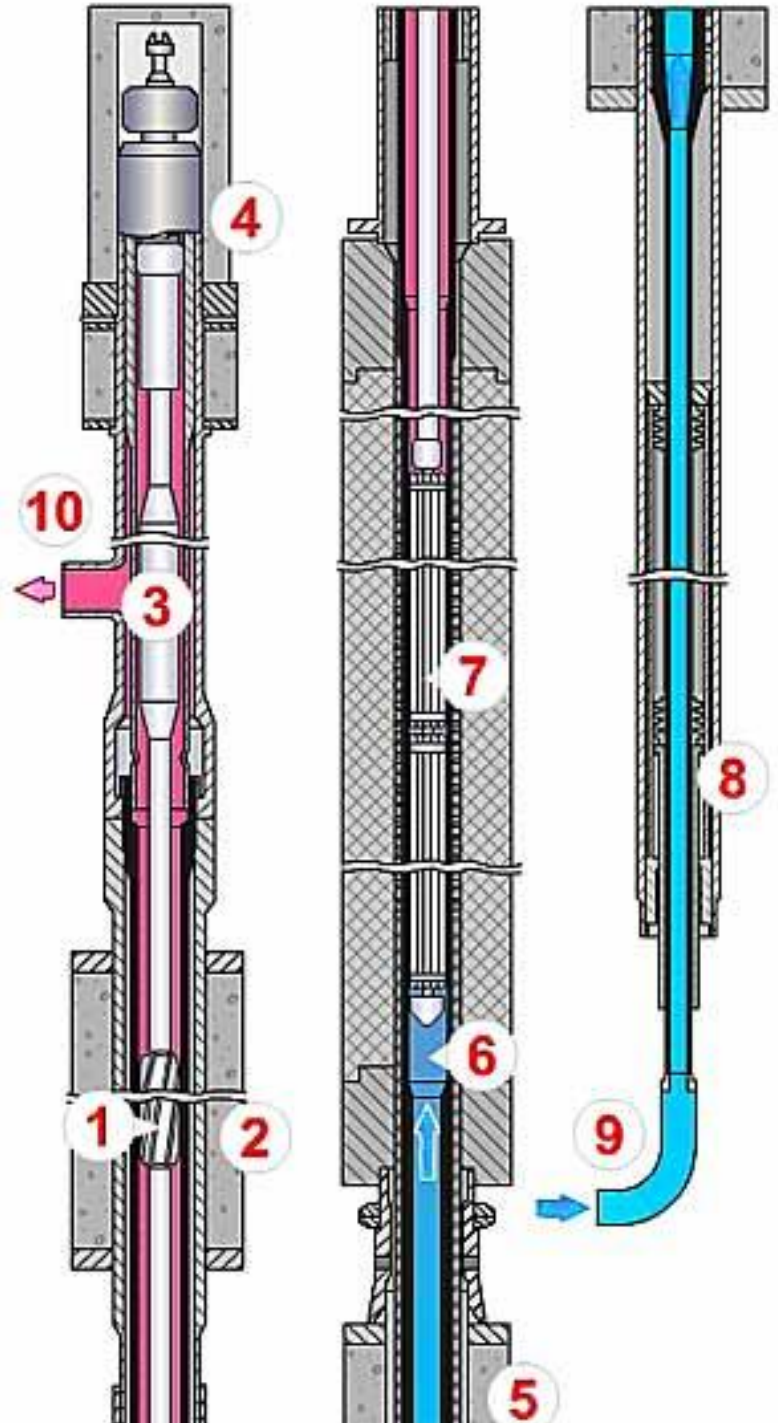

9
11
10
8
1
2
3
4
5
6
7

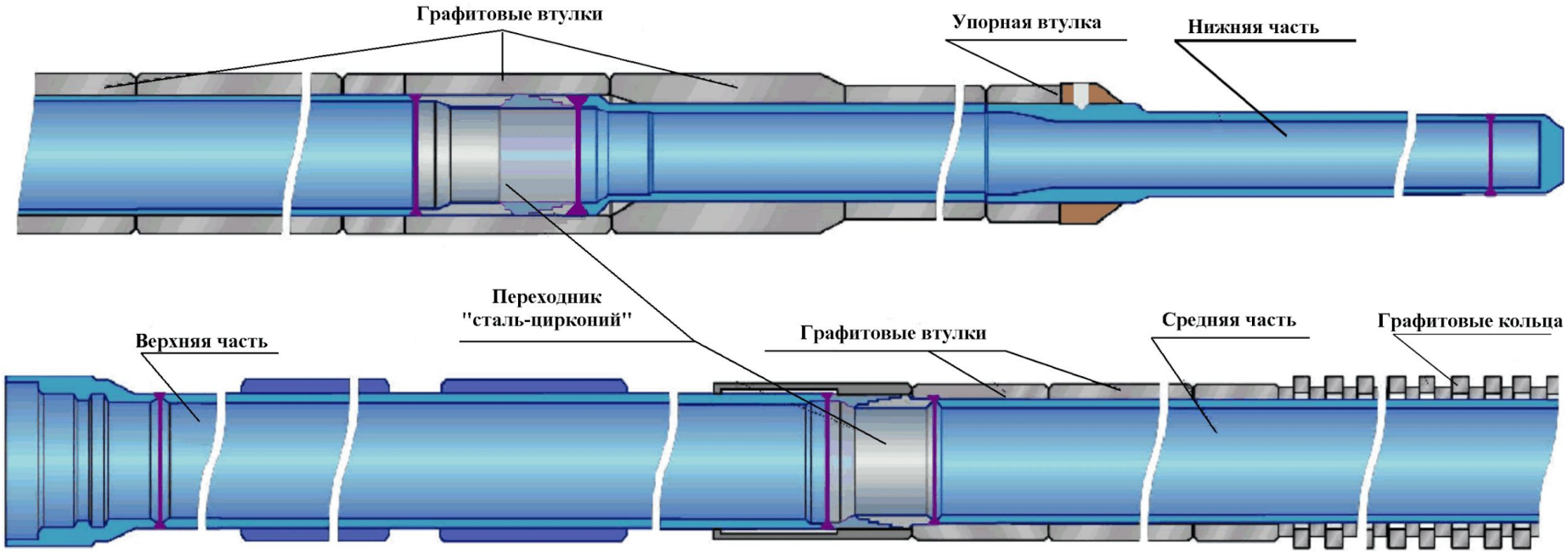
Активная зона имеет форму вертикального цилиндра диаметром **12 м** и высотой **7м**. Она окружена боковым отражателем толщиной 1м и торцевым отражателем толщиной 0,5м.

В состав **активной зоны** входит:

- топливная загрузка;
- технологические каналы;
- каналы СУЗ и КОО;
- стержни СУЗ и другие поглотители;
- теплоноситель;
- графитовая кладка

Канал технологический (ТК)

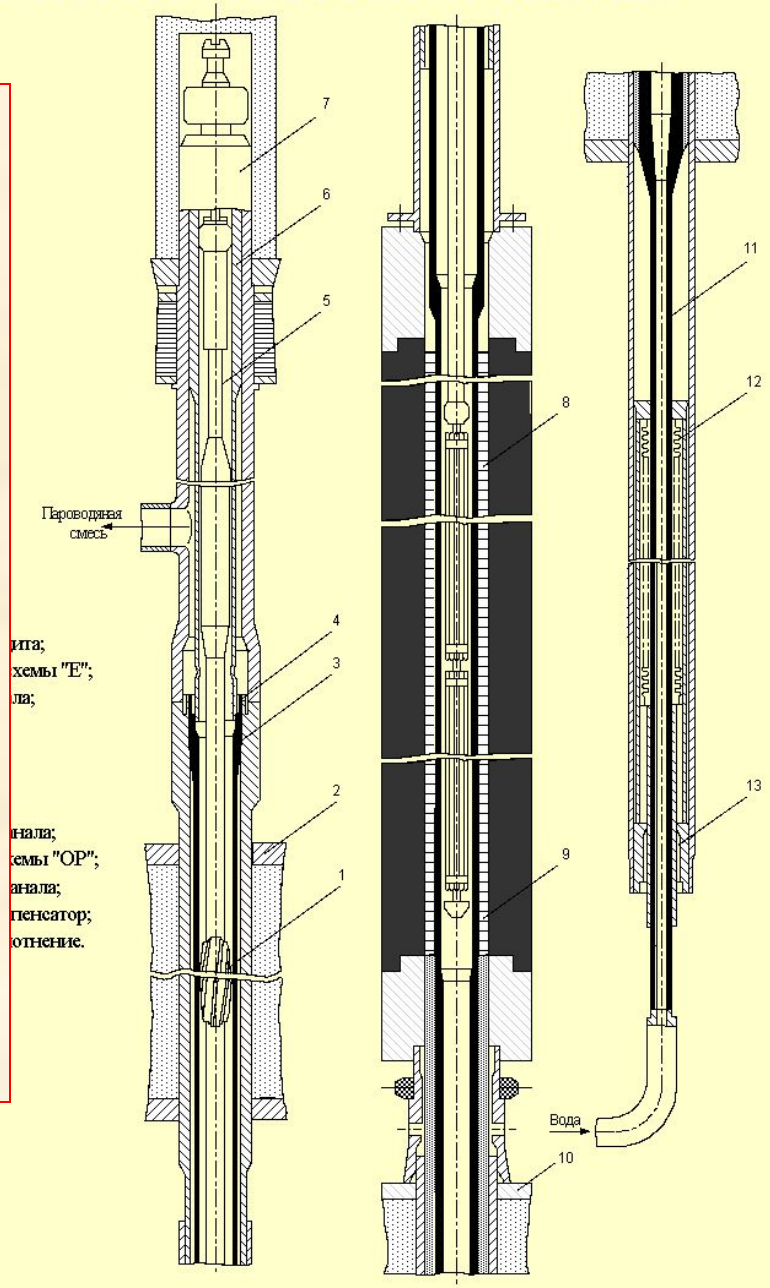




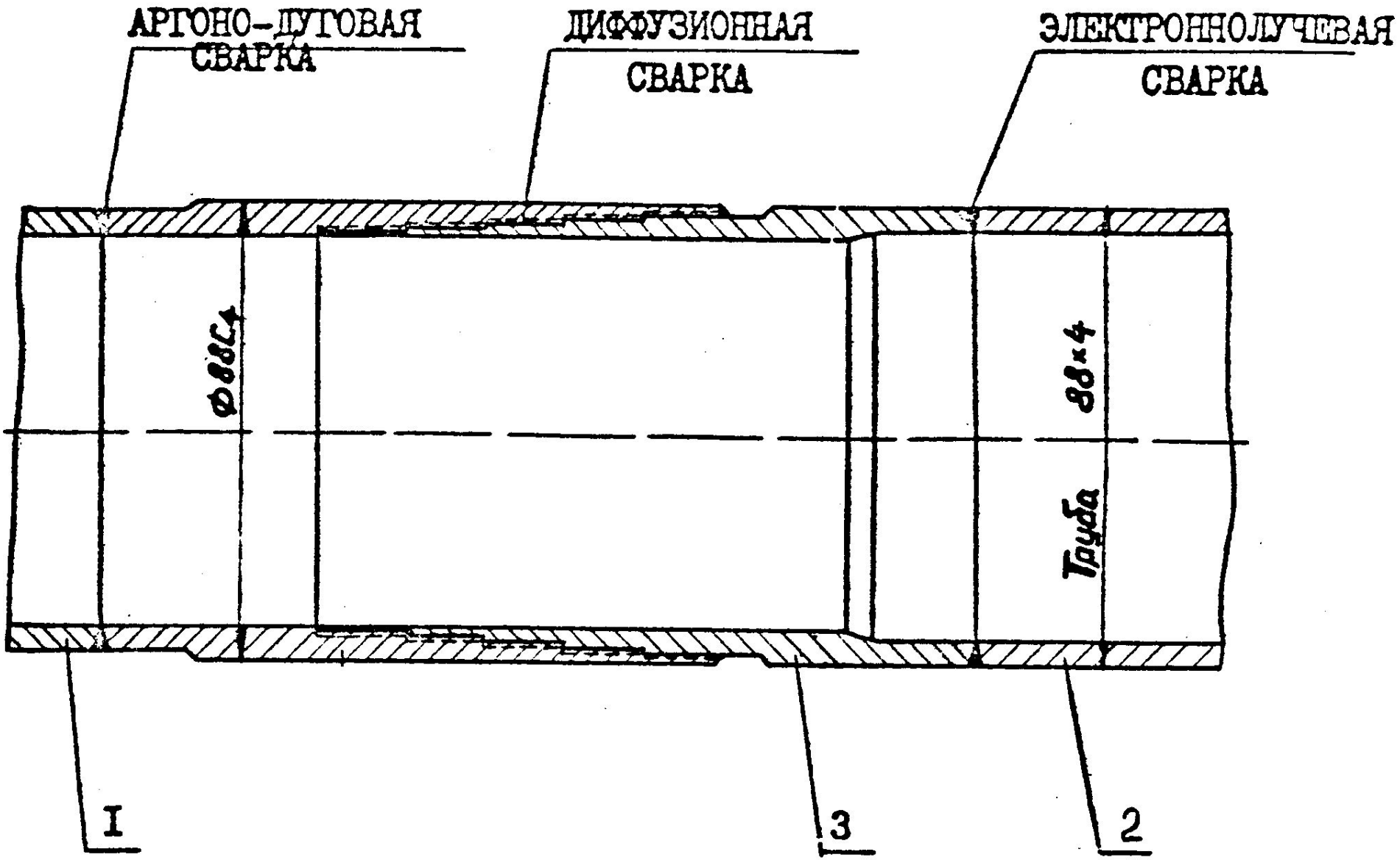
Корпус технологического канала

Технологический канал

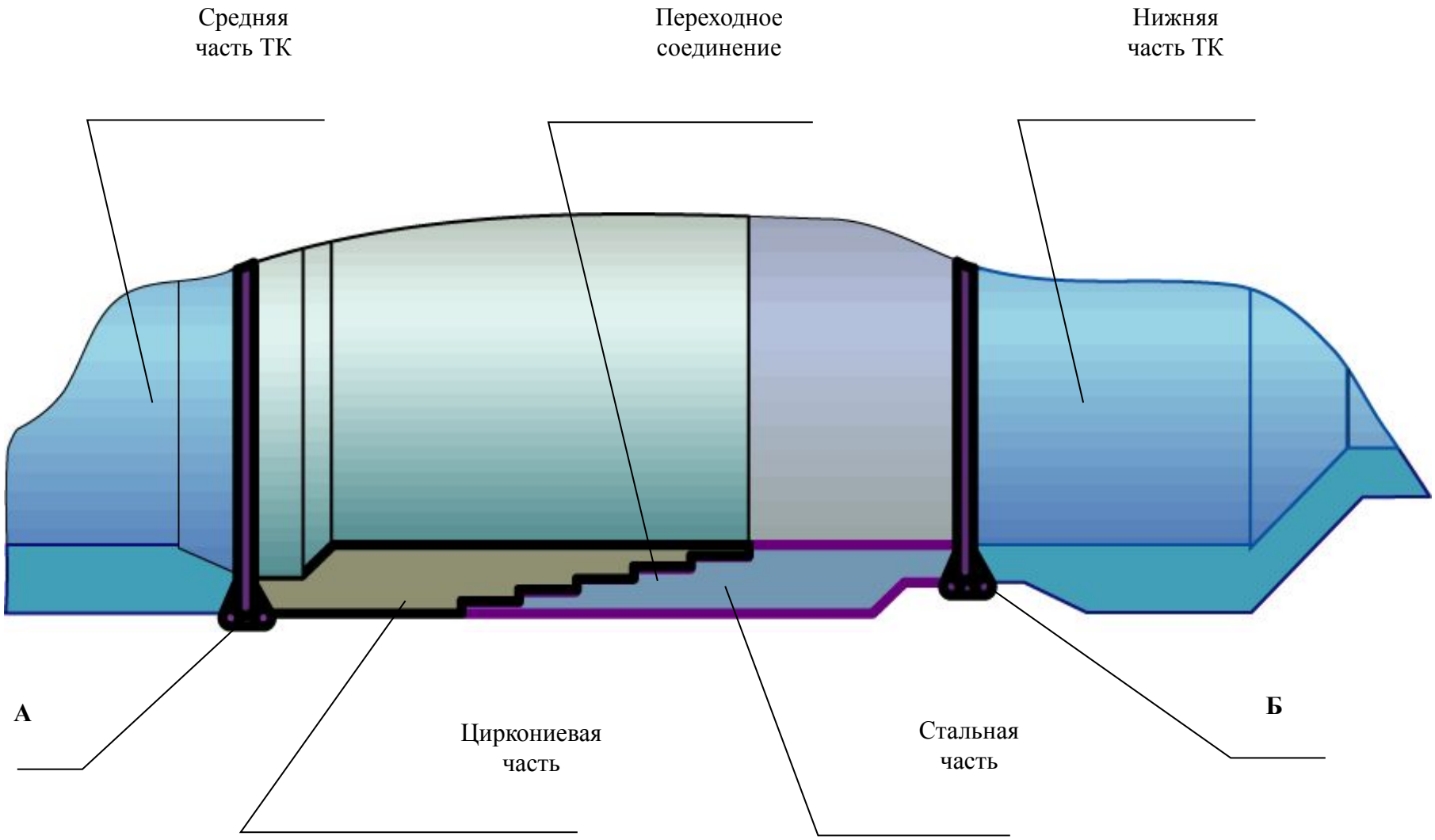
Центральная труба изготовлена из циркониевого сплава марки 125 (Zr+2,5%Nb). Выбор циркониевого сплава обусловлен тем, что при относительно малом сечении поглощения тепловых нейтронов этот сплав имеет при повышенной температуре удовлетворительные механические свойства. Кроме того, этот сплав имеет высокую коррозийную стойкость за счет образования защитных окисных пленок

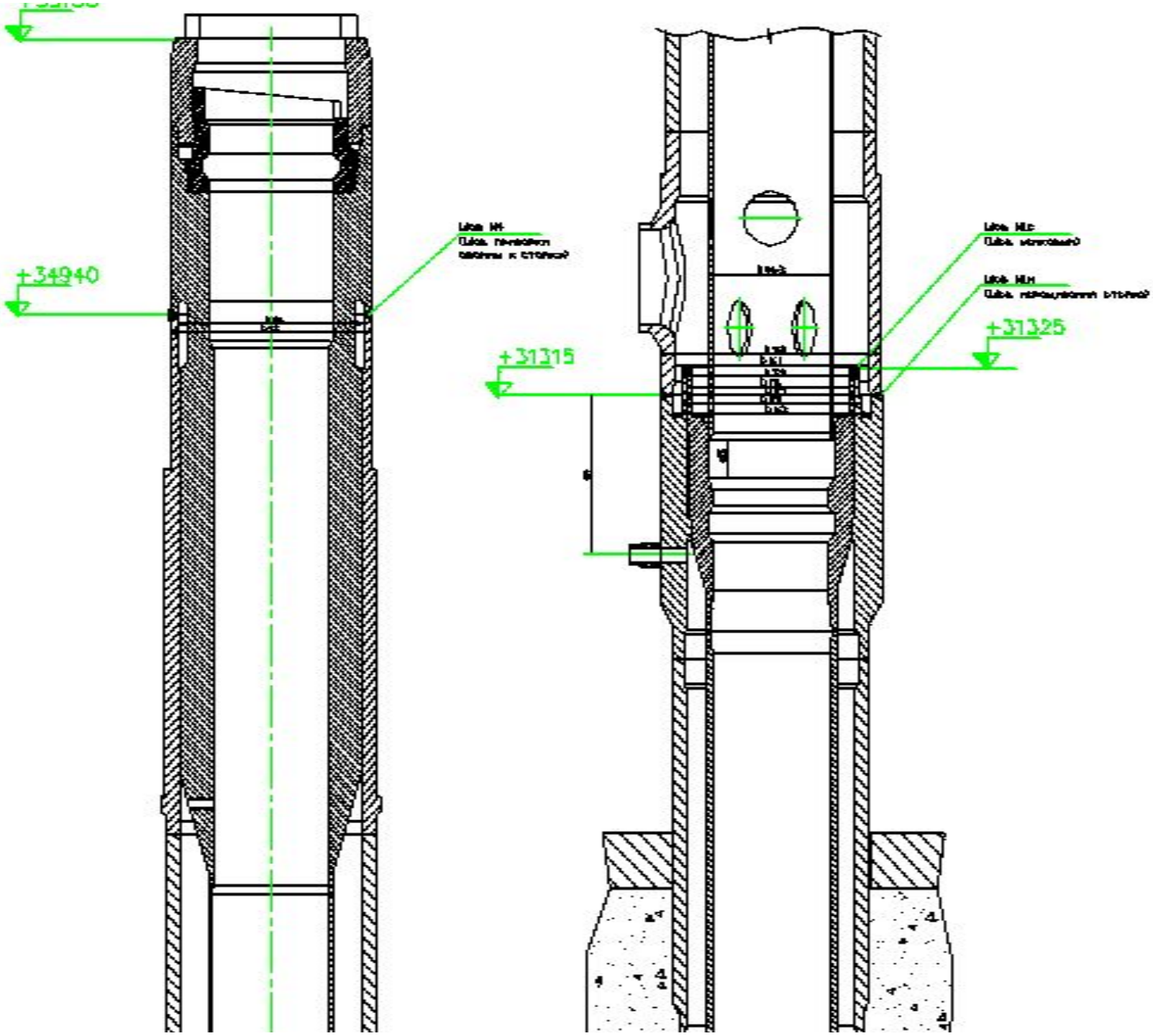


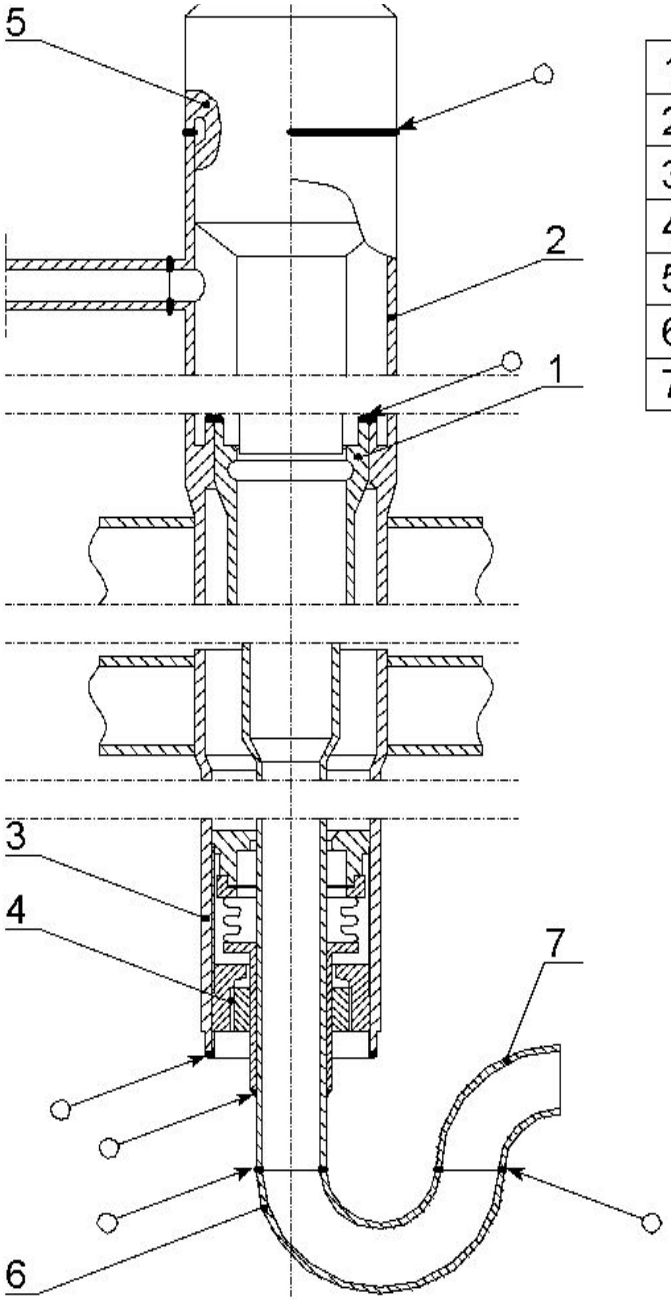
Переходник сталь-цирконий



Переходник сталь-цирконий



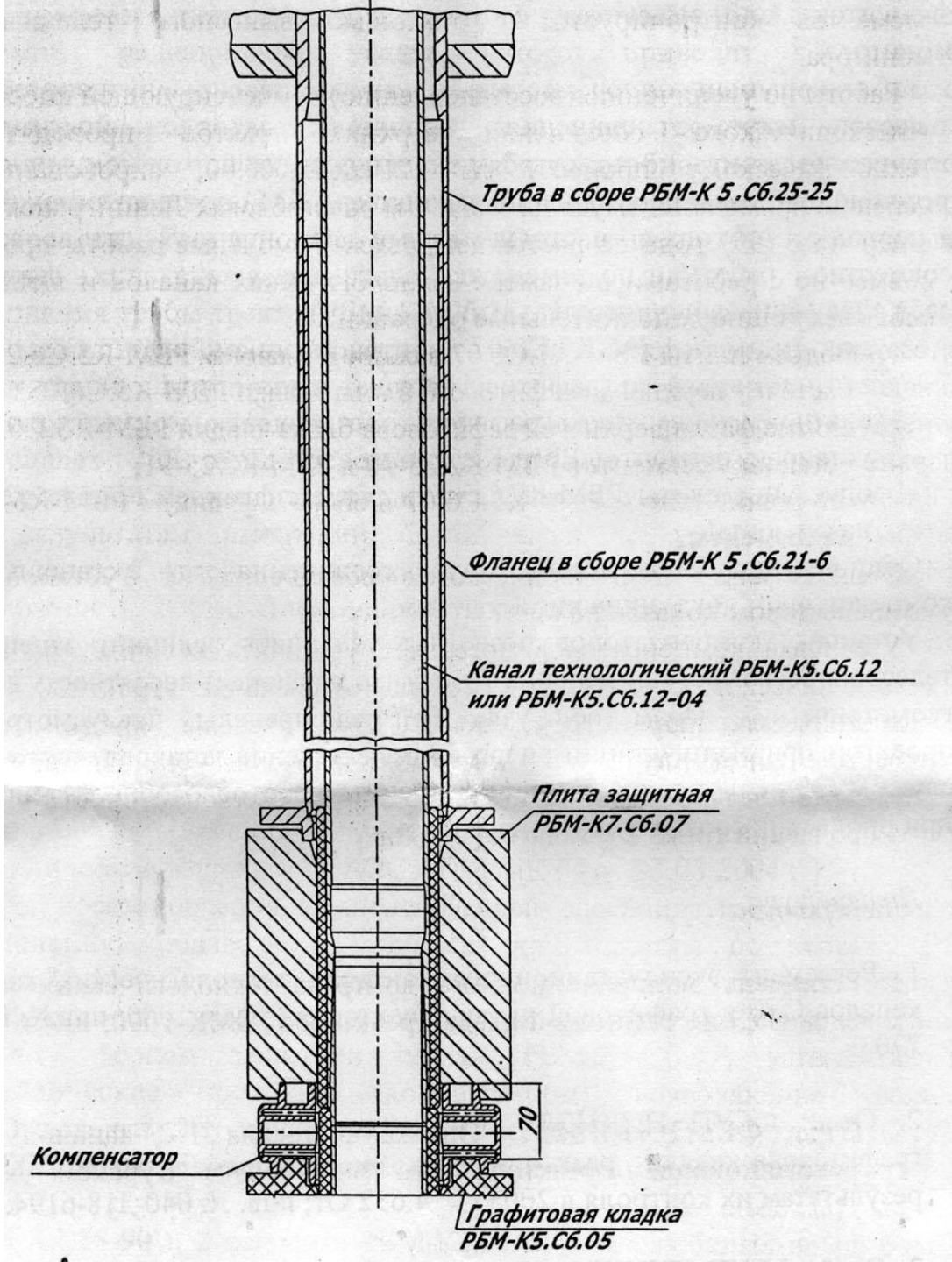

+34940
+31315
+31325



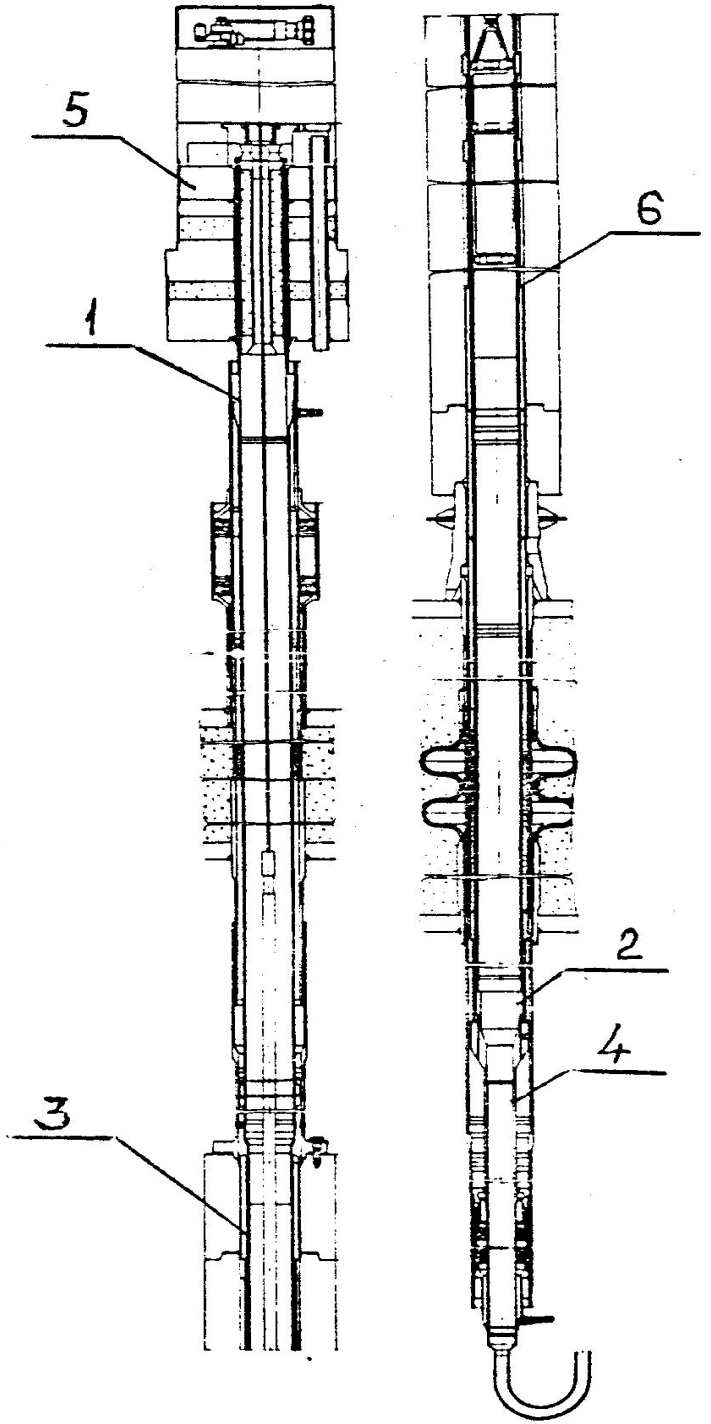
1	технологический канал
2	верхний тракт ТК
3	нижний тракт ТК
4	сильфонный компенсатор
5	обойма верхнего тракта ТК
6	"калач"
7	трубопровод НВК

Схема сварных соед. при замене ТК

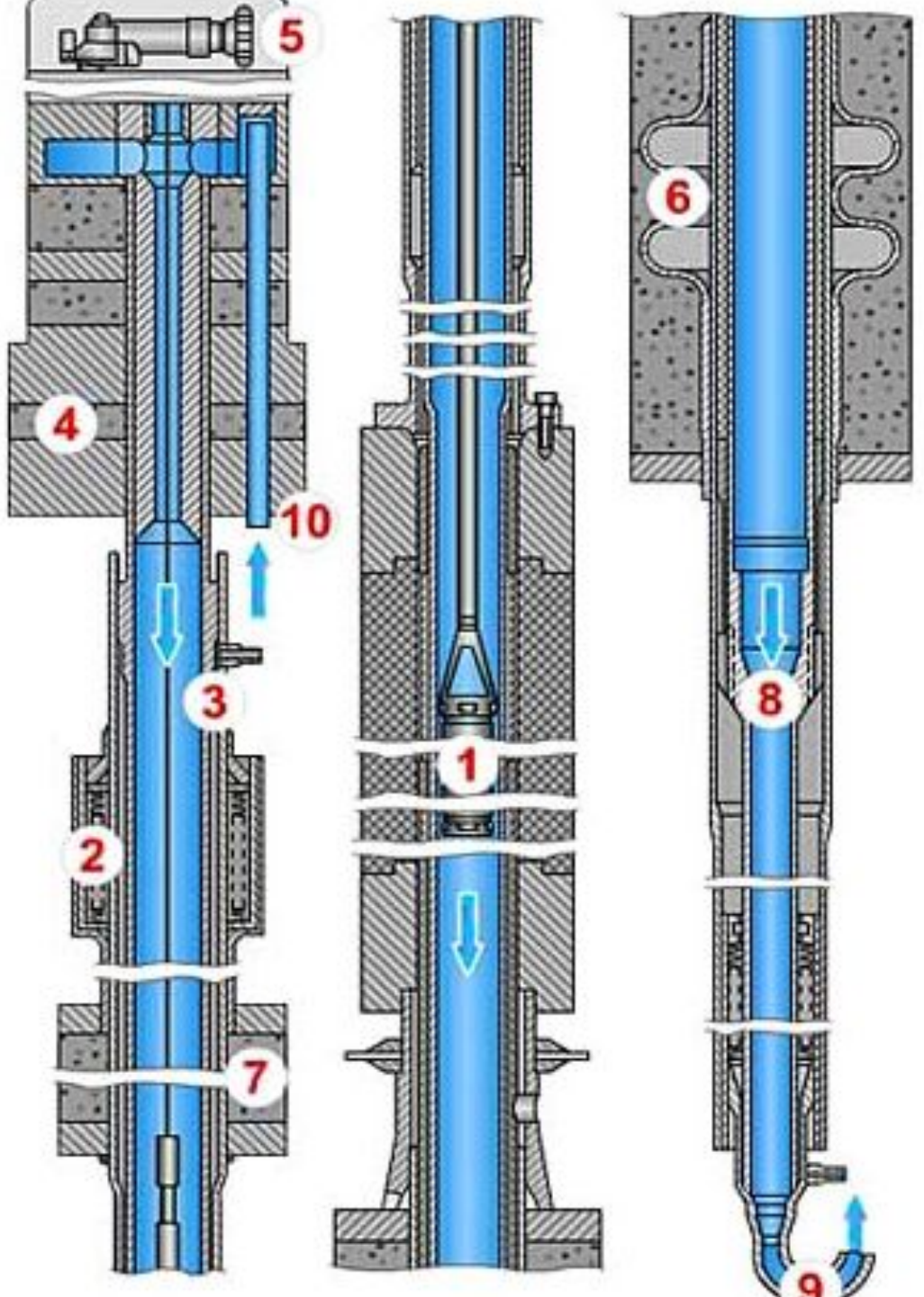
Установка компенсатора для увеличения ТСТ



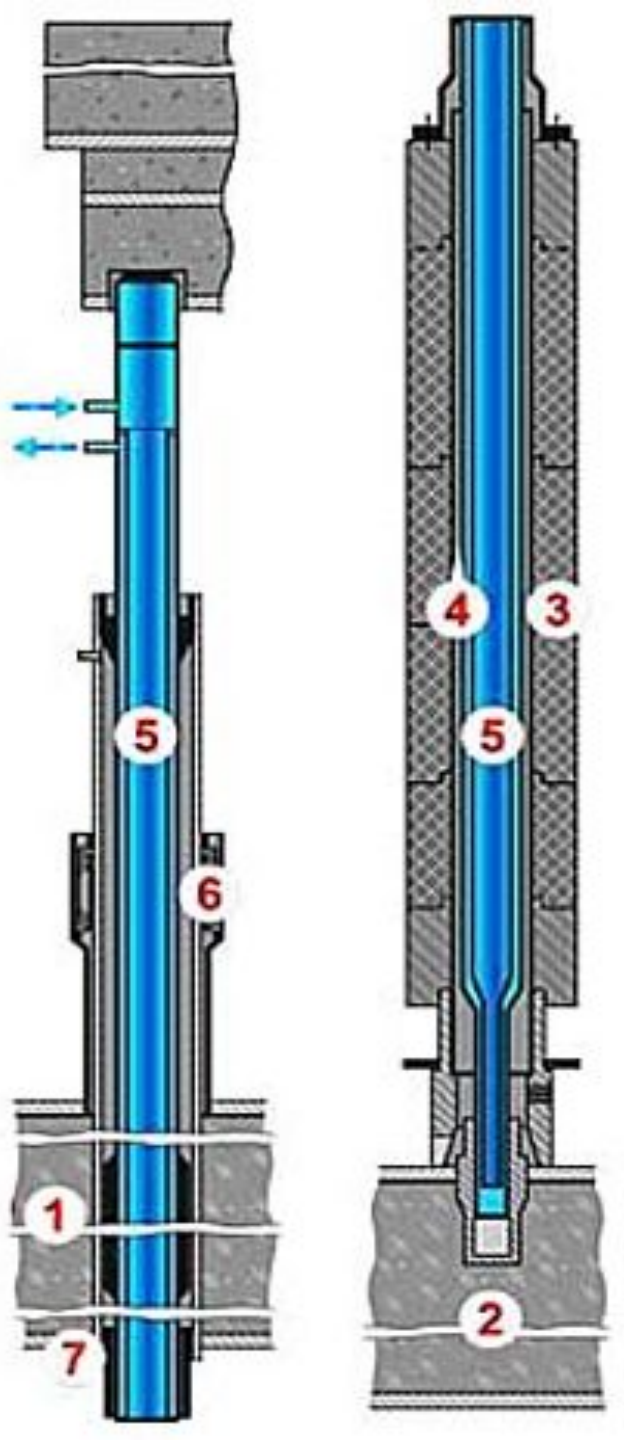
Канал СУЗ



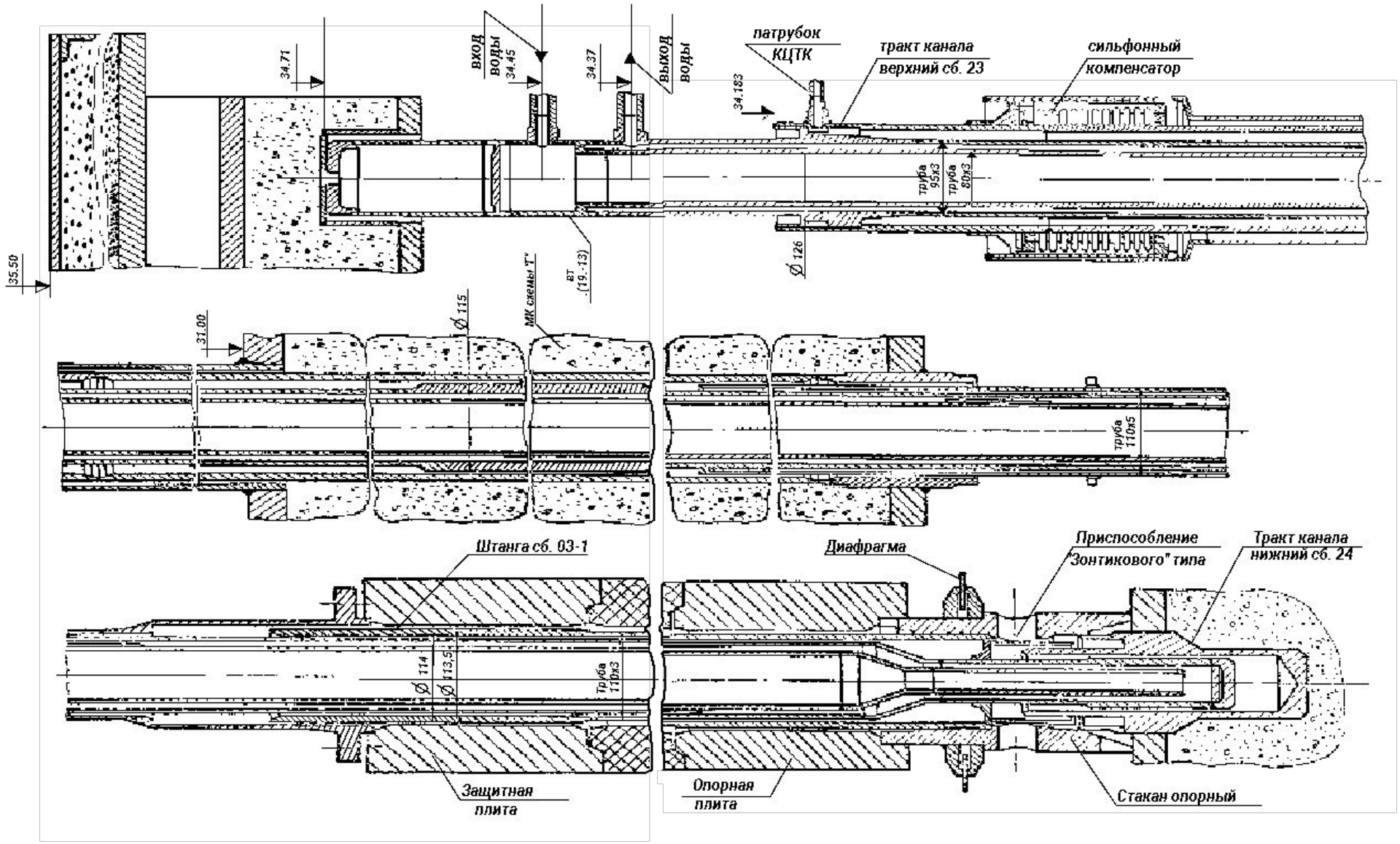
Канал СУЗ



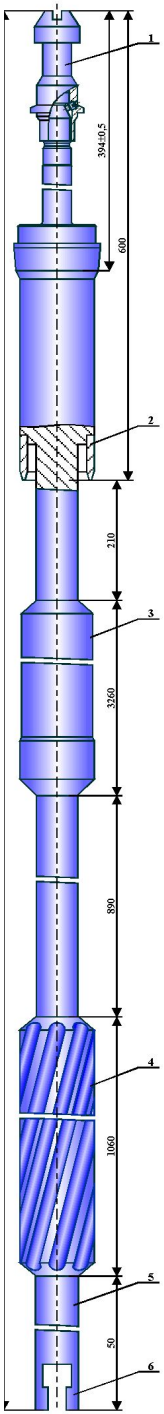
Канал охлаждения отражателя (КОО)



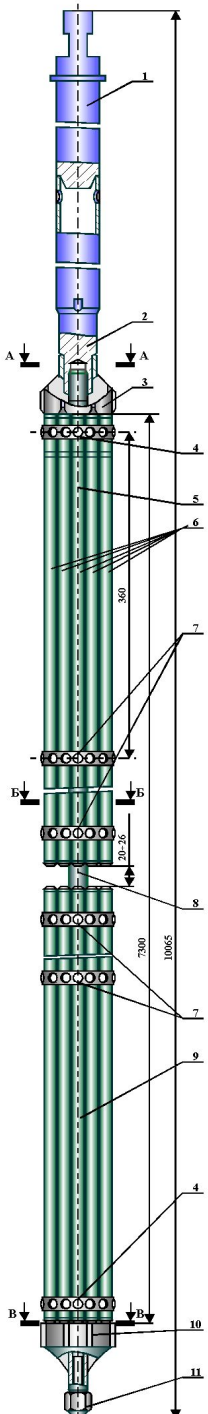
КОО


34.71
вход воды 34.45
34.37
выход воды
патрубок КЦТК
34.183
тракт канала верхний сб. 23
сильфонный компенсатор
труба 95х3
труба 80х3
Ø 126
35.50
ВТ (19.-13)
31.00
Ø 115
МК схемы "Г"
труба 110х5
Штанга сб. 03-1
Диафрагма
Приспособление "Зонтикового" типа
Тракт канала нижний сб. 24
Ø 114
Ø 113,5
Труба 110х3
Защитная плита
Опорная плита
Стакан опорный

Подвеска



Кассета



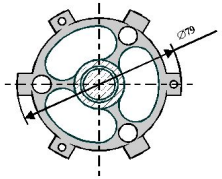
Подвеска

1. Грибок
2. Юбка
3. Пробка верхняя (дроссель)
4. Защитная винтовая пробка
5. Соединительная штанга
6. Вилка

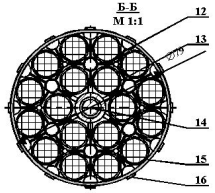
Кассета

1. Штанга-подвеска
2. Переходник
3. Наконечник
4. Концевая решетка
5. ТВС верхняя
6. ТВЭЛ
7. Дистанционирующая решетка
8. Центральный стержень (трубка
9. ТВС нижняя
10. Хвостовик
11. Гайка
12. Периферийная ячейка
13. Промежуточная ячейка
14. Центральная ячейка
15. Обод
16. Дистанционирующие выступы

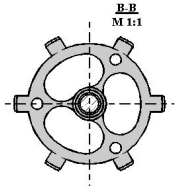
А-А
М 1:1

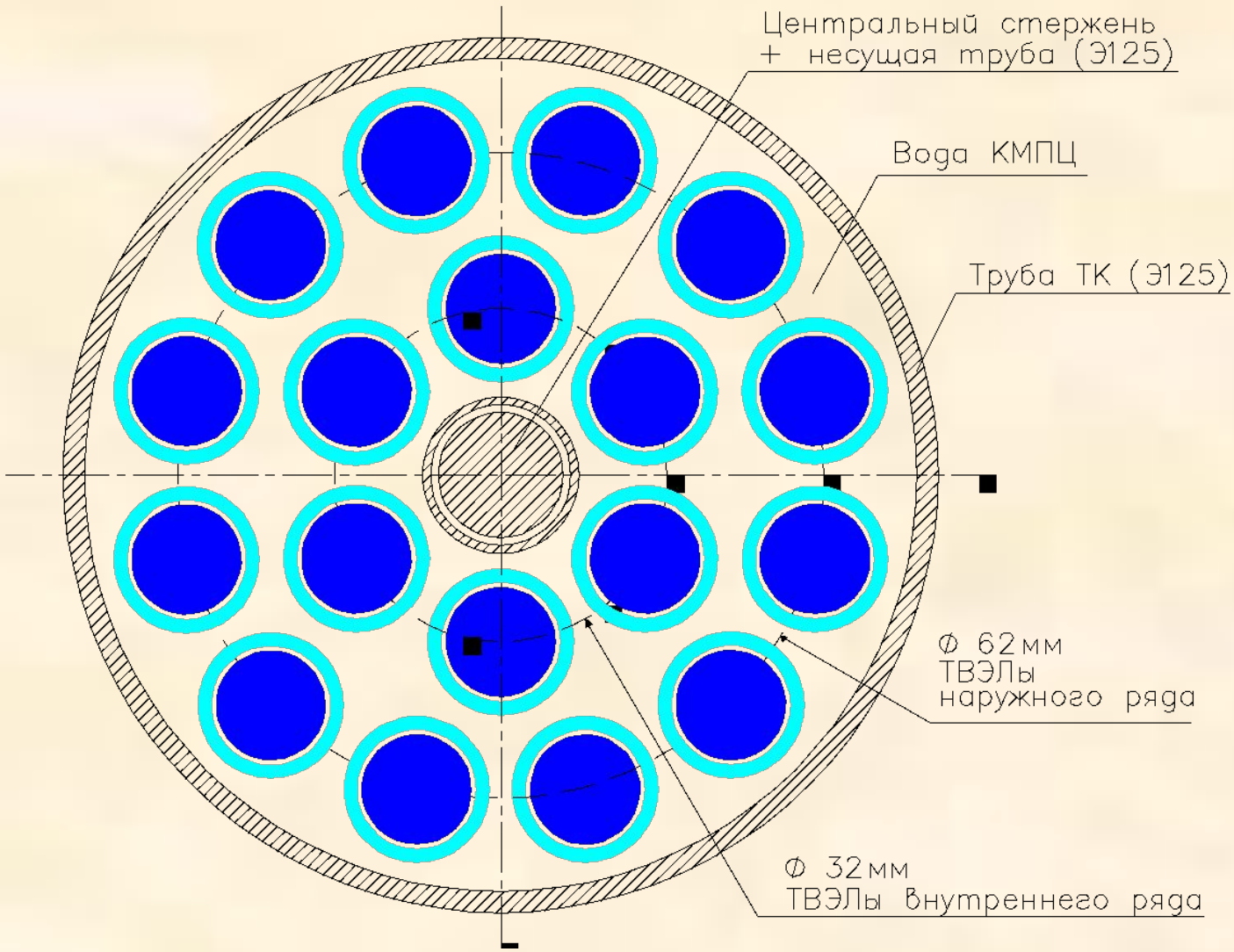


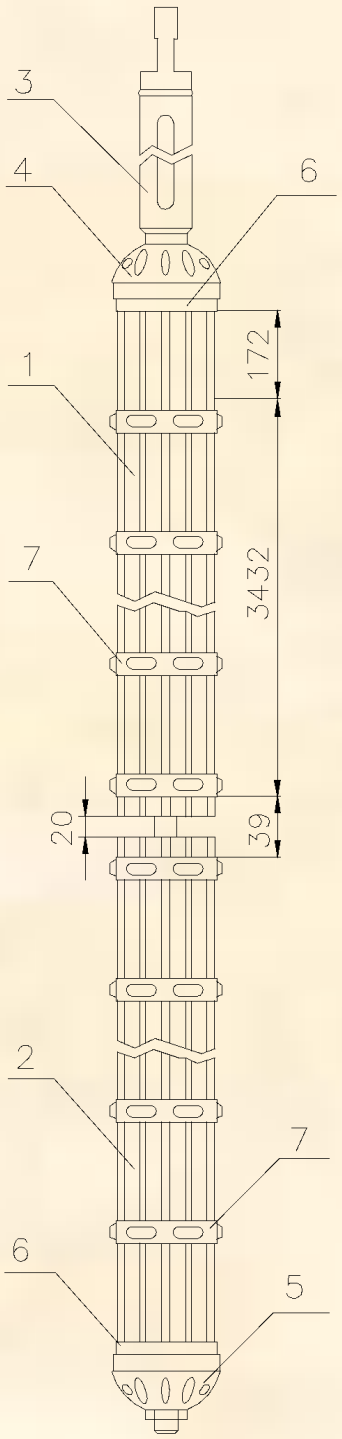
Б-Б
М 1:1



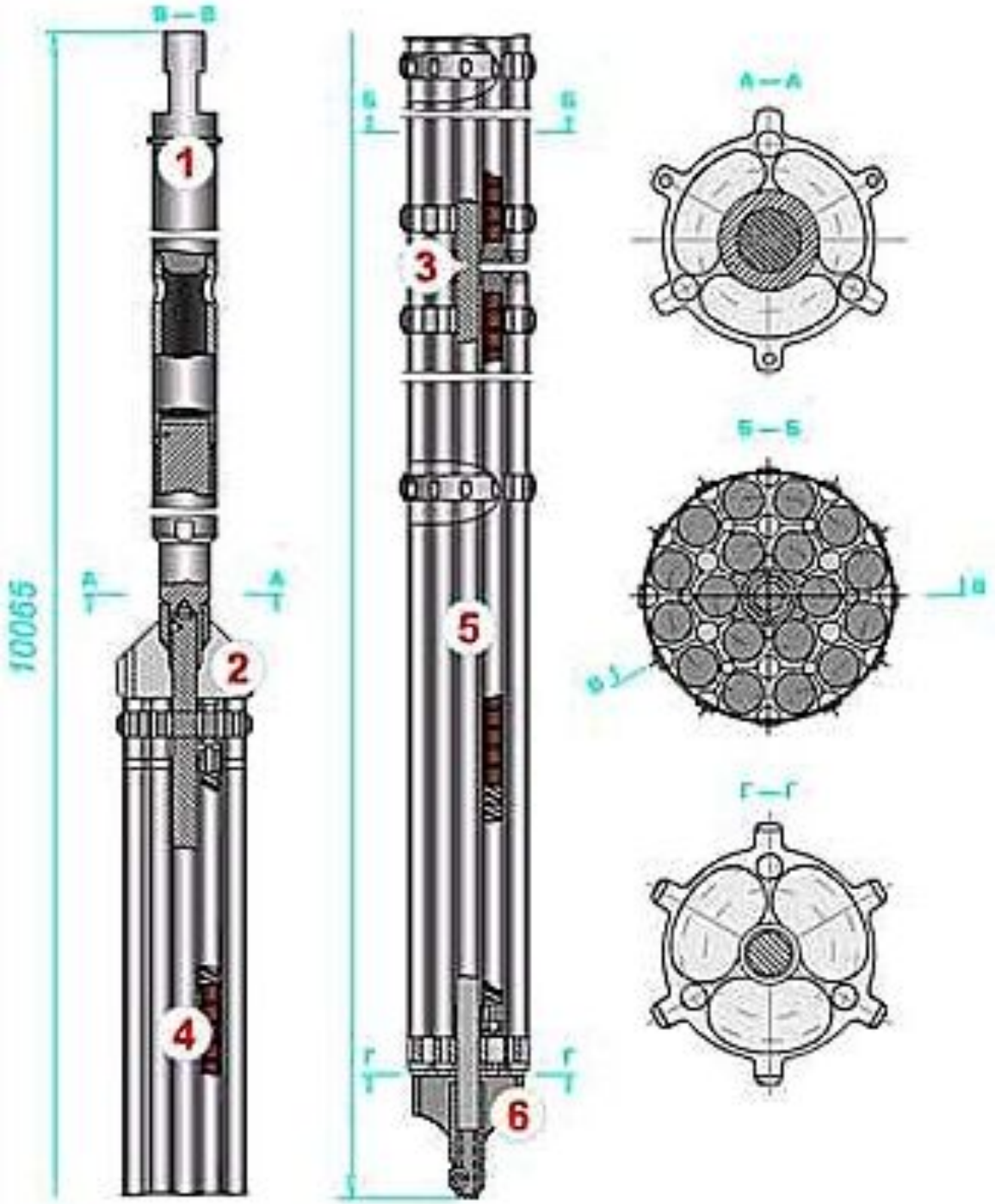
В-В
М 1:1



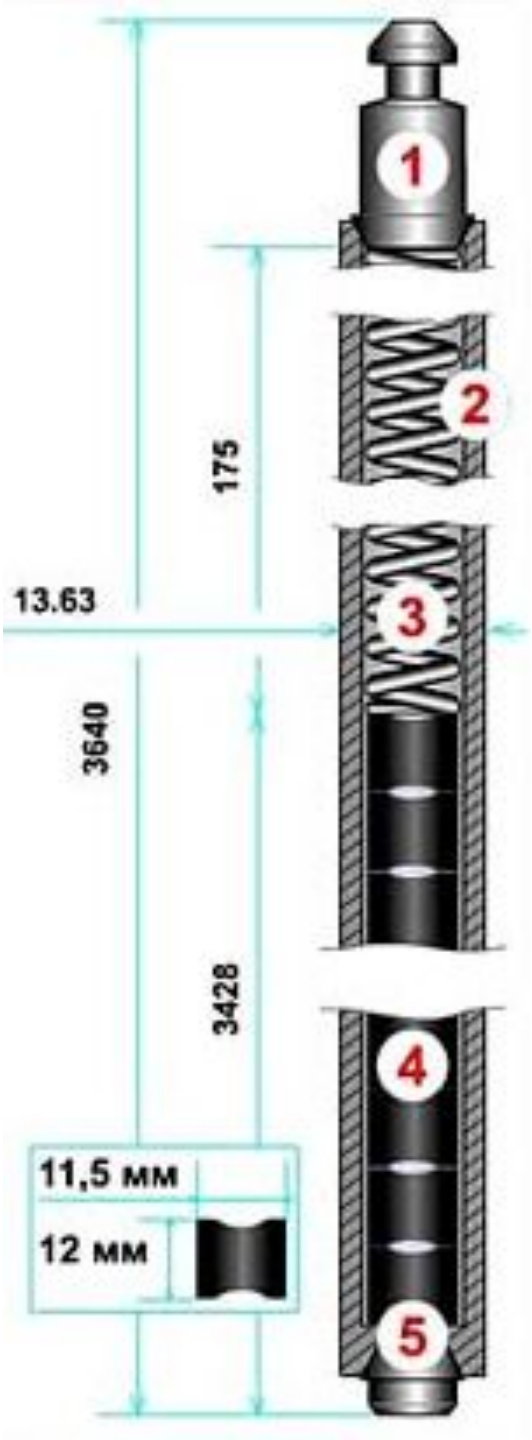

Центральный стержень
+ несущая труба (Э125)
Вода КМПЦ
Труба ТК (Э125)
Ø 62мм
ТВЭЛы
наружного ряда
Ø 32мм
ТВЭЛы внутреннего ряда

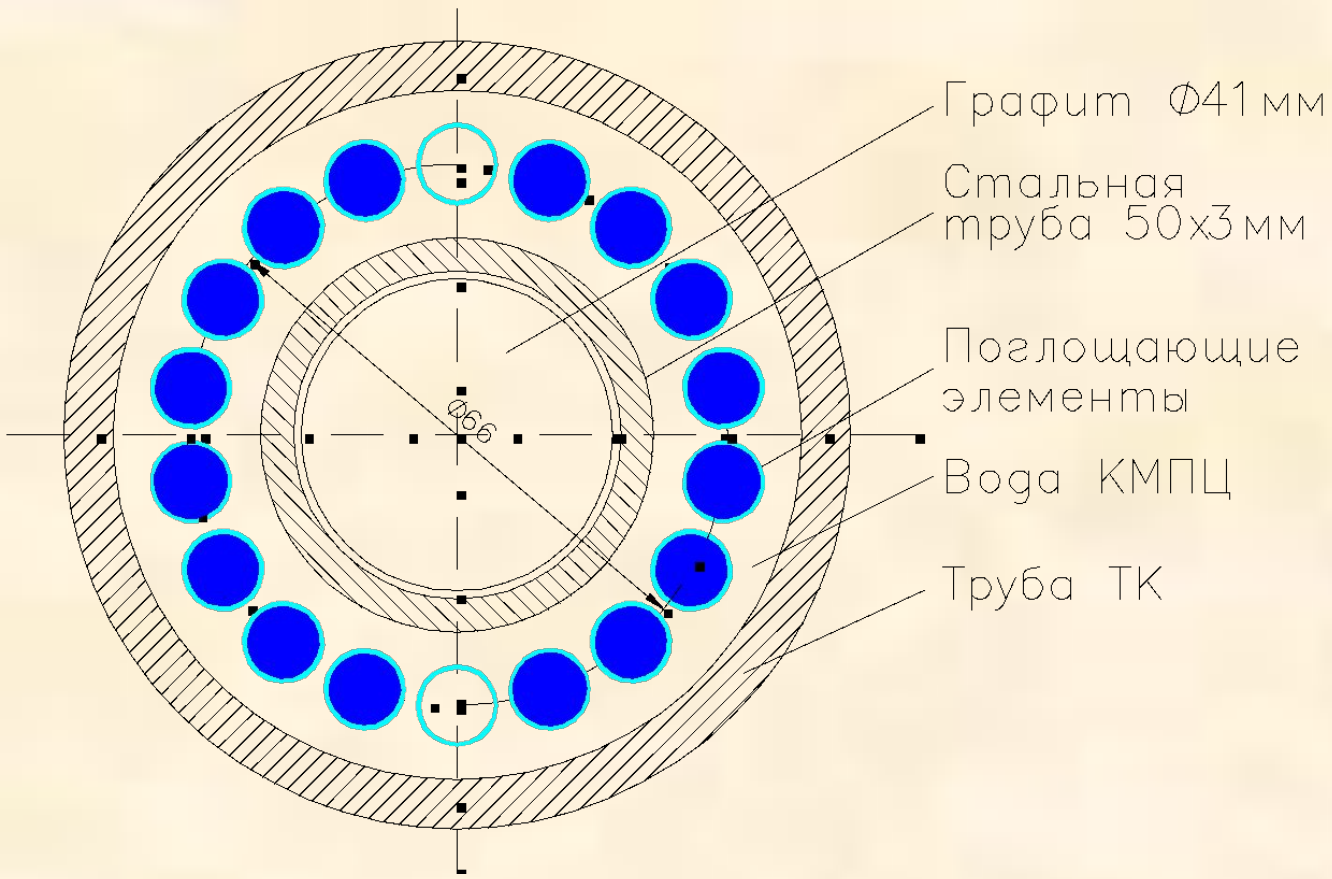

3
4
6
1
172
3432
7
20
39
2
7
6
5

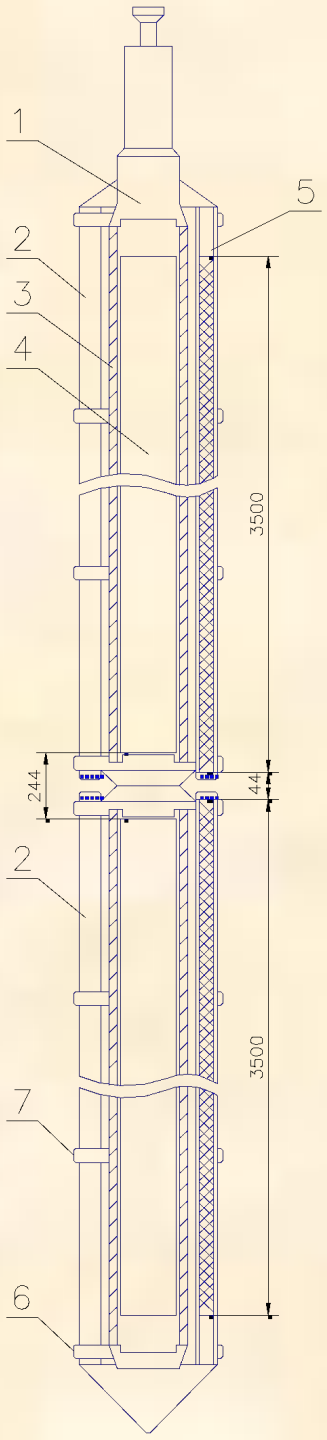
TBC



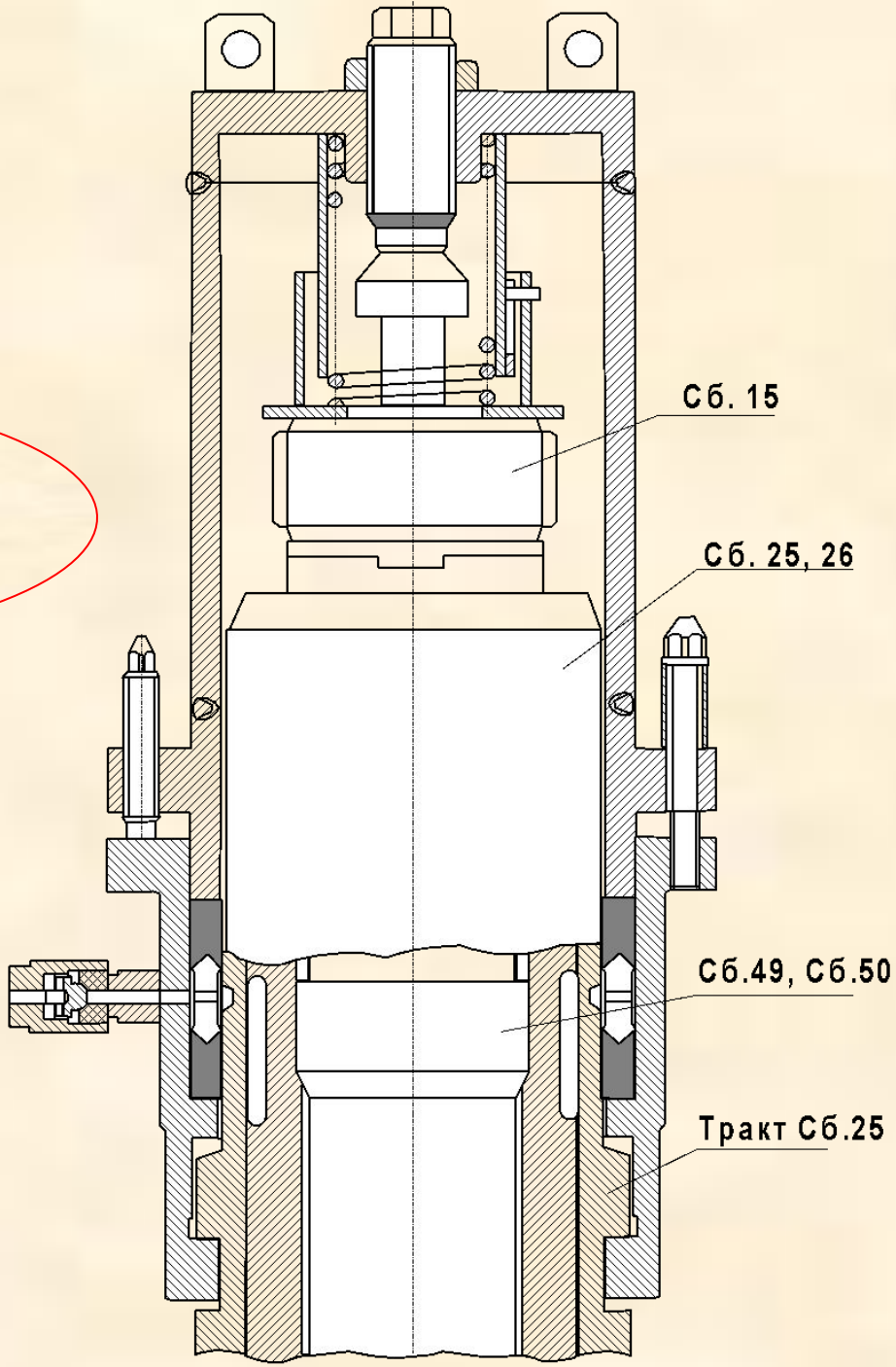
ТВЭЛ




Графит Ø41мм
Стальная труба 50х3мм
Поглощающие элементы
Вода КМПЦ
Труба ТК
Ø66


1
5
2
3
4
3500
244
44
2
3500
7
6

ГЕРМОКОЛПА К 137.2.000



ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ РЕАКТОРА

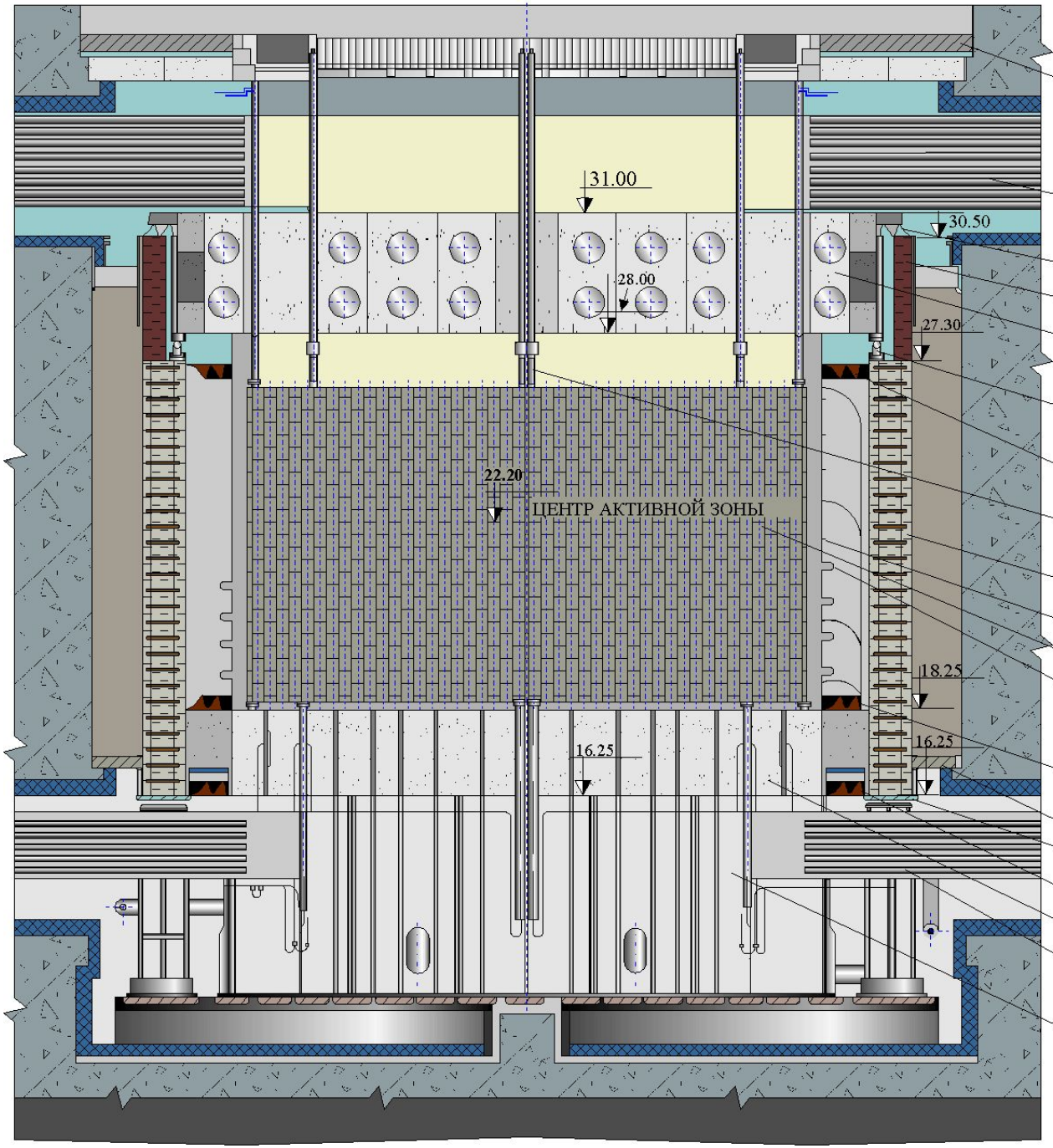


СХЕМА "Г"

ПЛИТНЫЙ НАСТИЛ

ПВК

ВЕРХНИЙ КОМПЕНСАТОР СХЕМЫ "Е"

СХЕМА "Д"

СХЕМА "Е"

ОПОРА КАТКОВАЯ

НИЖНИЙ КОМПЕНСАТОР СХЕМЫ "Е"

ТРАКТ ТК

СХЕМА "Л"

СХЕМА "КЖ"

ГРАФИТОВАЯ КЛАДКА

КОМПЕНСАТОР СХЕМЫ "КЖ"

ВЕРХНИЙ КОМПЕНСАТОР СХЕМЫ "ОР"

СХЕМА "Э"

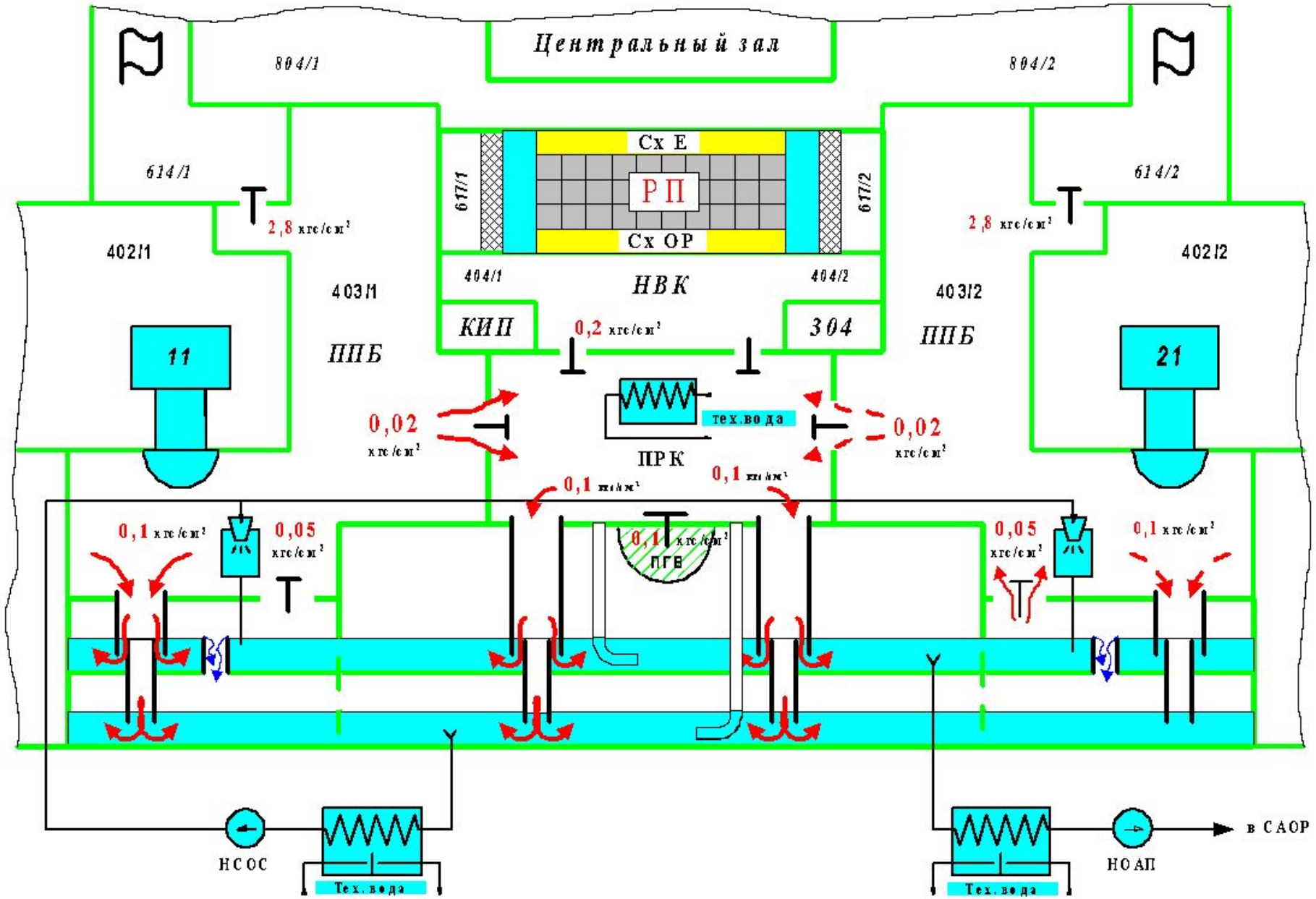
НИЖНИЙ КОМПЕНСАТОР СХЕМЫ "ОР"

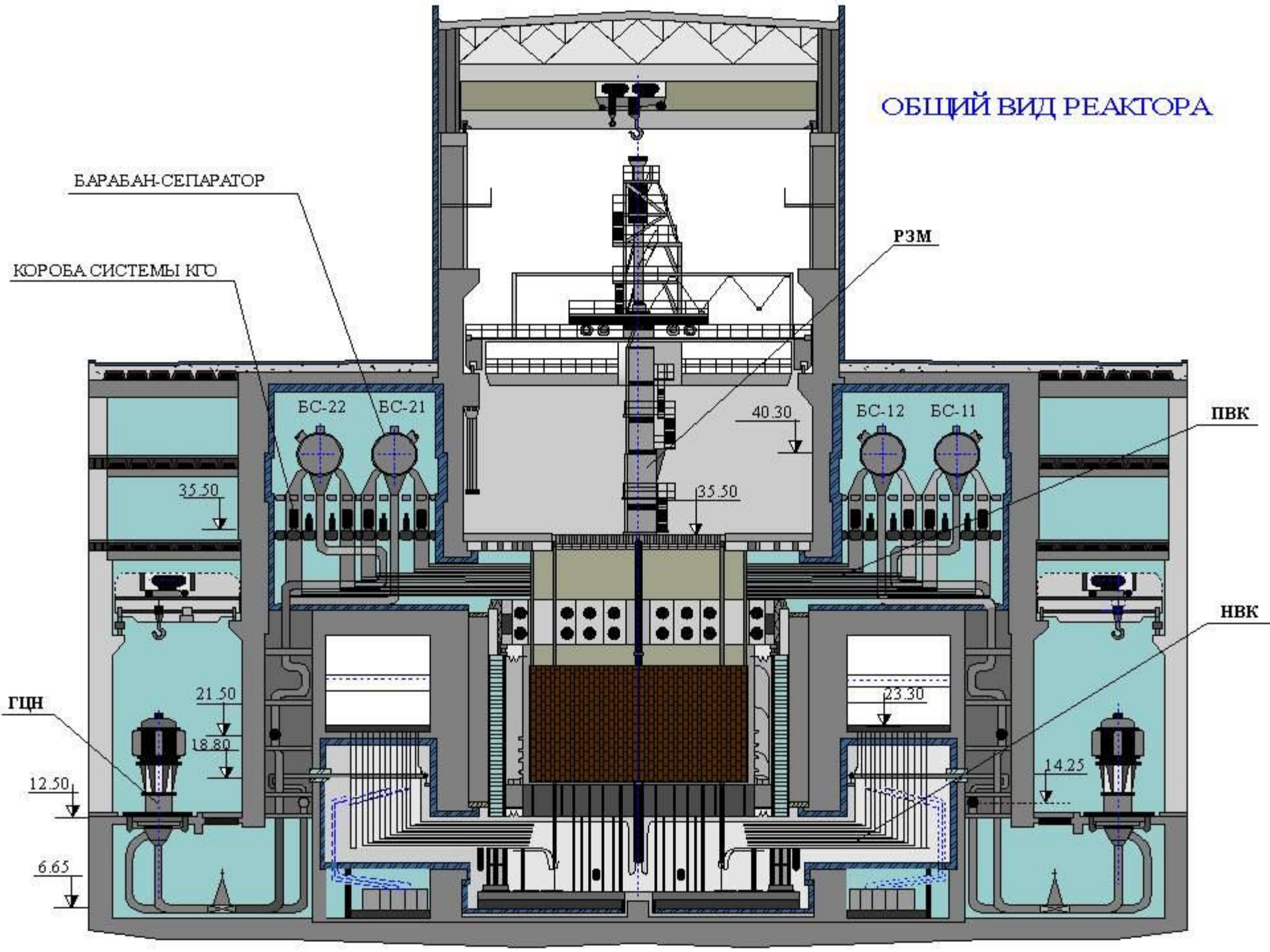
СХЕМА "ОР"

НВК

СХЕМА "С"

Система локализации аварий




ОБЩИЙ ВИД РЕАКТОРА
БАРАБАН-СЕПАРАТОР
КОРОБА СИСТЕМЫ КГО
РЗМ
ПВК
НВК
ГЦН
БС-22
БС-21
БС-12
БС-11
40.30
35.50
35.50
21.50
18.80
12.50
6.65
23.30
14.25

ПЕРЕЧЕНЬ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

- система управления и защиты реактора (СУЗ);
- система контроля и регулирования энергораспределения по радиусу и высоте реактора (СКРЭ-Р, В);
- система поканального и группового КГО;
- система КЦТК;
- система контроля и регулирования расхода теплоносителя в ТК и охлаждающей воды в каналах СУЗ (ШТОРМ);
- система температурного контроля металлоконструкций схем реактора и графитовой кладки по ее объему;
- система контроля температуры и величины протечек конденсата из дренажей сильфонов каналов СУЗ;
- информационно-вычислительной система “СКАЛА";

Анализ причин Чернобыльской аварии, происшествий на других АЭС выявил необходимость срочного изменения характеристик системы управления и защиты РБМК и нейтронно-физических характеристик активных зон.

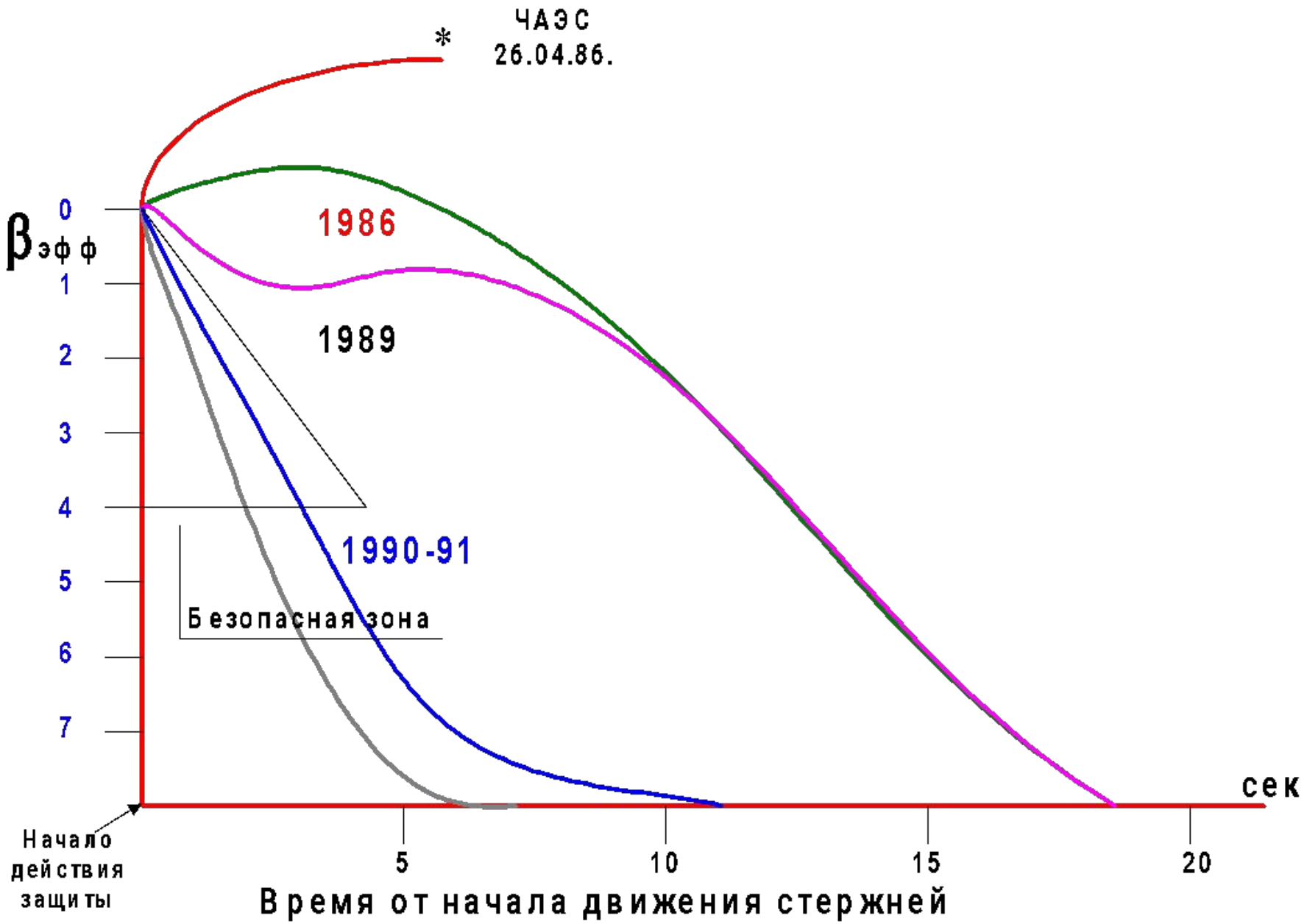
В первую очередь необходимо было полностью **исключить возможность «обратного хода реактивности»** при любых конфигурациях нейтронного поля и **увеличить скорость хода стержней.** Задача решалась поэтапно.

Параллельно шли разработки быстроходных стержней (БАЗ, АЗ), основанные на ином способе охлаждения (пленочное).

На первом этапе были временно **изменены** верхние позиции стержней СУЗ **(КВ), затем** несколько изменена их конструкция-**увеличена длина телескопических соединений** поглощающей и вытесняющей частей - и, наконец после соответствующих конструкторских разработок и испытаний были внедрены современные **стержни с поглотителем, надвигающимся на вытеснитель.**

В результате поэтапно **улучшалась динамика** заглушающей способности **системы аварийной защиты.**

Эффективность защиты реактора



Рабочие органы СУЗ, используемые на Курской АЭС

- Стержни **2091**-01(ЛАР, АР,РР);
- Стержни **2477**-01(РР);
- стержни БАЗ сб.**2505** с пленочным охлаждением – в аварийной защите (АЗ);
- Стержни **2093**(РР)-УСП с вытеснителем на полную высоту а.з. и с введением поглотителя в нижнюю часть а.з.
- Стержни **2399**-кластерные регулирующие органы для работы в составе ИМ СУЗ в режимах РР, АР (КРО).

Основные направления обеспечения и повышения ядерной безопасности активных зон реакторов в настоящее время:

1. Внедрение уран-эрбиевого топлива.

Получены лицензии на загрузку ЭТВС в активные зоны всех четырех действующих блоков:

- для 1, 2 и 3 блоков партии по 500 штук;
- для 4 блока партия из 200 штук.

По результатам измерений подтверждены расчетные оценки, приведенные в ТОБ:

- безопасный диапазон по паровому коэффициенту реактивности (0,4–0,8) β достигается при уменьшении количества ДП в активной зоне;
- уменьшается максимальная мощность ТВС.

Преимущества уран-эрбиевого топлива

- **рост топливной экономичности;**
- **уменьшение объёмов хранения ОТВС;**
- **выравнивание энергораспределения по активной зоне;**
- **уменьшение всплесков энерговыделения при перегрузках;**
- **уменьшение отрицательных последствий проектных аварий.**

2. Модернизация исполнительных органов СУЗ.

Внедрение стержней СУЗ сб.2477-01 с семиметровыми (на всю длину АЗ) поглотителем и вытеснителем.

По экспериментальным данным для 4 блока, внедрение стержней СУЗ сб.2477-01 привело к ожидаемым результатам:

- увеличению эффективности исполнительных органов СУЗ на ~20% в рабочем состоянии на мощности (~50% в состоянии МКУ) и соответственно увеличению на ~30% подкритичности в состоянии ППР;
- значительному снижению эффекта опорожнения КО СУЗ в критическом состоянии с ~3,5β до 1,0β;
- повышению возможностей управления оператором полей энерговыделения реактора.

Сравнение КРО сб.2399 и стержней сб.2091-01 и 2477-01

Принципиальное отличие-рабочий орган перемещается в собственном дополнительном **канале-гильзе**, неподвижно установленной в канал СУЗ практически на всю его длину.

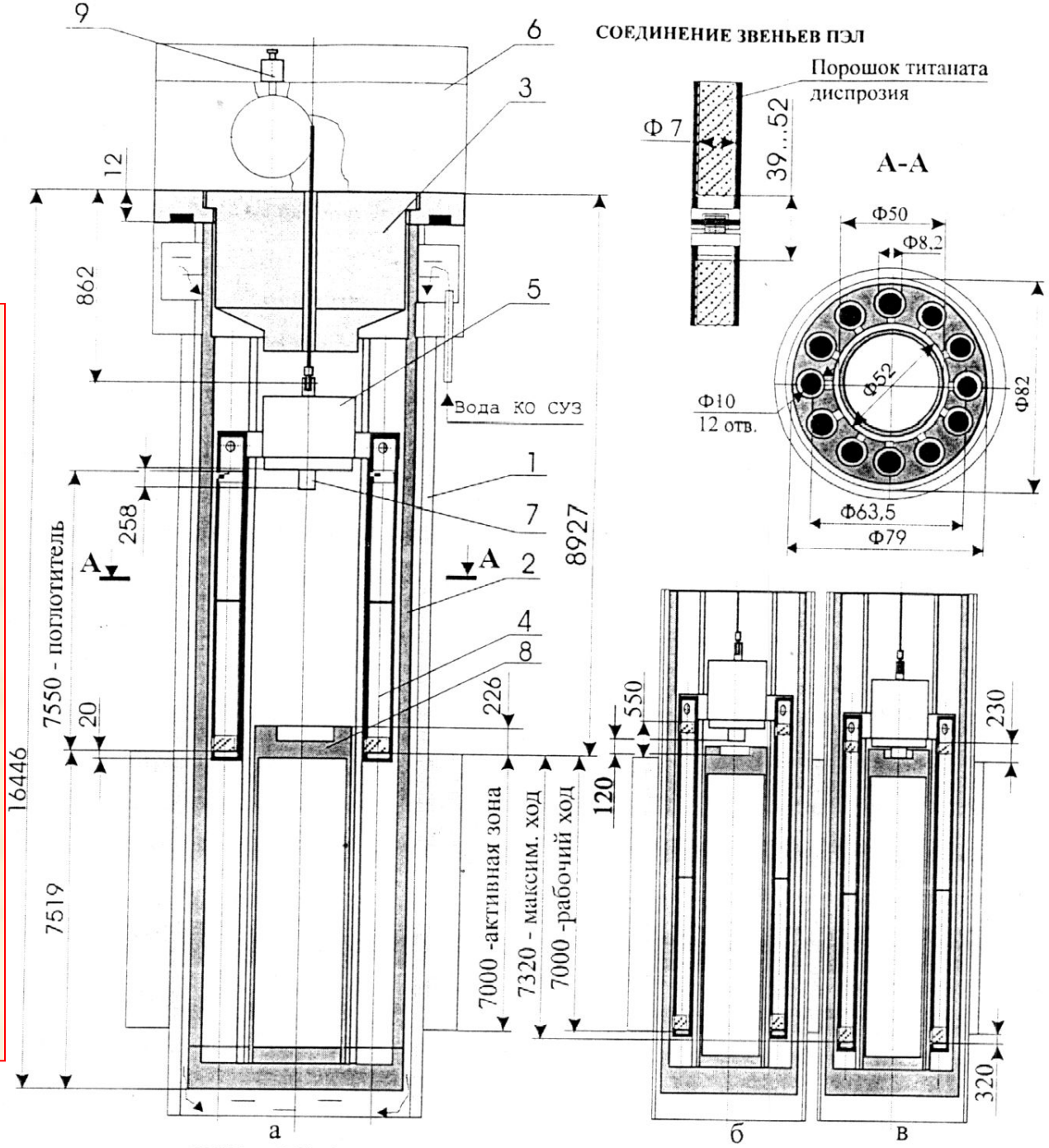
При этом внутренняя **полость гильзы герметична** по отношению к внешней охлаждающей воде, которая циркулирует в кольцевом пространстве, ограниченном внутренней поверхностью канала Ø82мм и наружной поверхностью гильзы Ø79мм.

Количество воды в канале на участке активной зоны снижается **до 3л** (против 16 и 8-2091, 2477) на один канал, а **положительный эффект реактивности** при обезвоживании КО СУЗ снижается до величины **менее 1ß$_{эф.}$**

Кластерный регулирующий орган

Включает в себя:

- Канал СУЗ (1)
- Гильзу (2);
- Рабочий орган (4,5);
- Защитную пробку (3);
- Опорную трубу (8)
- Аварийный демпфер (7)
- Сервопривод (6)
- Клапан (9)



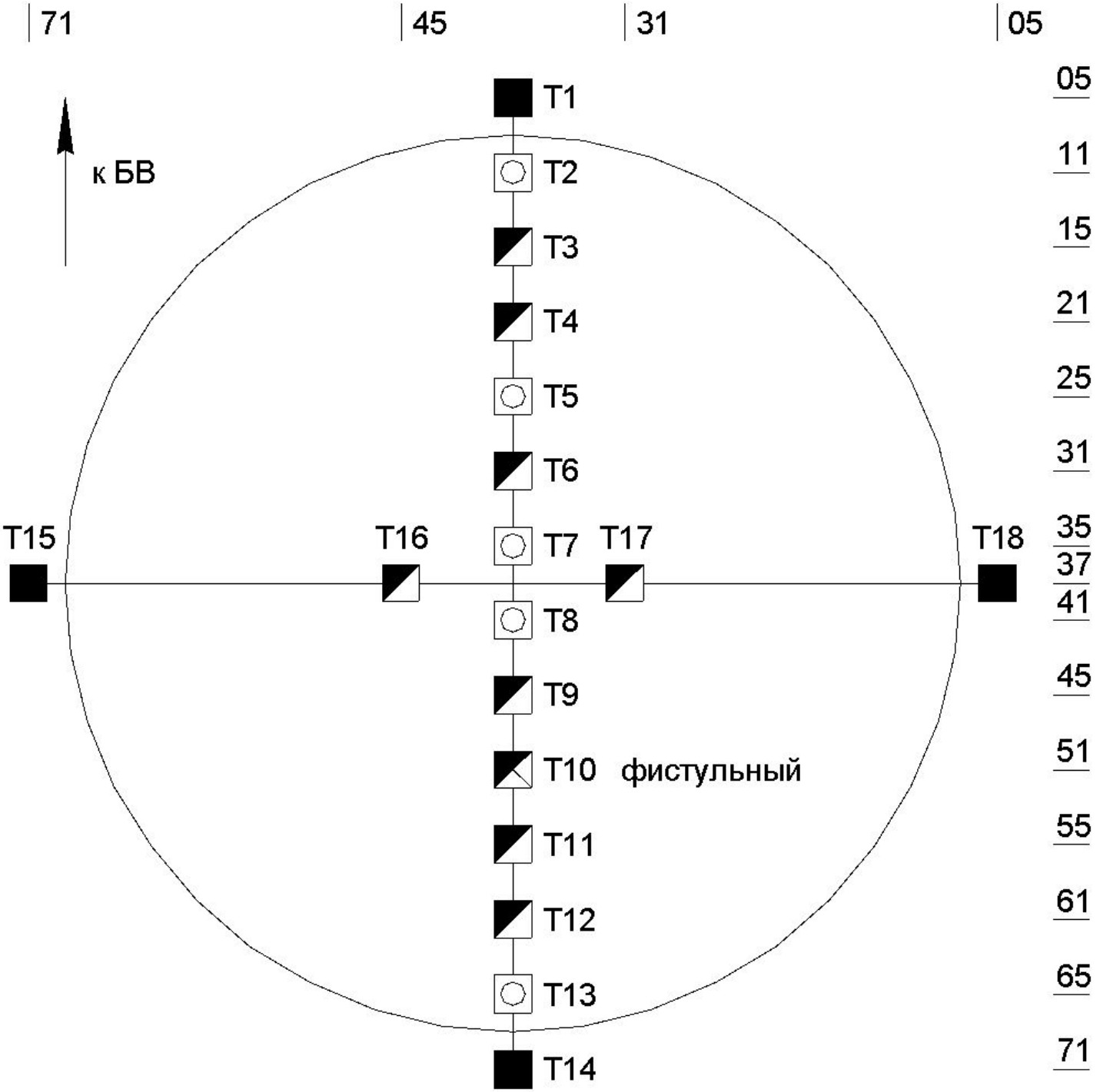
3. Внедрение кластерных ДП

Внедрение кластерных невыгорающих ДП сб.2641 практически завершено. В соответствии с расчетным обоснованием совместный переход на ст. СУЗ сб.2477-01 и ДП сб.2641 позволил сохранить безопасный уровень величины парового коэффициента реактивности при уменьшении поглотителя в каналах СУЗ.

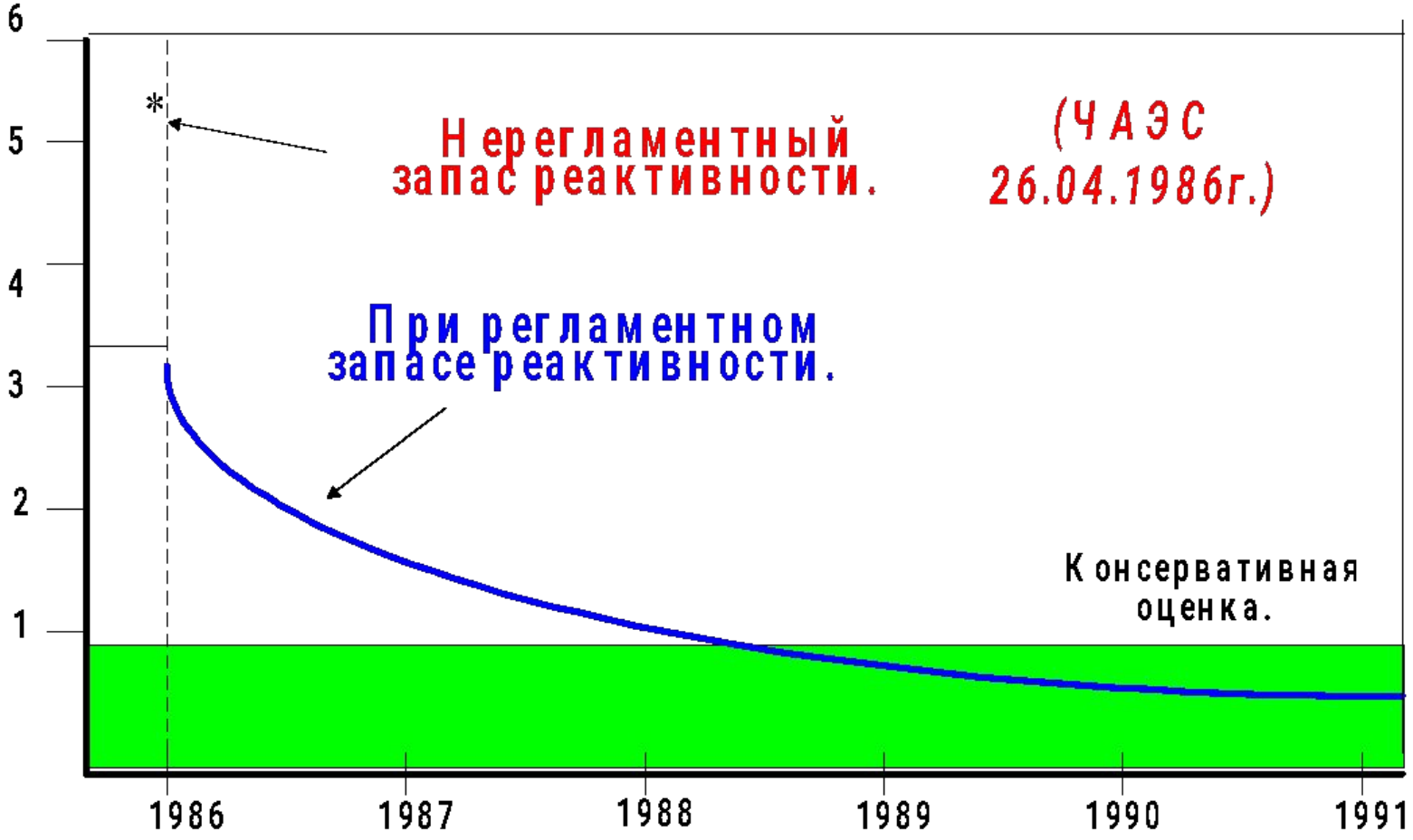
4. Внедрение более эффективных средств измерения и расчета внутриреакторных параметров.

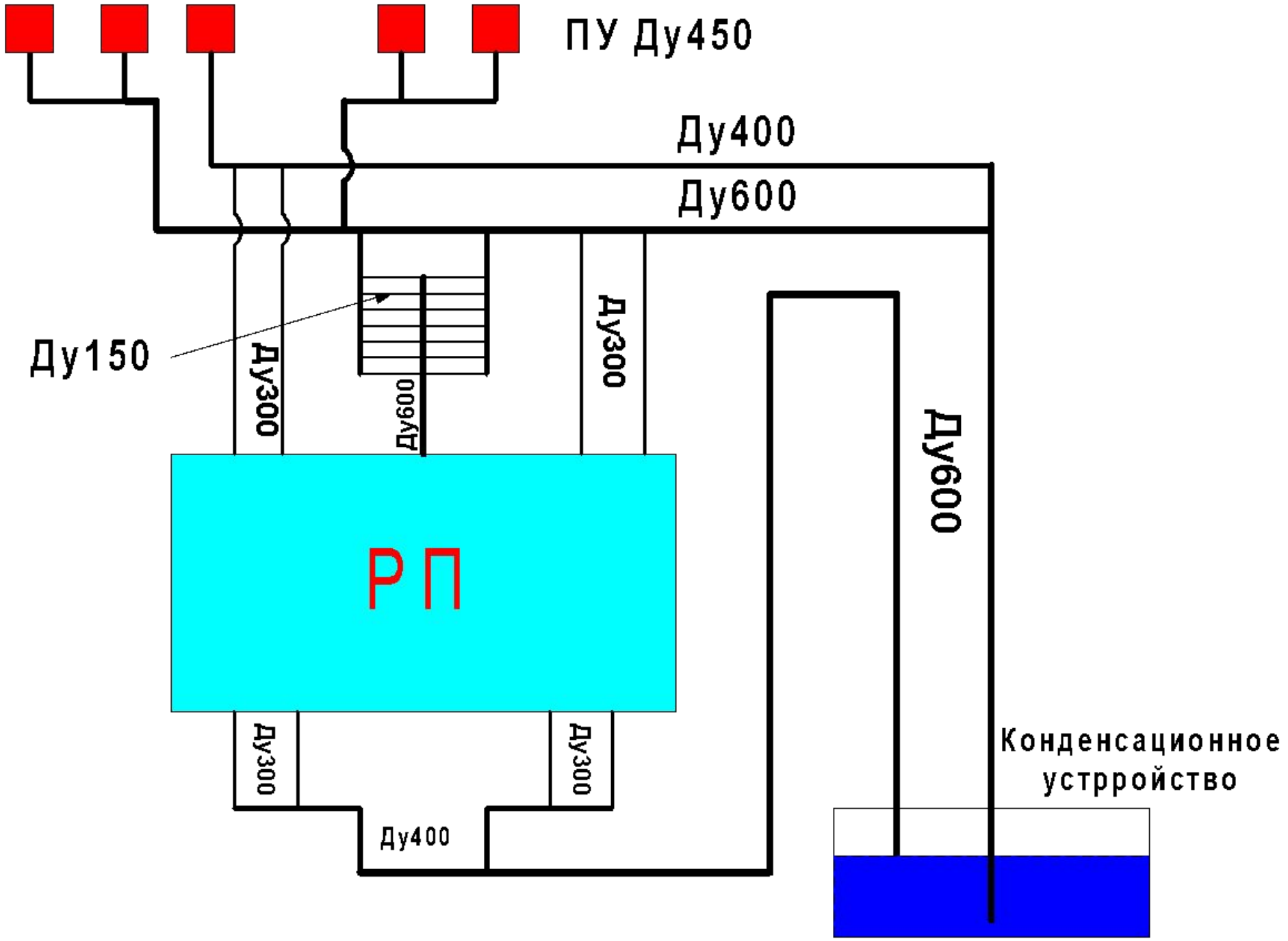
Произведена замена датчиков Д42.000 (серебряные) на ДТ4 (гафниевые) на 1-4 блоках. Произведена замена датчиков (ДКЭ-Н) сб.156 сначала на КНИ 7 в схеме СФКЭ на 2 блоке, с вводом КСКУЗ на ДТ-14.000. На 1-ом блоке после внедрения КСКУЗ применены датчики ДТэ-14.000, устанавливаемые в центральное отверстие ТВС сб.49 9 (36шт.х2)

Для определения нейтронно-физических характеристик РУ проводятся измерения при помощи многоканальной системы КЕНТАВР с использованием внутризонных датчиков типа ПИК по усовершенствованной «Комплексной методике…». Расчетное моделирование проводится с использованием трехмерных нейтронно-теплогидравлических программ, аттестованных в ГАН.

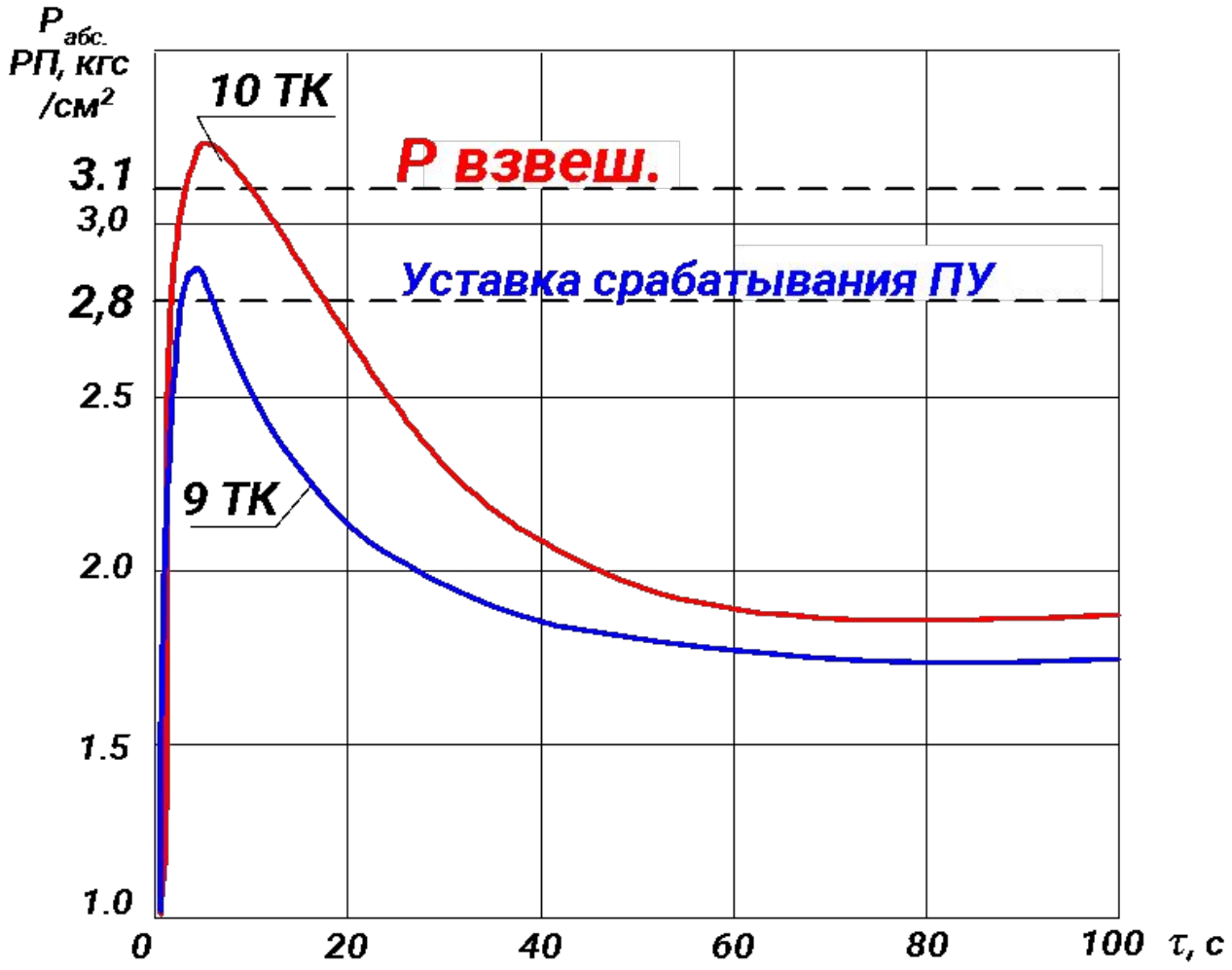

71
45
31
05
к БВ
T1
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
фистульный
T11
T12
T13
T14
T15
T16
T17
T18
05
11
15
21
25
31
35
37
41
45
51
55
61
65
71

ПАРОВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ РЕАКТИВНОСТИ ($\beta_{эфф.}$)

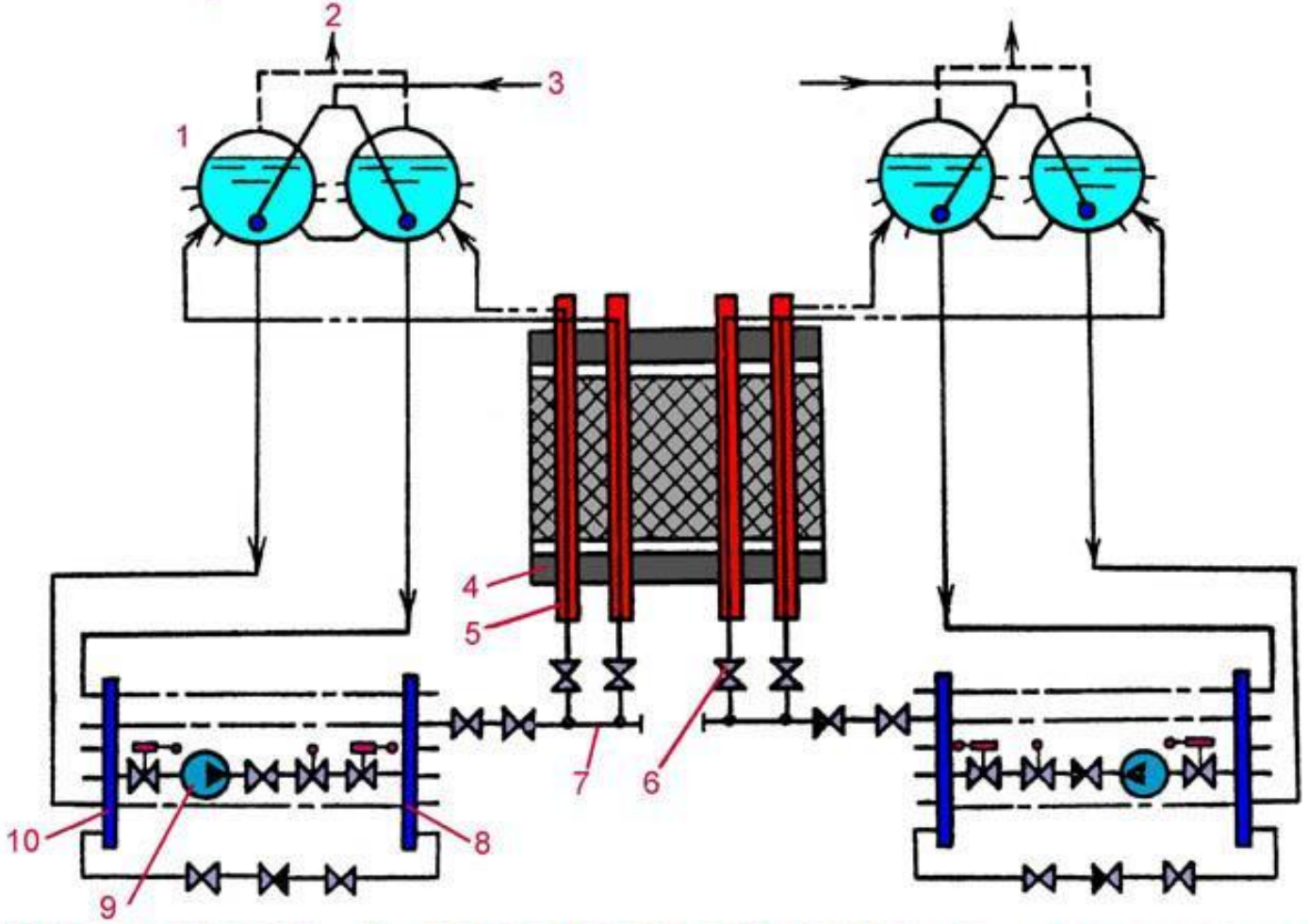



ПУ Ду450
Ду400
Ду600
Ду150
Ду300
Ду600
Ду300
Ду600
РП
Ду300
Ду300
Ду400
Конденсационное
устрройство

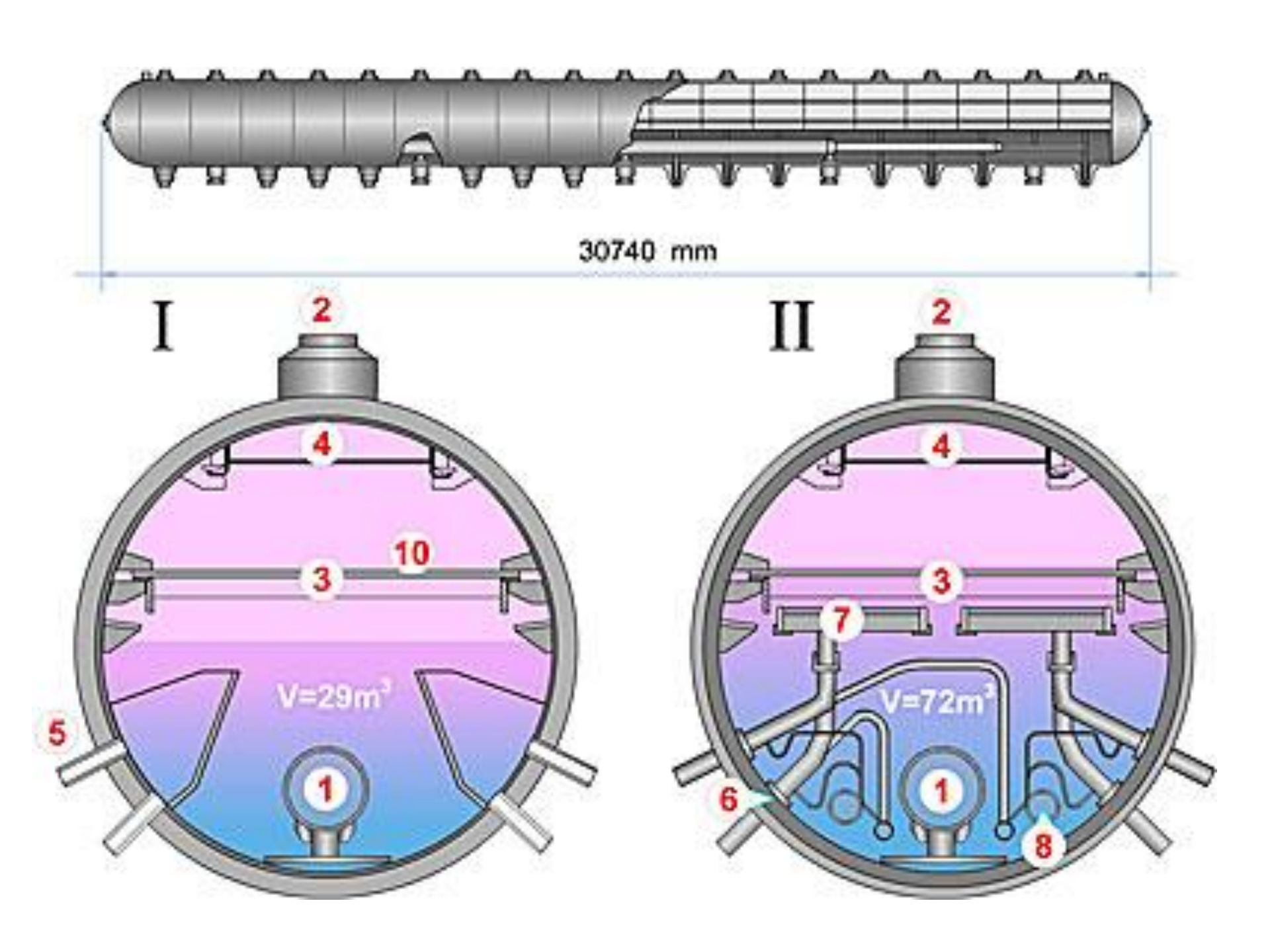
Динамика давления в РП при разрыве ТК и отводе через модернизированную систему ПГС



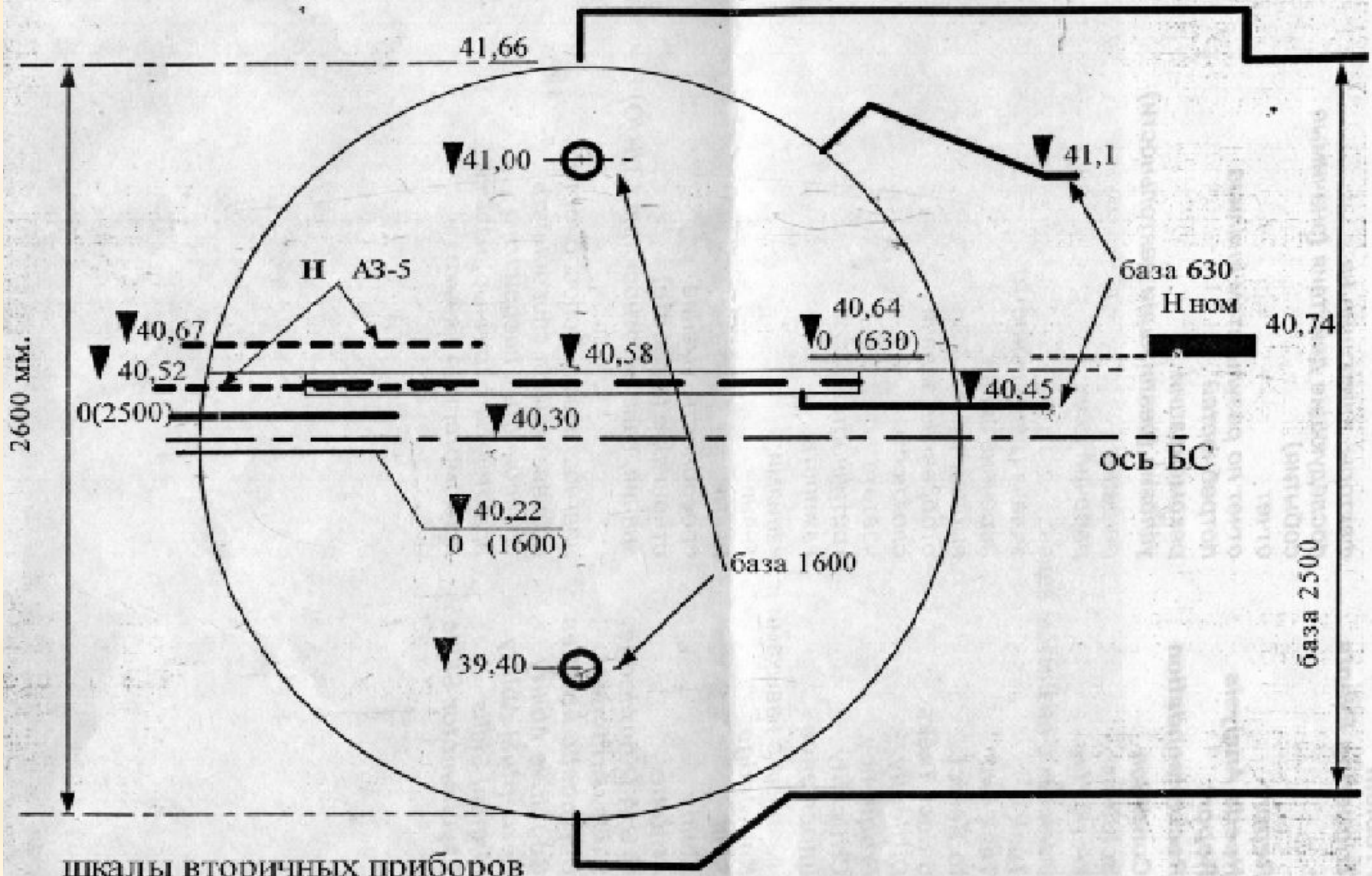
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КМПЦ



1 - барабан-сепаратор;
2 - пар на турбину;
3 - питательная вода;
4 - реактор;
5 - технологический канал;
6 - ЗРК;
7 - раздаточный групповой коллектор;
8 - напорный коллектор;
9 - ГЦН;
10 - всасывабщий коллектор


30740 mm
I
2
4
10
3
V=29m³
5
1
II
2
4
3
7
V=72m³
6
1
8

Измерение уровней в БС



шкалы вторичных приборов

база	630	1600	2500
шкала	-180...0...+450	-1250...0...+1250	-1800...0...+1400
показания при "дельта Р"=0	441мм	718	1200

ряд А (МАШЗАЛ)

п.1006/4

п.804/2

п.804/1

п.1006/2

п.1006/10

п.1006/9

БС-12

БС-11

БС-21

БС-22

П1Н2411

П1Н2421

П1Н2611

П1Н2621

П1Н2321

П1Н2221

П1Н2211

П2Н2411

П2Н2421

П2Н2611

П2Н2621

П2Н2321

П2Н2221

П2Н2211

П1Н2521

П1Н2522

П1Н2523

П1Н2511

П1Н2512

П1Н2513

П1Н2311

П2Н2311

П2Н2513

П2Н2512

П2Н2511

П2Н2523

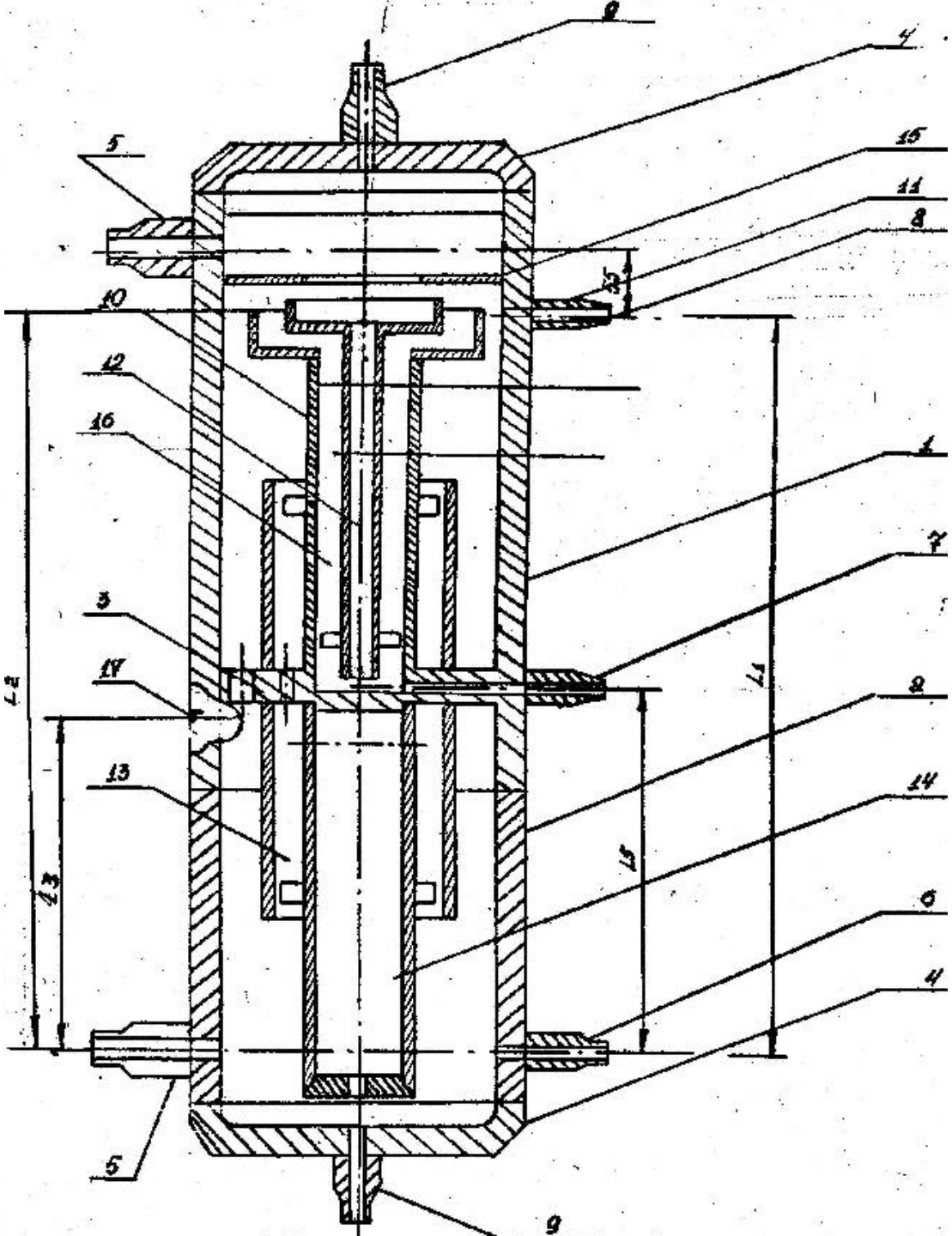
П2Н2522

П2Н2521

630

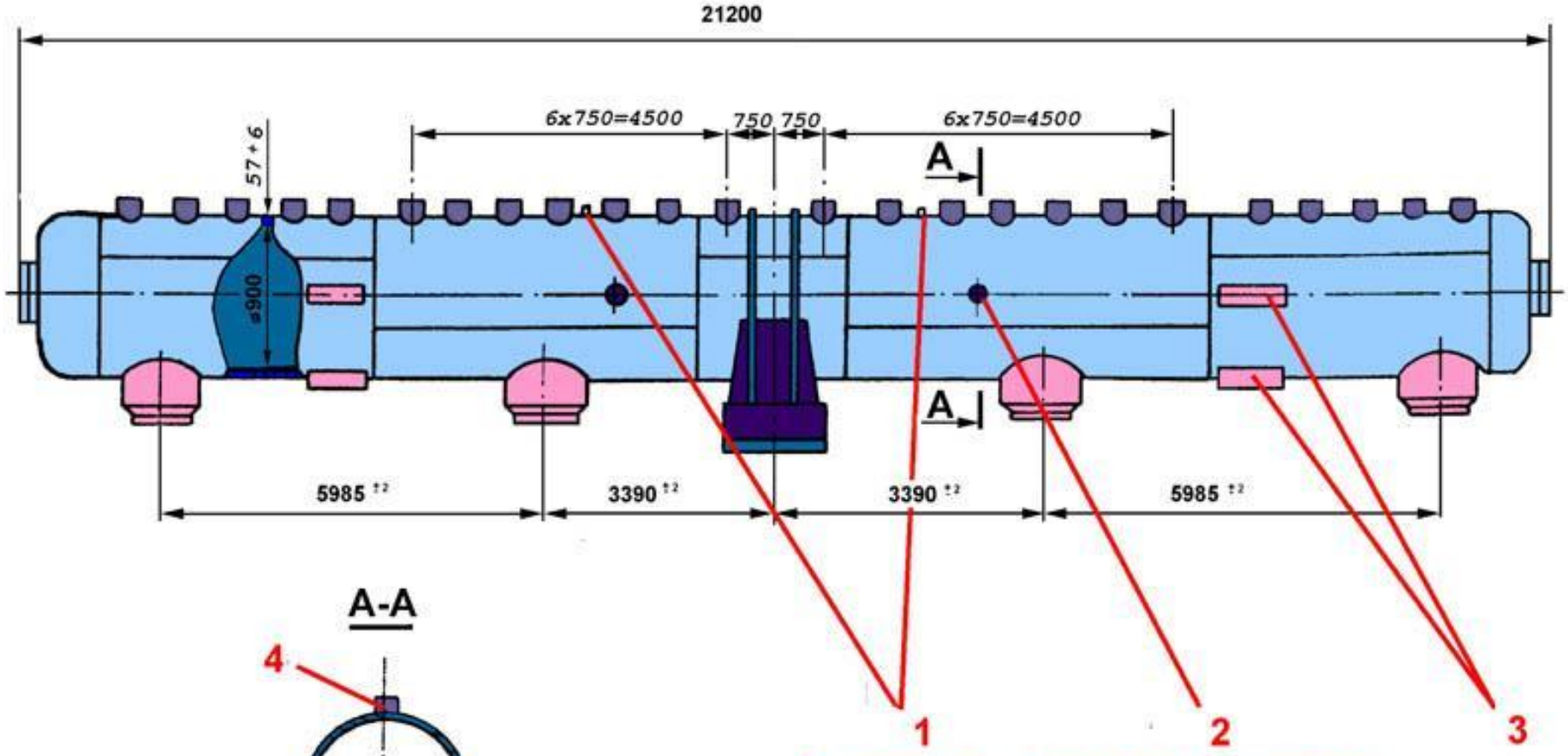
2500

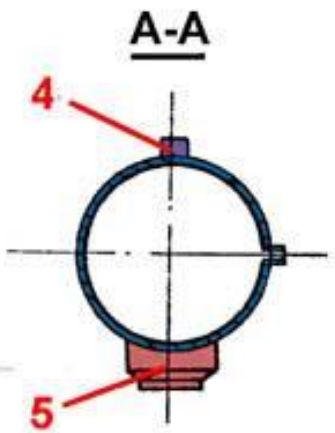
1600



Уравнительный двухкамерный сосуд

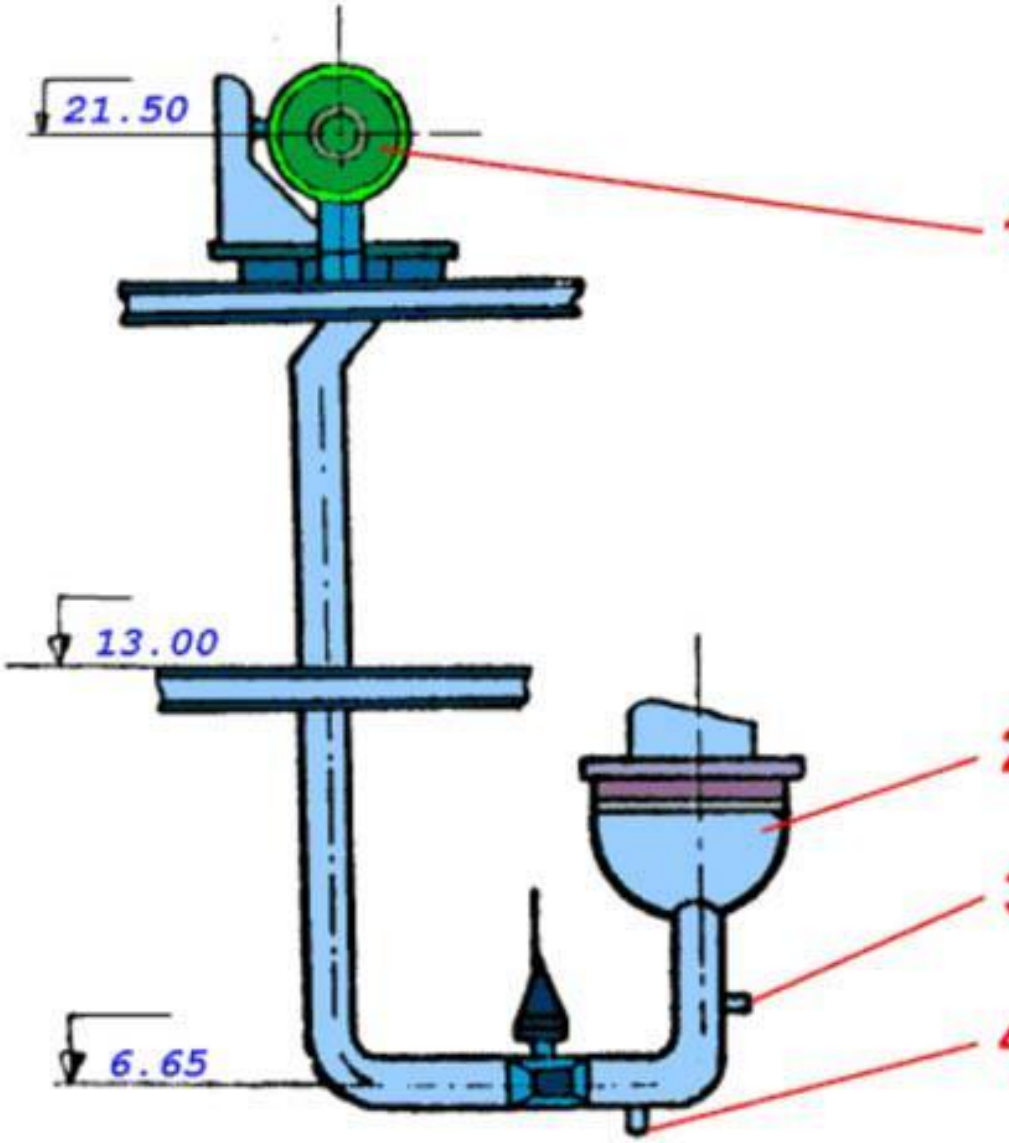
ВСАСЫВАЮЩИЙ КОЛЛЕКТОР





1 -штуцеры для термометров
2 -штуцеры для измерения давления
3 -подвижная опора
4 -опускные трубопроводы
5 -всасывающие трубопроводы

ТРУБОПРОВОД ВСАСЫВАЮЩИЙ



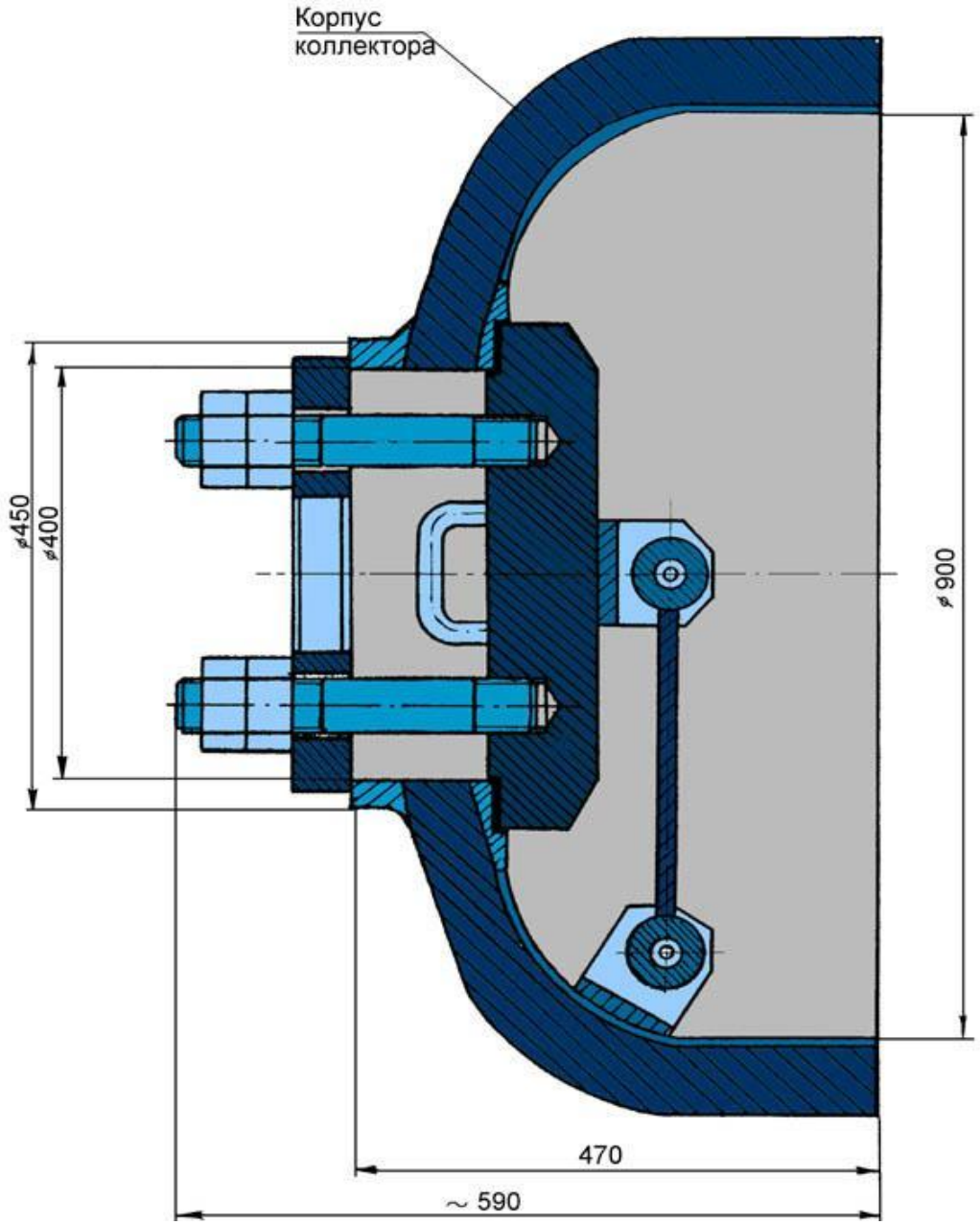
1-ВСАСЫВАЮЩИЙ КОЛЛЕКТОР

2-БАК НАСОСА

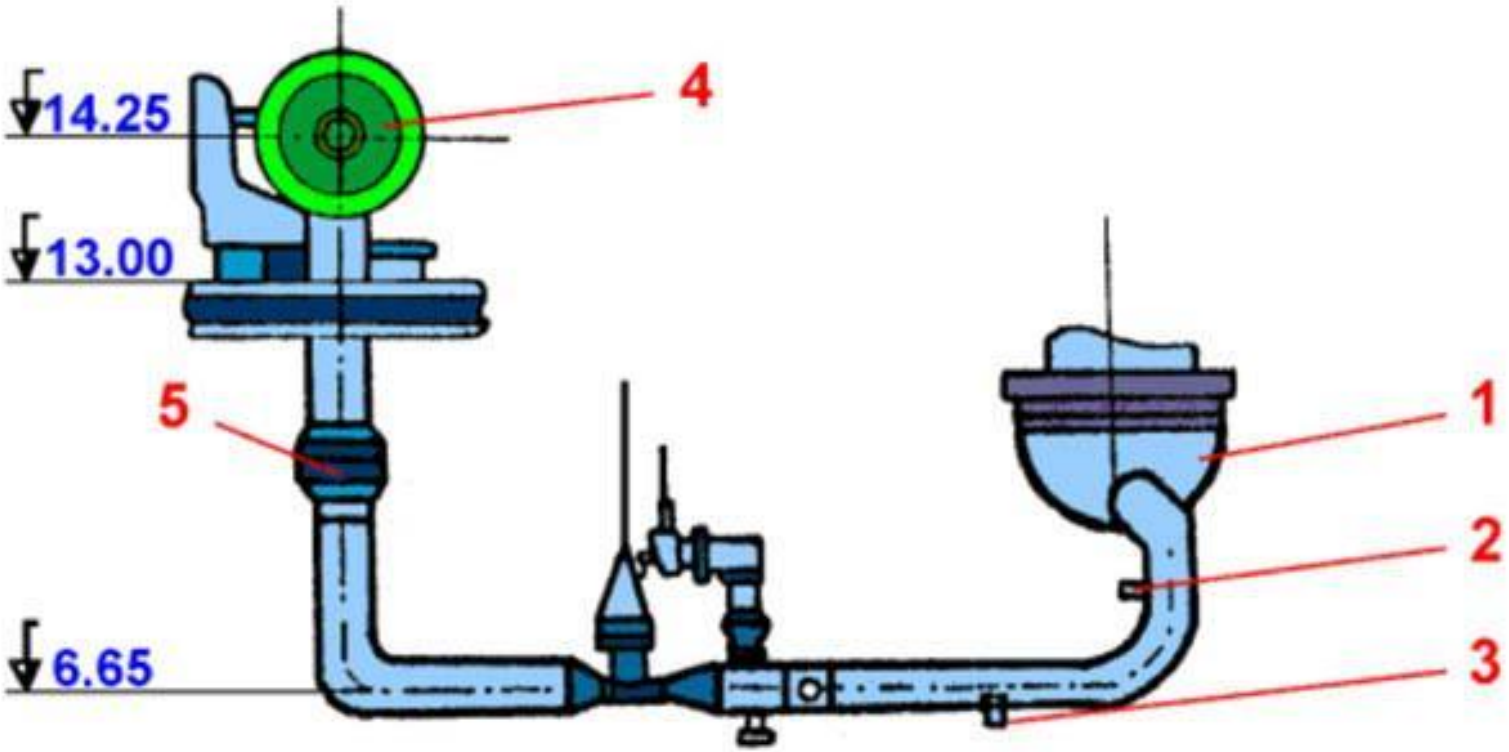
3-ШТУЦЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

4-ДРЕНАЖНАЯ ЛИНИЯ

ОТКИДНОЙ ЛЮК

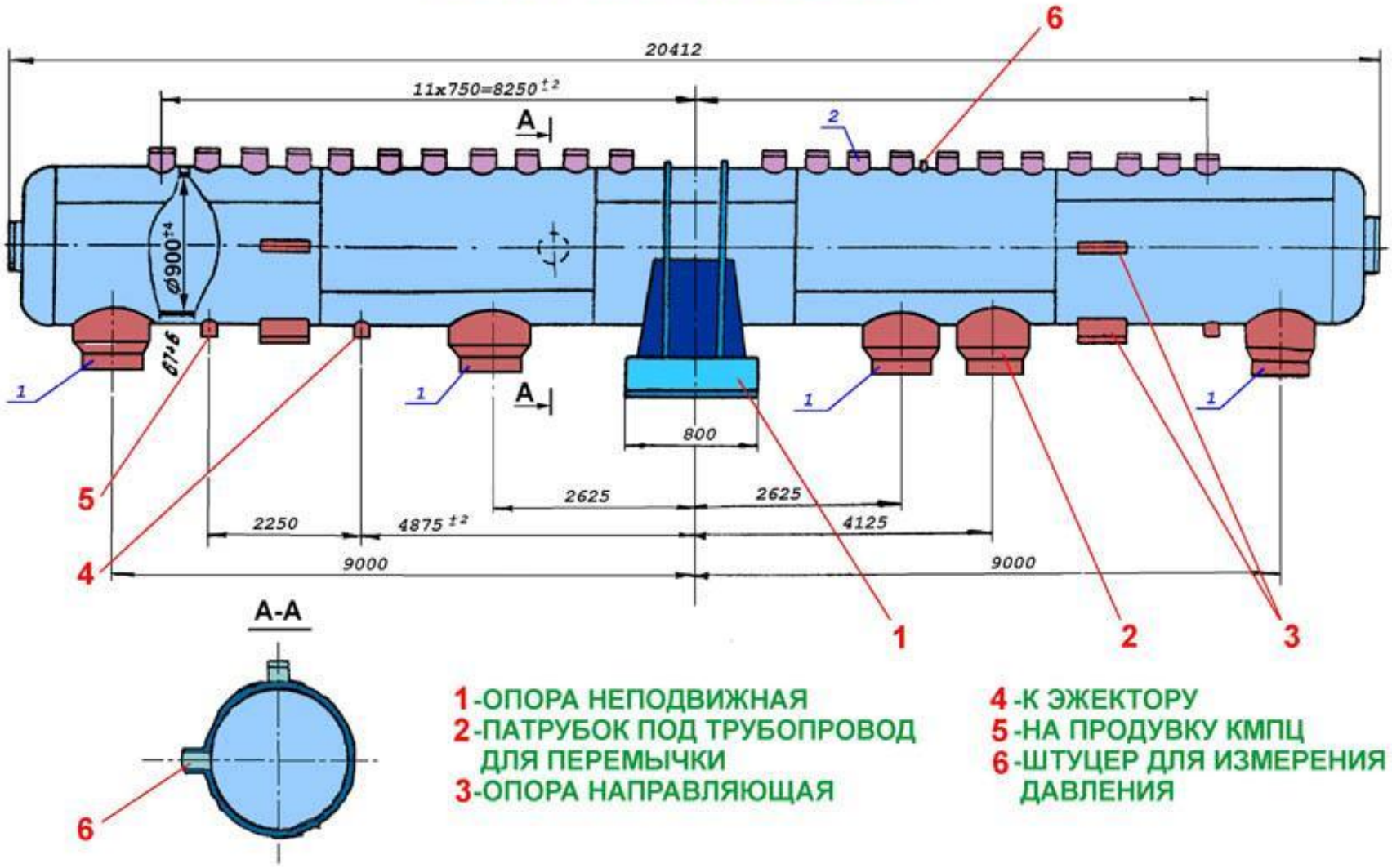


ТРУБОПРОВОД НАПОРНЫЙ



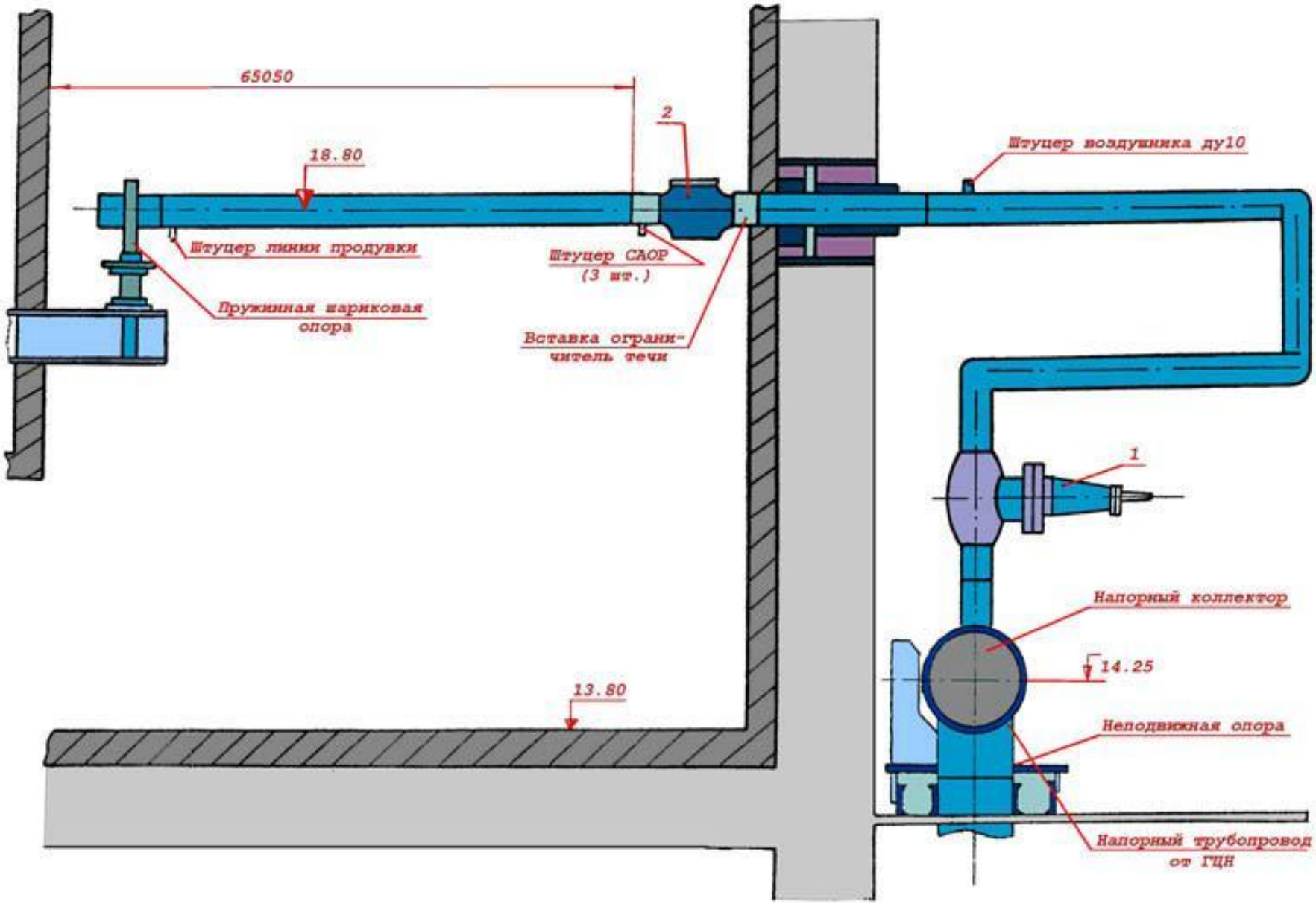
1 -БАК НАСОСА
2 -ШТУЦЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
3 -ШТУЦЕР ДЛЯ ТРУБОПРОВОДА К МУЛЬТИГИДРОЦИКЛОНУ
4 -НАПОРНЫЙ КОЛЛЕКТОР
5 -РАСХОДОМЕРНОЕ УСТРОЙСТВО

НАПОРНЫЙ КОЛЛЕКТОР

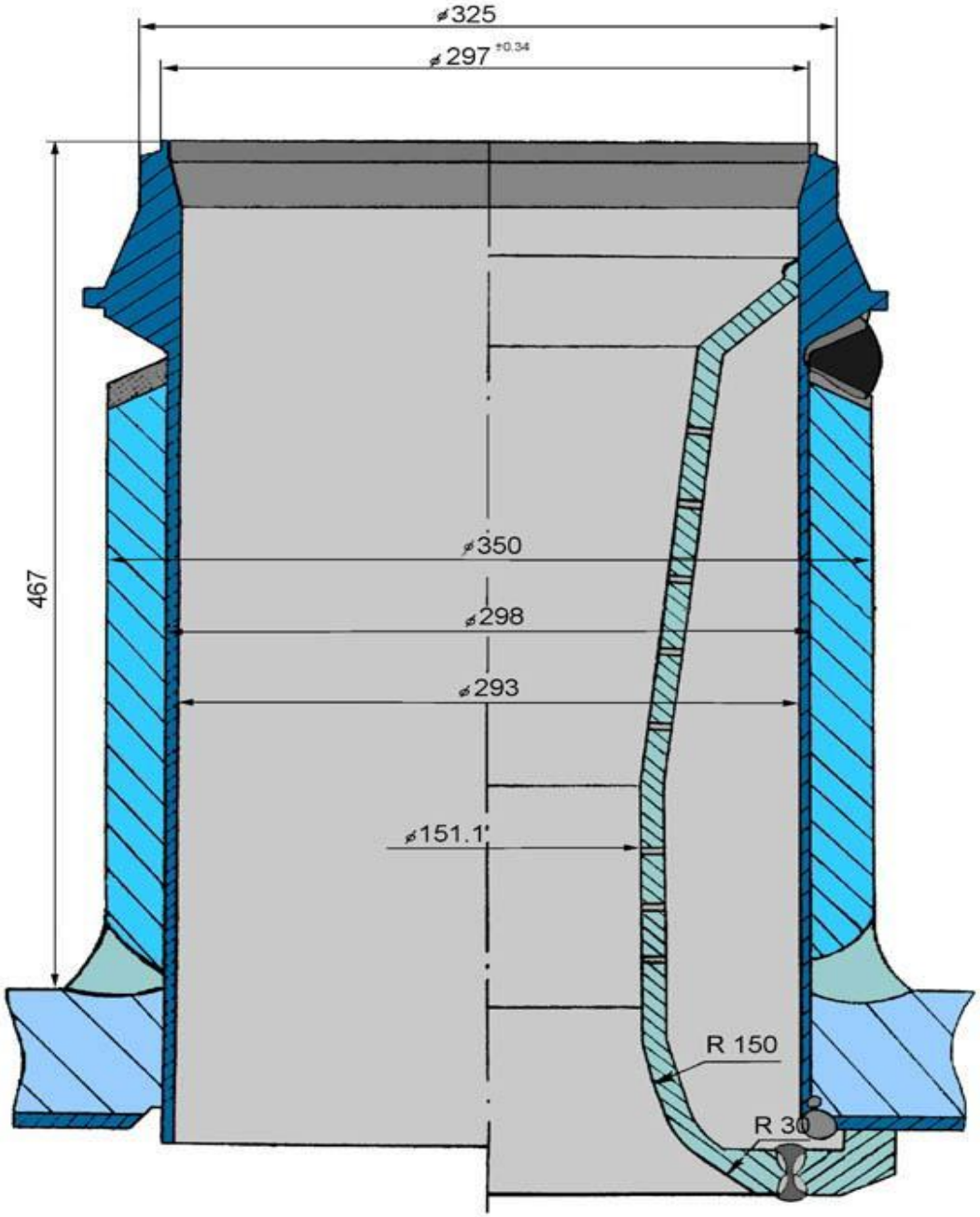


1-ОПОРА НЕПОДВИЖНАЯ
2-ПАТРУБОК ПОД ТРУБОПРОВОД ДЛЯ ПЕРЕМЫЧКИ
3-ОПОРА НАПРАВЛЯЮЩАЯ
4-К ЭЖЕКТОРУ
5-НА ПРОДУВКУ КМПЦ
6-ШТУЦЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

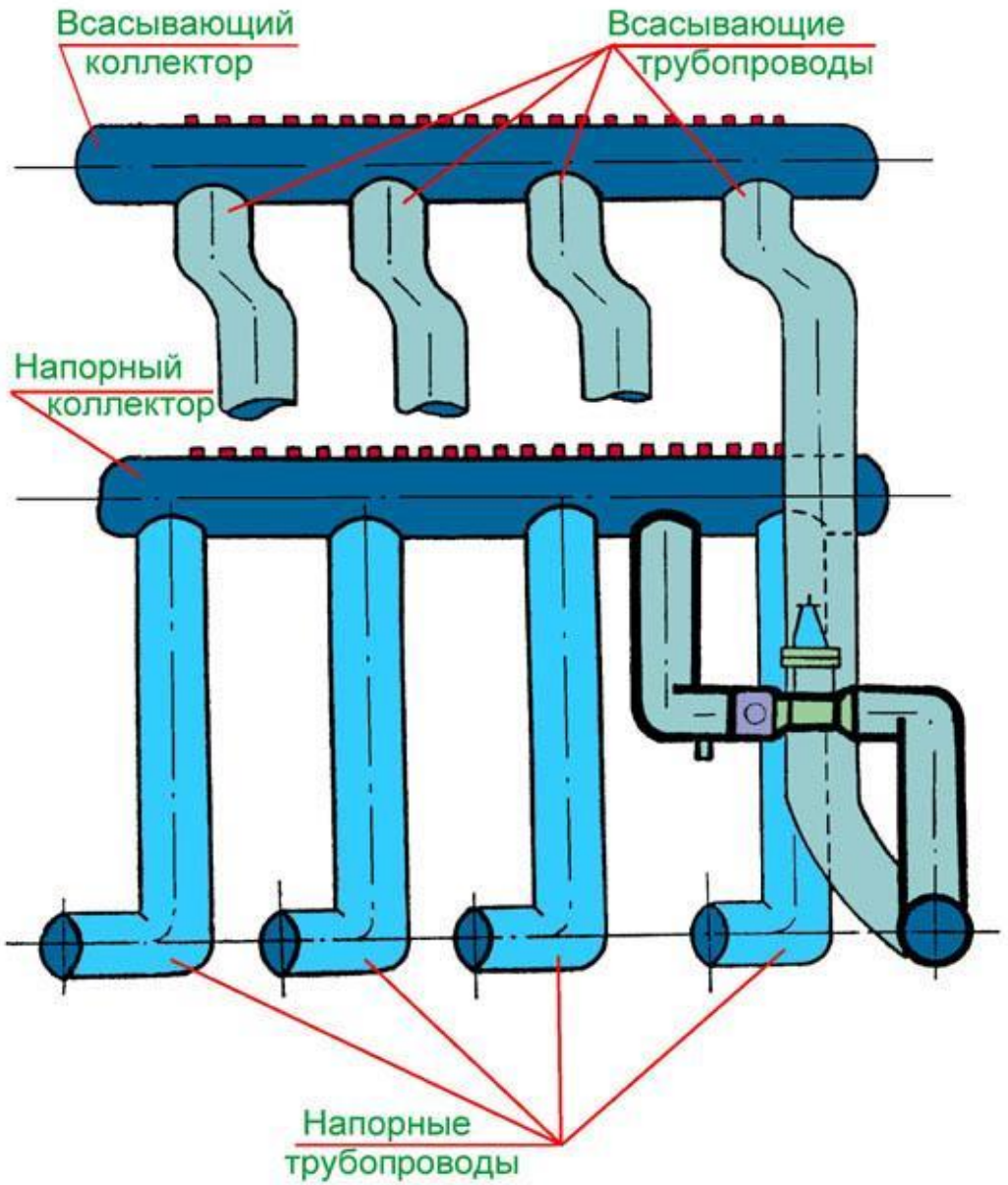
РАЗДАТОЧНЫЙ ГРУППОВОЙ КОЛЛЕКТОР



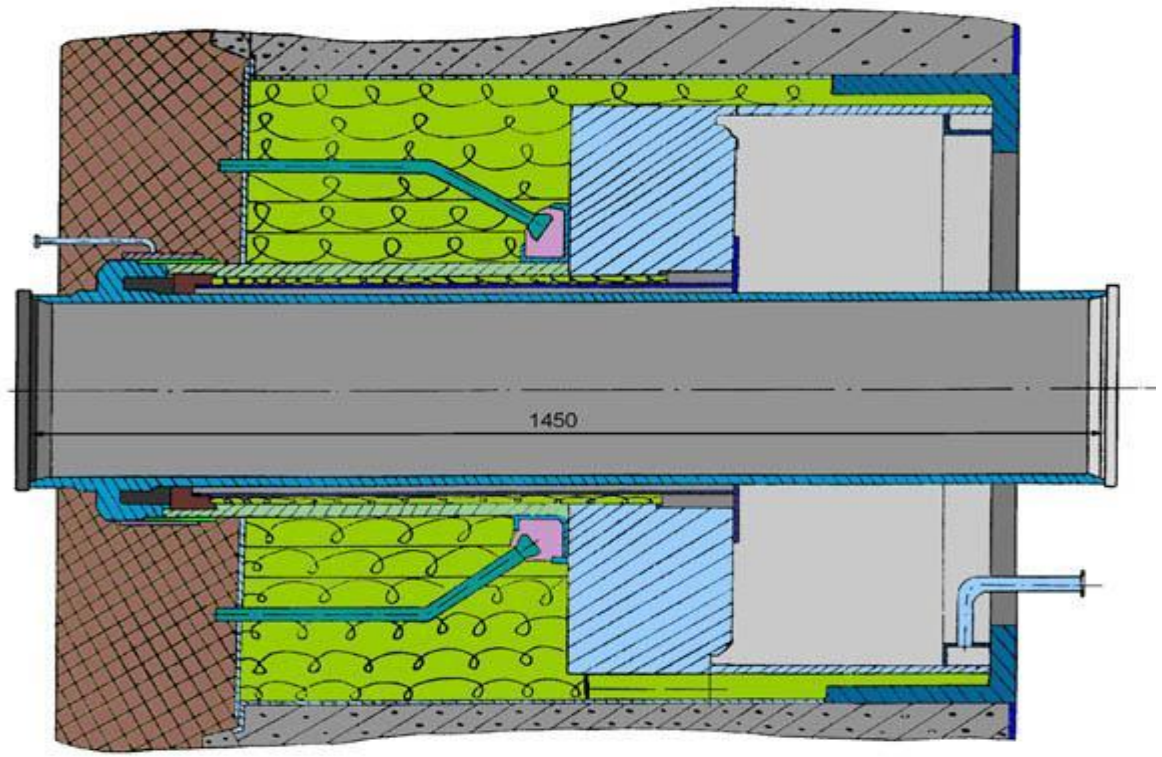
ОГРАНИЧИТЕЛЬ ТЕЧИ



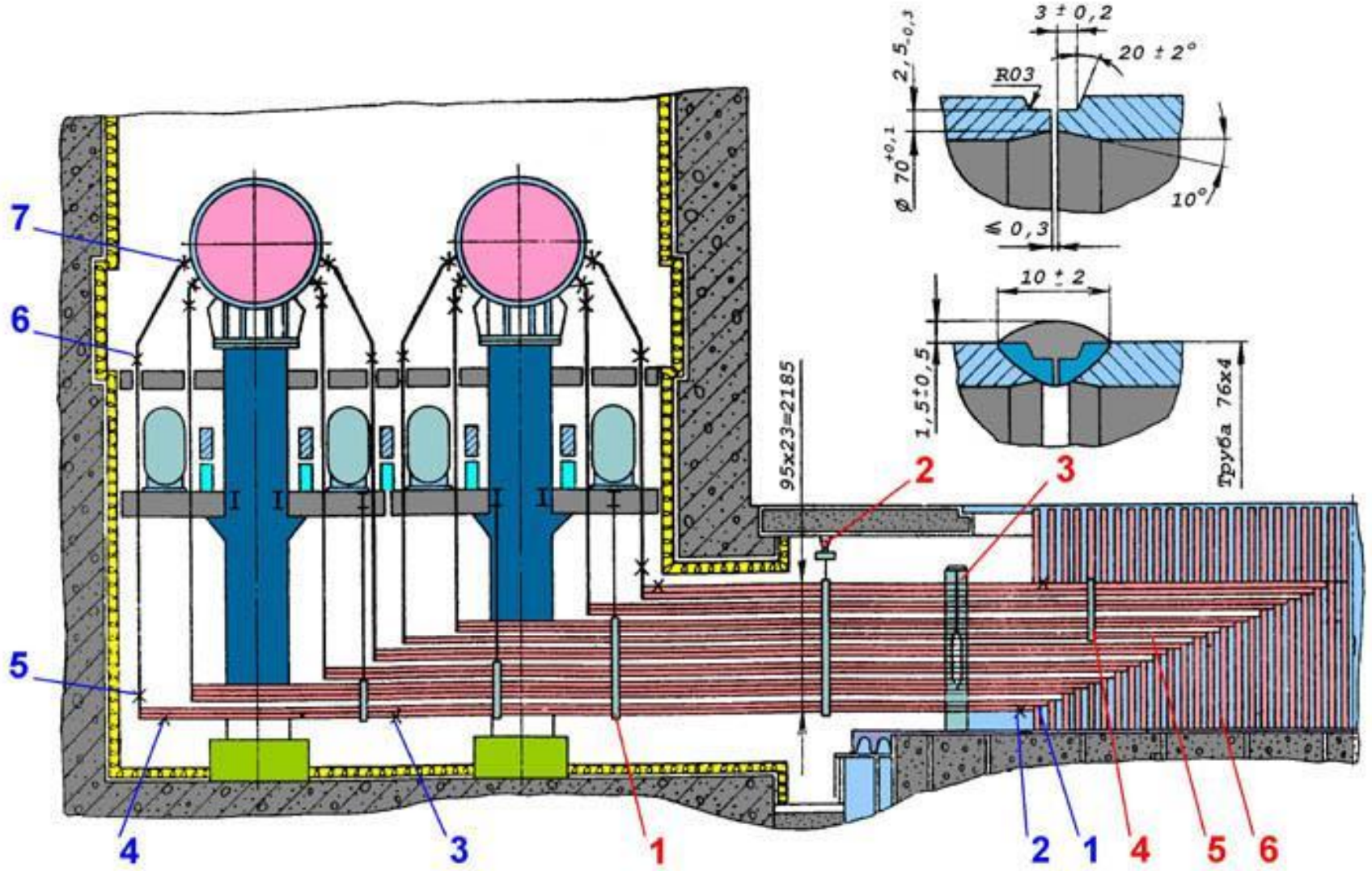
БАЙПАСНЫЙ ТРУБОПРОВОД



ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ГЕРМЕТИЧНАЯ ПРОХОДКА



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РАЗВОДКИ ТРУБОПРОВОДОВ ПВК



1 -ПОДВЕСКА
2 -БЛОК ПОДВЕСОК
3 -ГРУППОВАЯ ОПОРА
4 -НАПРАВЛЯЮЩАЯ ОПОРА
5 -ТРУБОПРОВОД
6 -СТОЯК
1-7 -НОМЕРА МОНТАЖНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ