



**СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

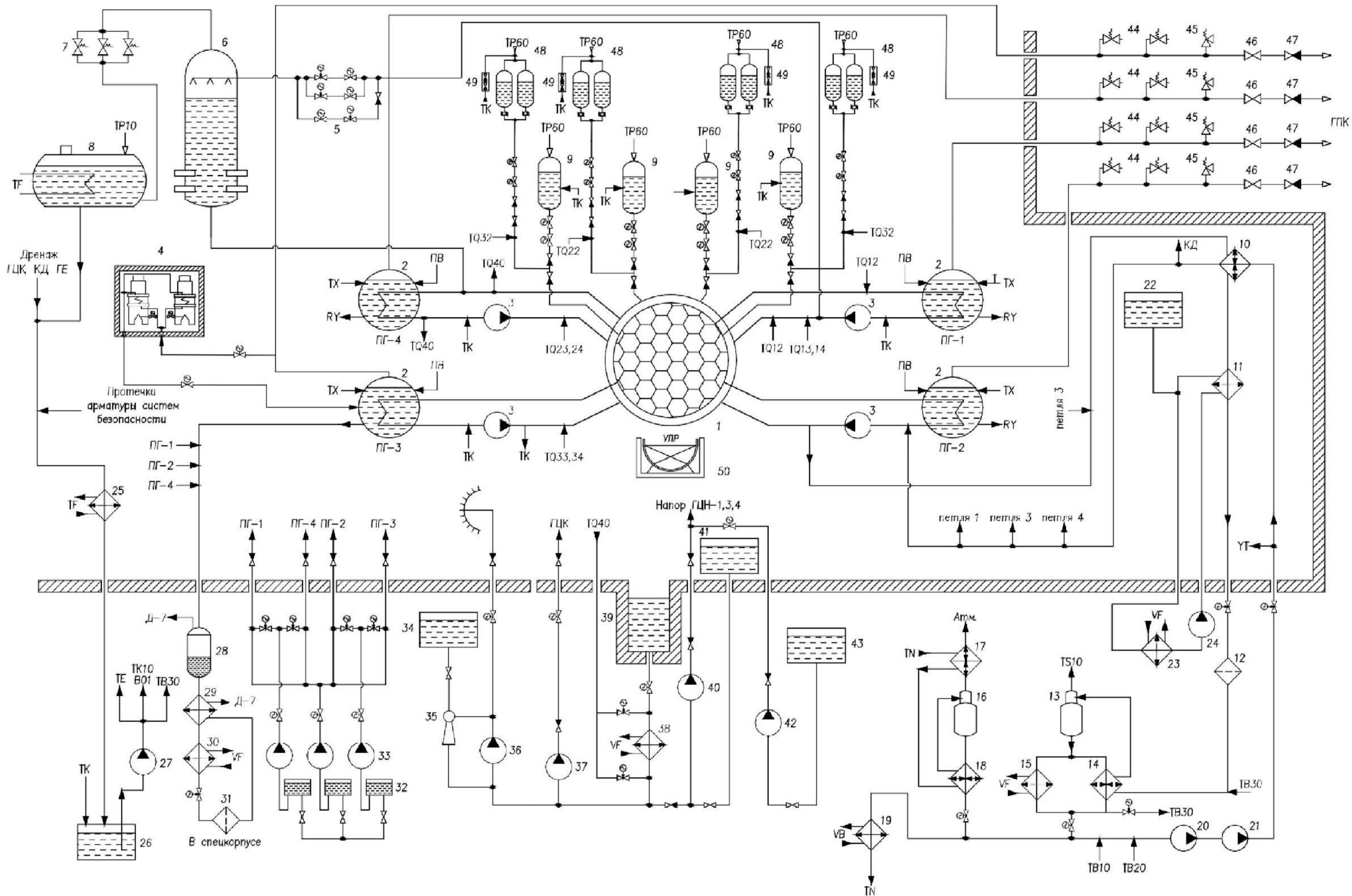
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

«Ядерная энергетическая установка атомной электрической станции. Анализ эффективности систем безопасности при разрыве паропровода второго контура в гермооболочке»

**Студент группы Асп/с-17-1-0
Чичетка А.С.**

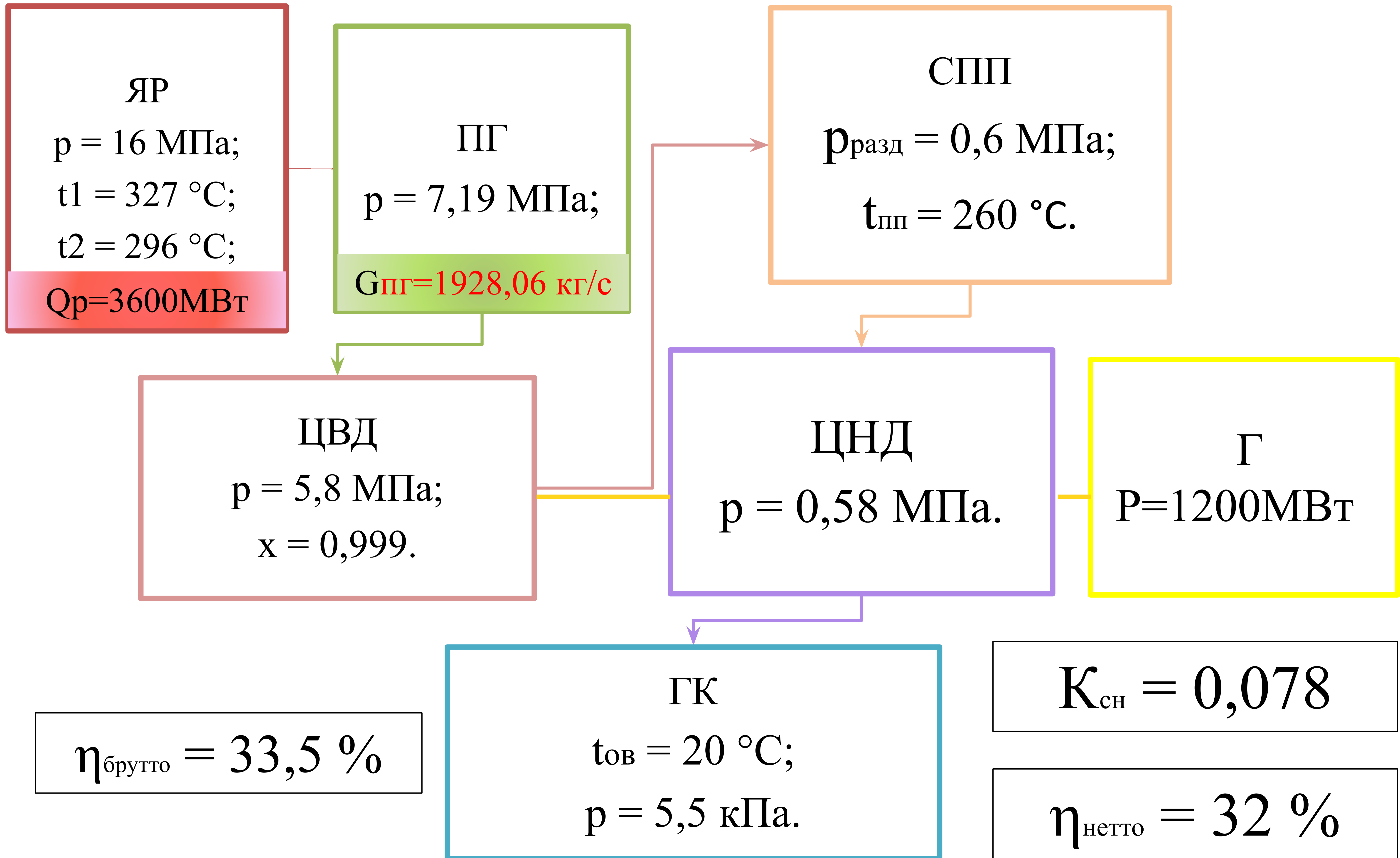
**Руководитель :
к. т. н. , доцент Матузаев К. Б.**

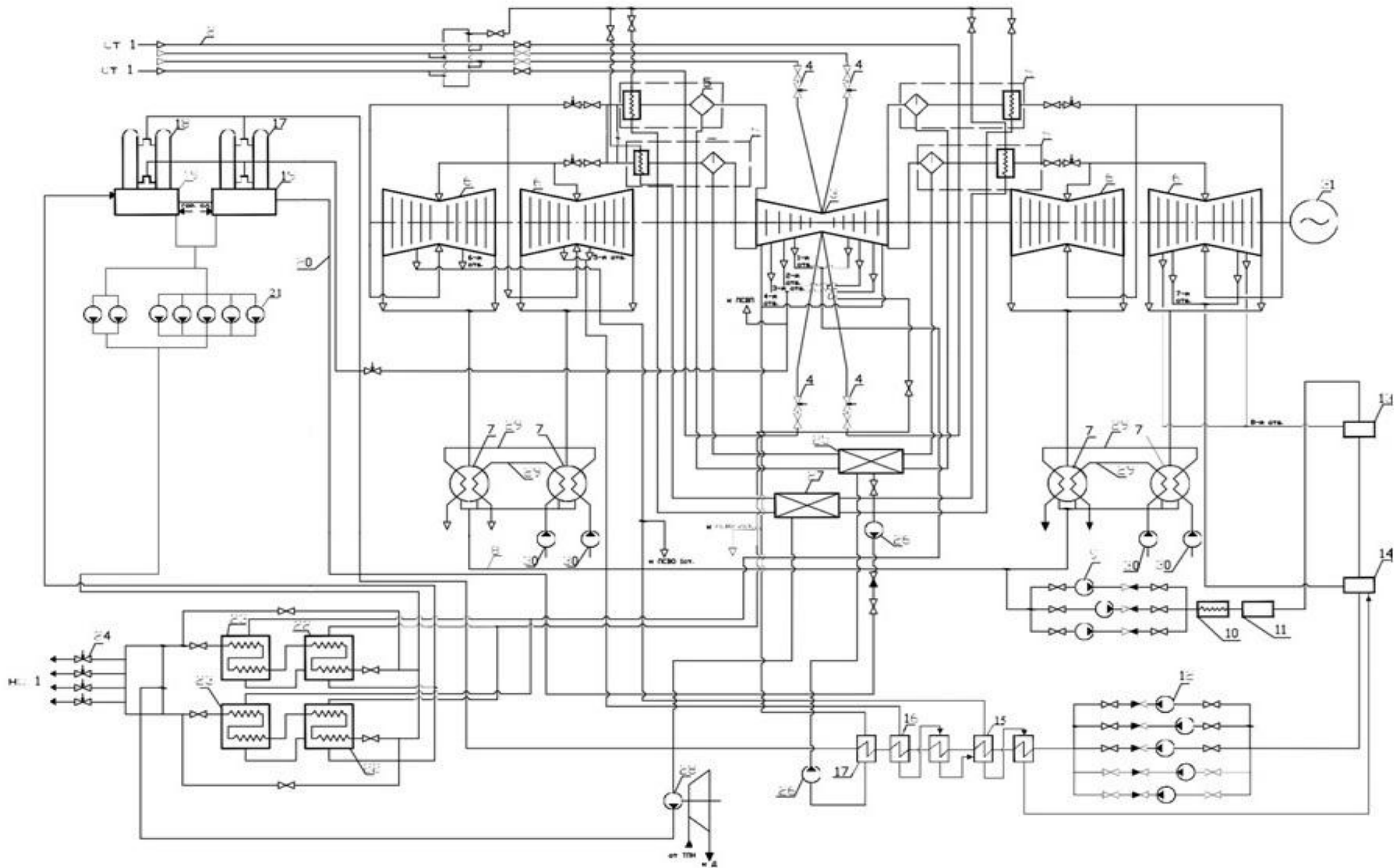
Севастополь 2023 г.



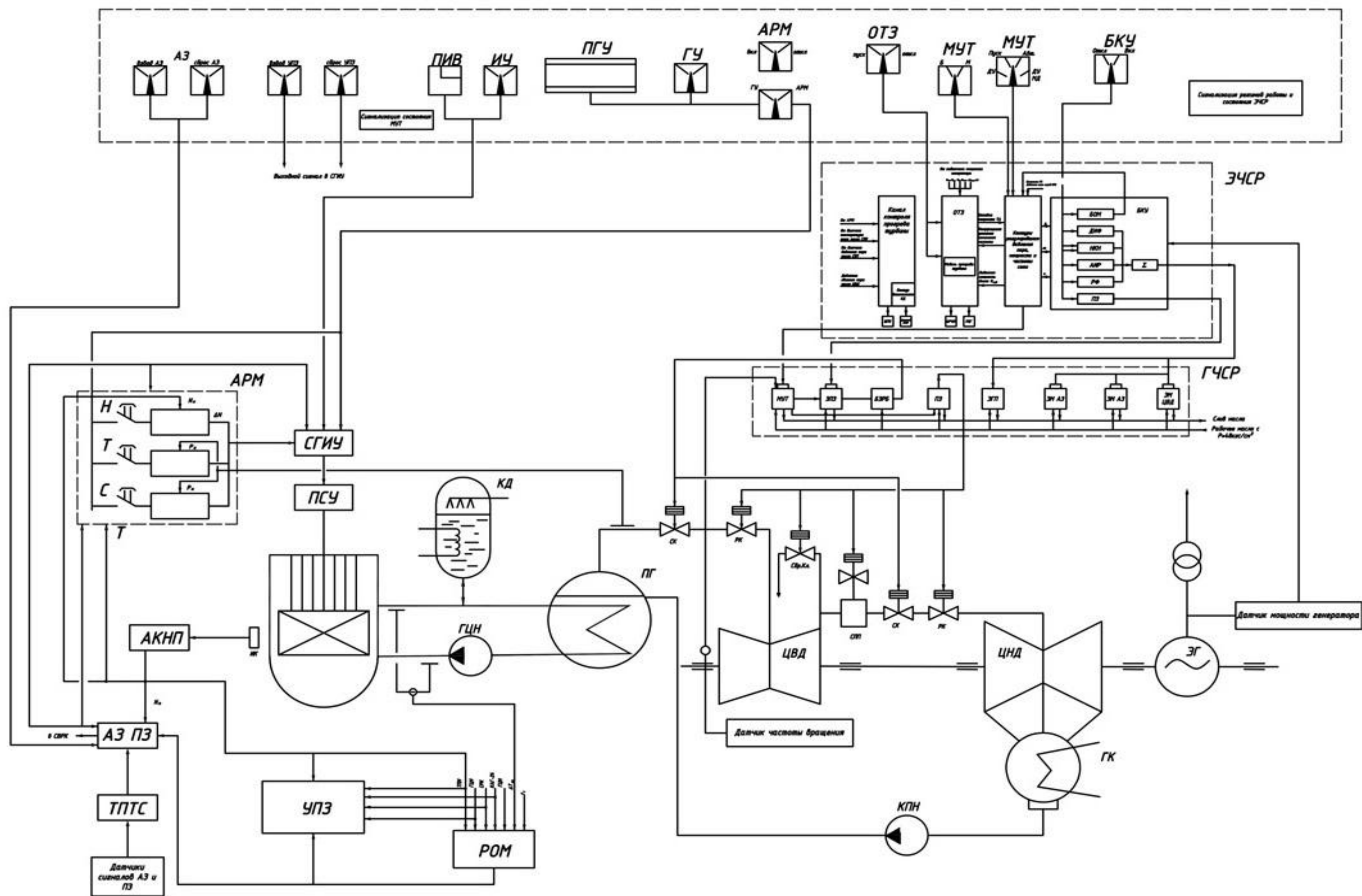
Функциональная схема РУ

ЯЭУ АЭС





Функциональная схема ГТУ



Структурная схема управления ЭБ

Отличия проектируемой установки от ВВЭР-1000 проекта В-320

- 1) Повышено давление в первом контуре до 16 МПа;
- 2) Добавлены ГЕ САОЗ 2-й ступени, что позволяет осуществлять длительный отвод остаточных тепловыделений от активной зоны ЯР;
- 3) Добавлена СПОТ ПГ, что позволяет осуществлять длительный отвод остаточных тепловыделений через второй контур при полном обесточивании энергоблока;
- 4) ТПН заменен на электропитательный насос. Это позволило снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт;
- 5) Была повышена мощность с 1000 до 1200 МВт для уменьшения себестоимости электроэнергии.

Описание аварийного режима

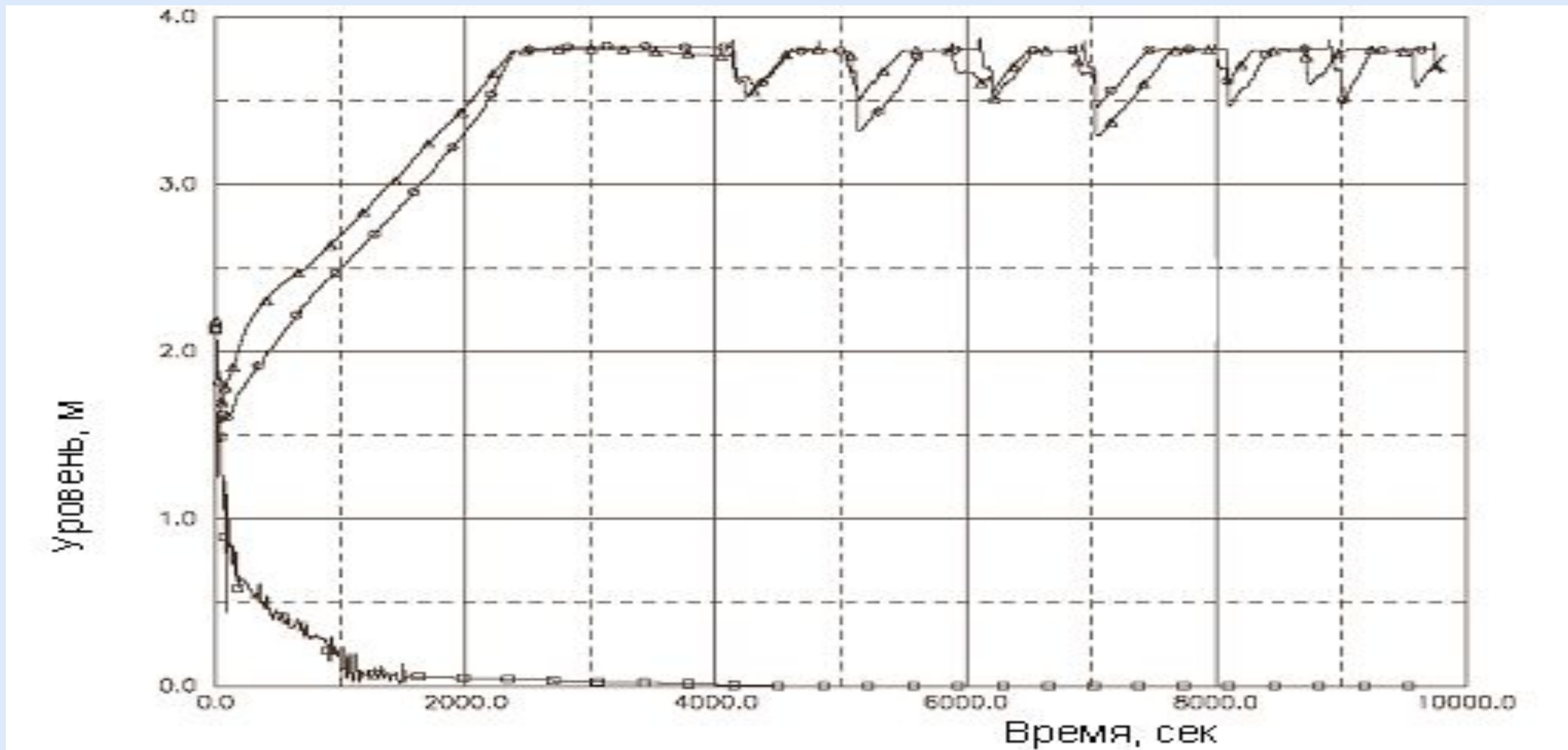
В данном дипломном проекте рассматривается авария с резким увеличением расхода пара от парогенератора в результате разрыва главного паропровода 2 контура в гермооболочке. Данная ситуация возможна при расположении места разрыва на паропроводе одного парогенератора до отсечных клапанов TX50S06, TX60S06, TX70S06, TX80S06.

При возникновении такого разрыва, происходит рост параметров среды в помещениях защитной оболочки, приводящий к закрытию локализующей арматуры и, как следствие, к отключению всех ГЦН и прекращению подпитки-продувки первого контура.

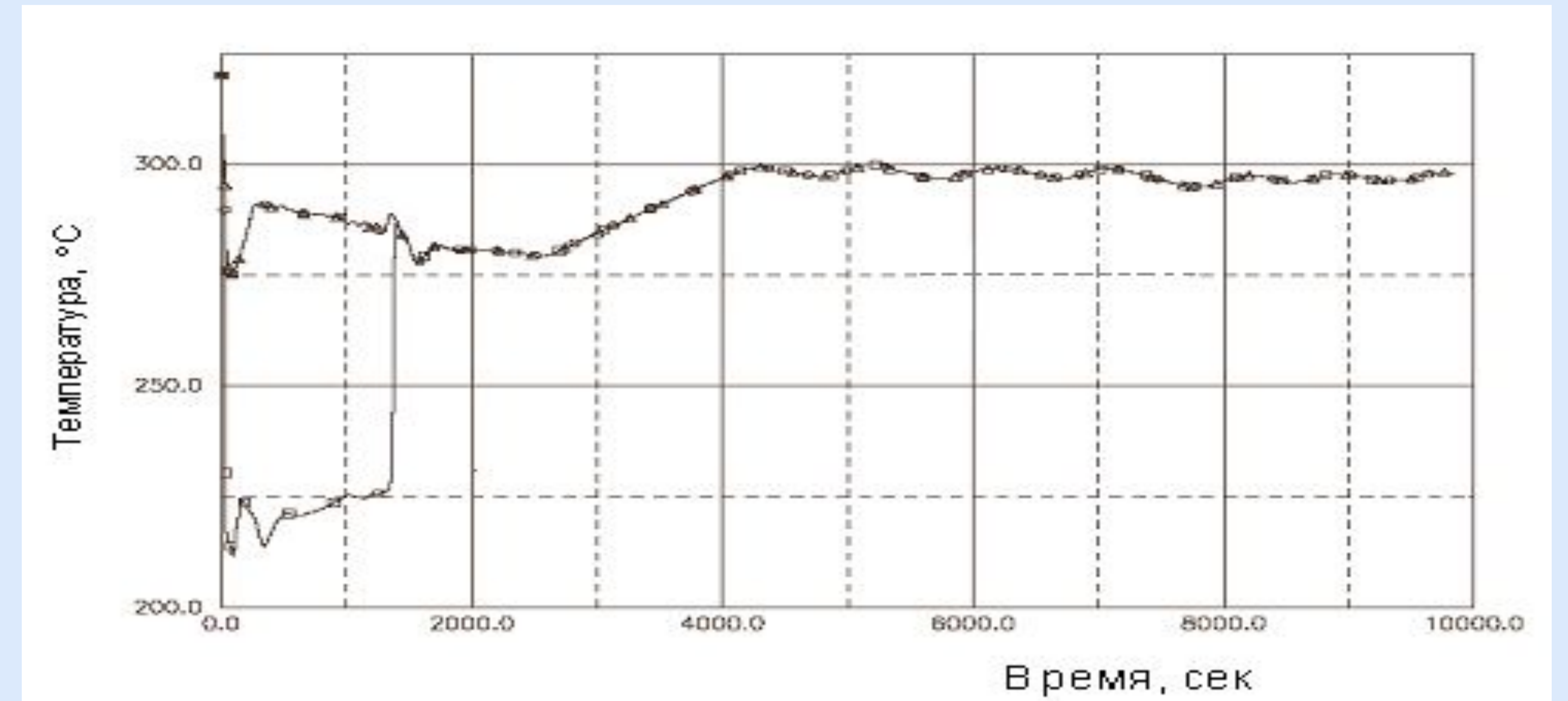
Основными признаками разрыва паропровода парогенератора с полным сечением является:

- 1) Срабатывание АЗ 1,2 комплектов и запуск каналов систем безопасности по фактору:
 - " $\Delta T_s \geq 75 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_{2к} \leq 50 \text{ кгс/см}^2$ ";
 - " $\Delta T_s \geq 75 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_{2к} \leq 50 \text{ кгс/см}^2$, $T_{1к} \geq 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ".
- 2) Отключение одного ГЦН YD10(20,30,40)D01 по факту работы защиты YBF04 (перепад на обратном клапане TX50(60,70,80)S07 менее минус 2 кгс/см² и давление в паропроводе менее 45 кгс/см²).
- 3) Непреставляющееся быстрое снижение давления в одном из парогенераторов YB10(20,30,40)W01
- 4) Повышение параметров под оболочкой. Срабатывание защиты по превышению $P_{г.о.} > 0,3 \text{ кгс/см}^2$.
- 5) Посадка БЗОК на повреждённом паропроводе TX50(60,70,80)S06.
- 6) Закрытие арматуры питательной воды (основной и аварийной) на парогенераторе аварийной нитки.
- 7) Снижение температуры "холодной" нитки одной из петель (повреждённой) значительно меньше, чем в трех остальных - СВРК.

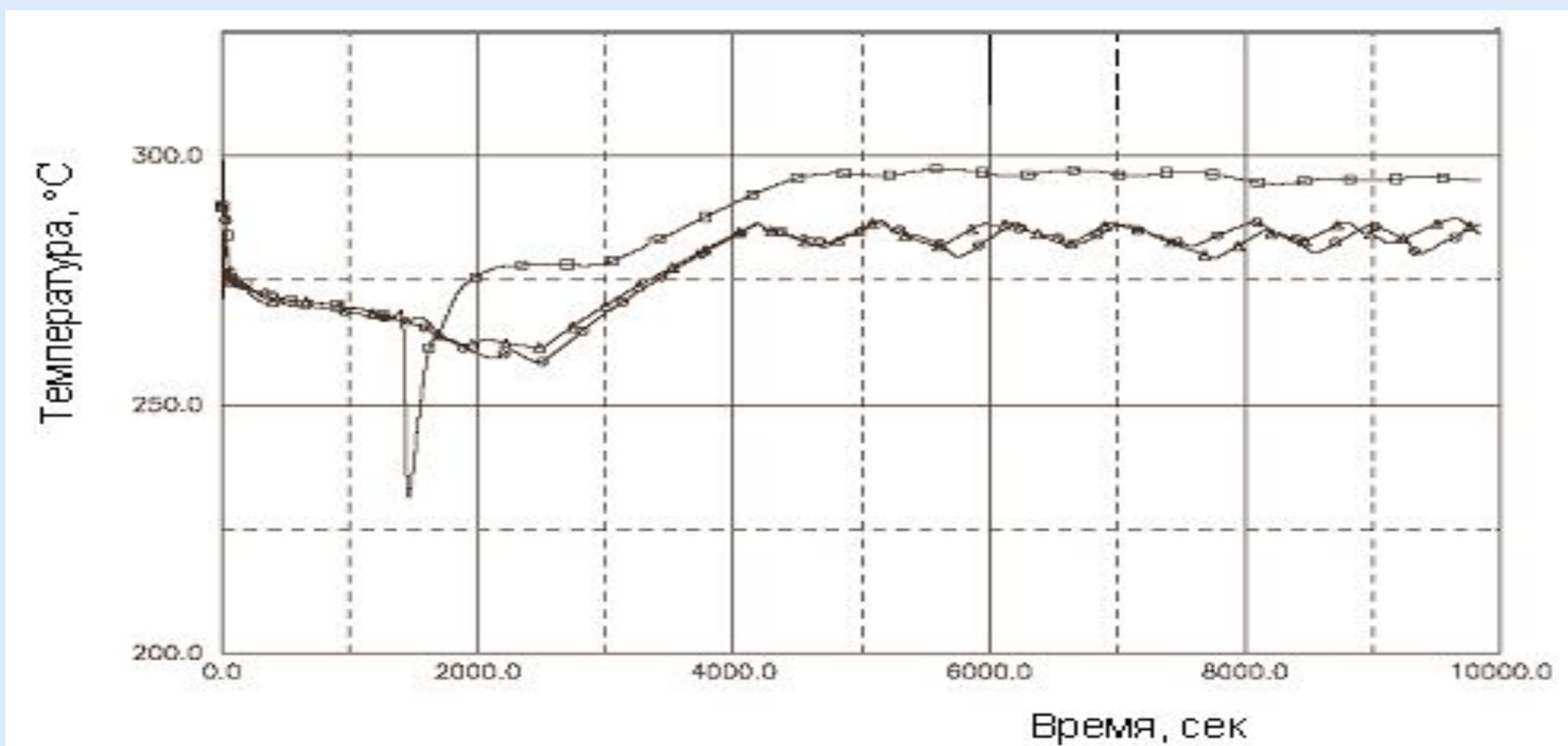
Переходные процессы в РУ при разрыве паропровода одного из ПГ на не отсекаемом участке



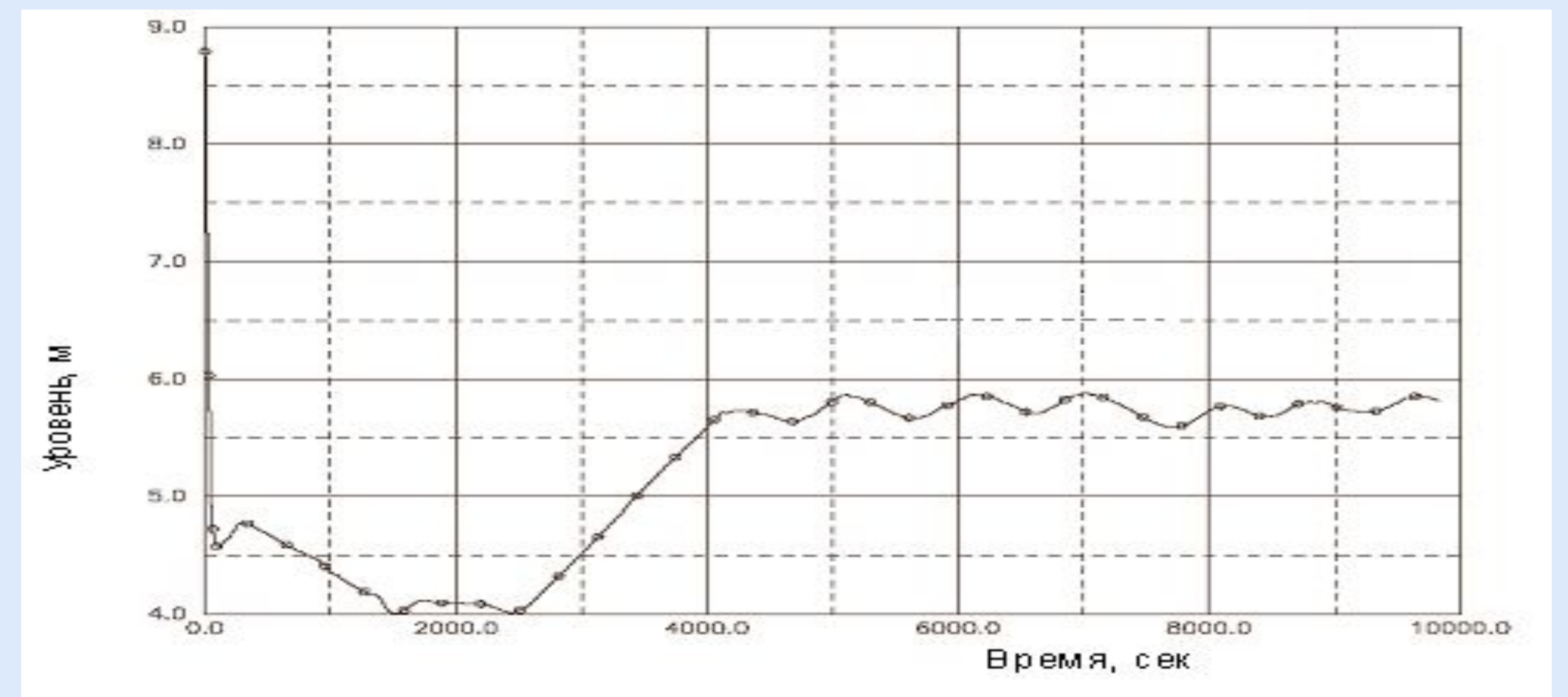
Изменения уровня в парогенераторе (с аварийным УВ10W01, с работоспособными УВ20,30W01)



Изменения температуры «горячих» ниток (с аварийным парогенератором УВ10W01, с работоспособными УВ20,30W01)



Изменения температуры «холодных» ниток (с аварийным парогенератором УВ10W01, с работоспособными УВ20,30W01)



Изменения уровня в КД

Действия персонала

- 1) Контролируется срабатывание АЗ и защит по течам 2-го контура и дублирование действий автоматики, включение механизмов систем безопасности.
- 2) Закрытие СК ТГ. Определяется «повреждённый» парогенератор, закрывается БЗОК на паропроводе «аварийного» ПГ.
- 3) Контролируется закрытие (закрывается) с запретом на открытие арматуры подачи нормальной и аварийной питательной воды в «поврежденный» ПГ, если после этого все же сохраняется расход питательной воды, то после останова реактора АЗ - отключить ТПН и ВПЭН, и дальнейшая подпитка неповреждённых парогенераторов осуществляется от АПЭН.
- 4) Контролируется отключение (отключается) ГЦН циркуляционной петли с «аварийным» ПГ.
- 5) Персонал обеспечивает ввод борной кислоты в 1 контур до создания концентрации НзВОз в 1 конуре 16 г/дм^3 для надежного перевода реактора в подкритичное состояние и контролирует подачу борной кислоты на спринклерные устройства.

Начальные условия

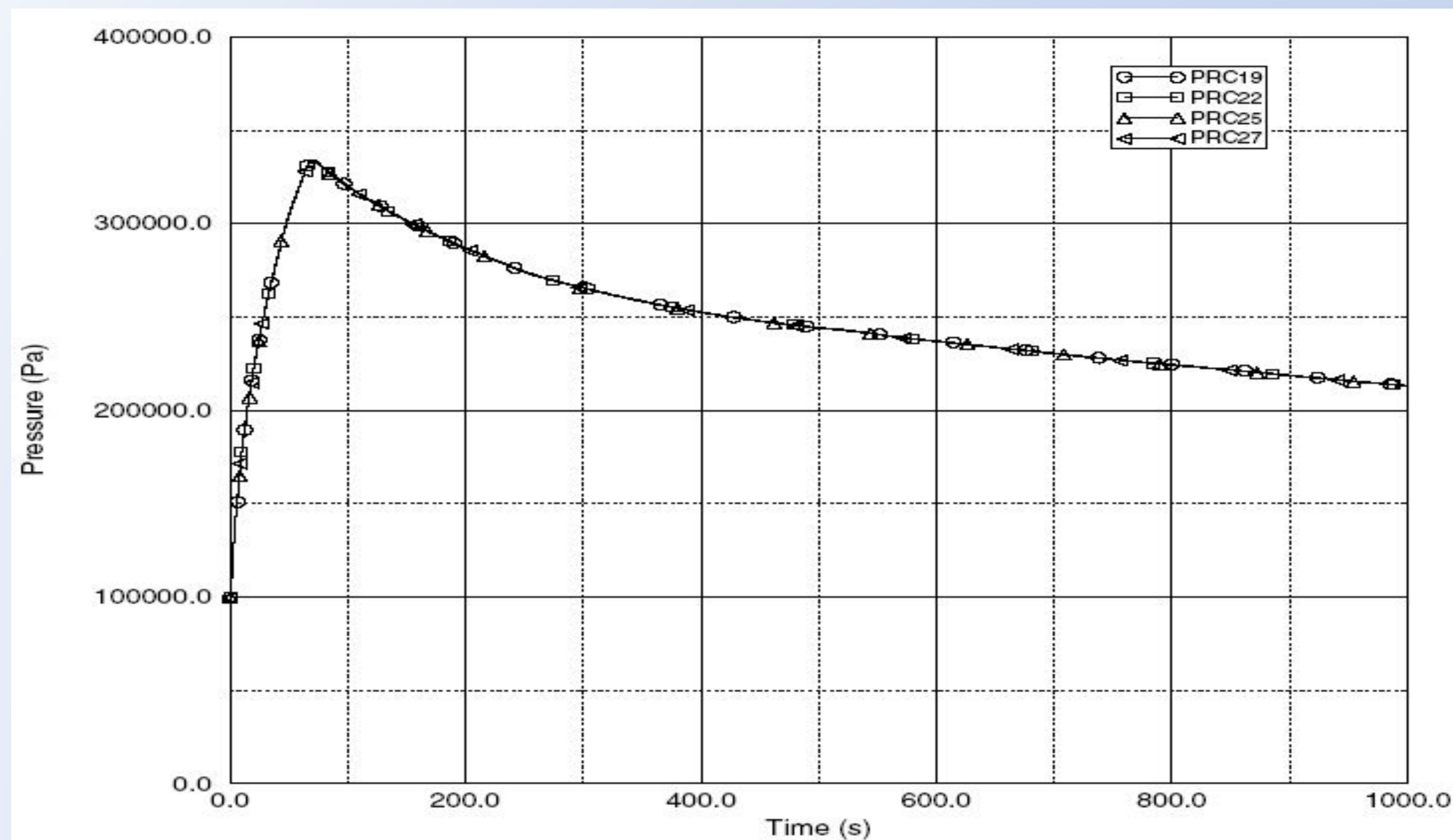
Параметр состояния	Проектное значение	Начальное условие
Давление в помещениях гермообъема (абсолютное), МПа	0,085...0,099 ^{±1,0%}	0,10
Температура в помещениях гермообъема, ° С	15...60 ^{±1,5%}	14,8
Относительная влажность, %	до 90	40
Температура воды в баке-приямке, °С	–	60
Температура на поверхности тепловых структур, °С	–	60
Температура окружающей среды, °С	–	42

Граничные условия

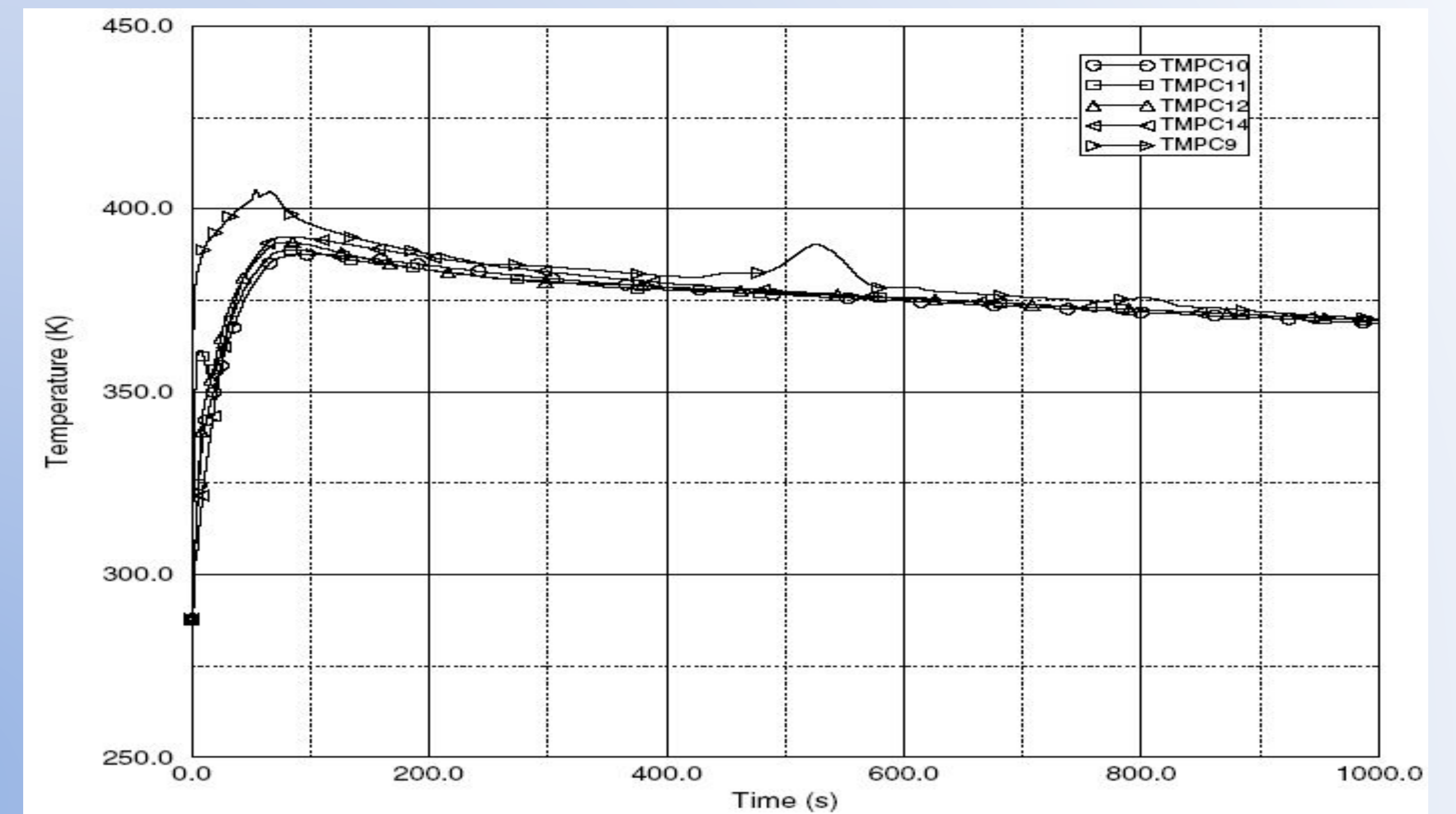
Расчетный анализ рассматриваемой аварии выполнен для временного интервала от 0 до 1000 секунд,

- 1) Мгновенное закрытие гермоклапанов вентсистем и другой локализующей арматуры на линиях, соединяющих помещения гермообъема с негерметичной частью реакторного отделения;
- 2) Не учитывается работа рециркуляционных систем вентиляции, являющихся системами нормальной эксплуатации;
- 3) Утечка среды из помещений гермообъема за счет существующей неплотности гермооболочки не учитывается;
- 4) В качестве единичного отказа постулируется отказ одного канала спринклерной системы;
- 5) Дополнительно, считается, что один из двух оставшихся каналов спринклерной системы неработоспособен;
- 6) В работе находится один канал спринклерной системы;
- 7) Расход насоса спринклерной системы составляет $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($194,44 \text{ кг/с}$);
- 8) За все время расчета не выполняется расхолаживание бассейна выдержки (БВ) системой TG;
- 9) Действия персонала не рассматривались.

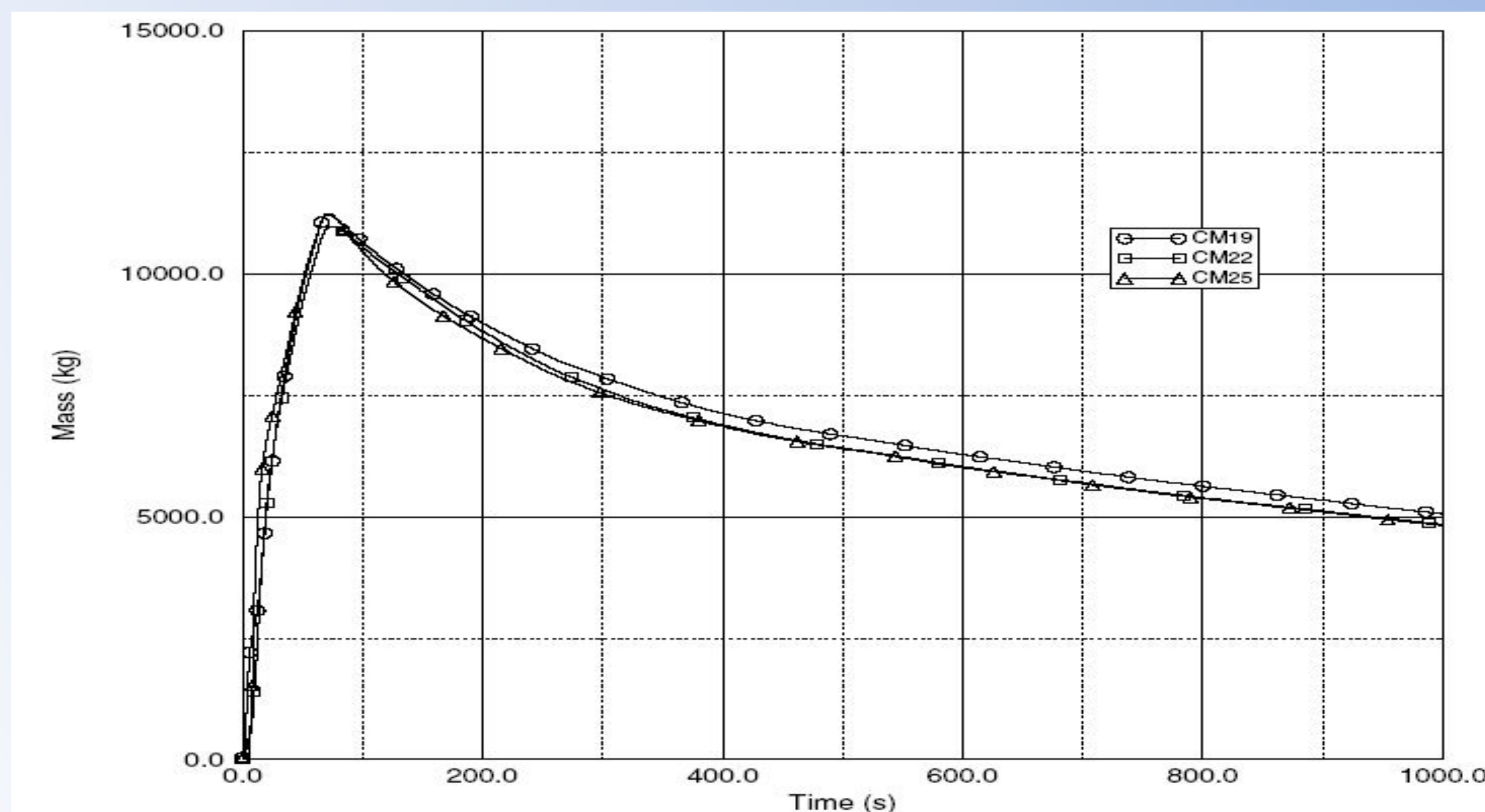
Изменение параметров среды в ГО при аварии для 1 этапа расчета



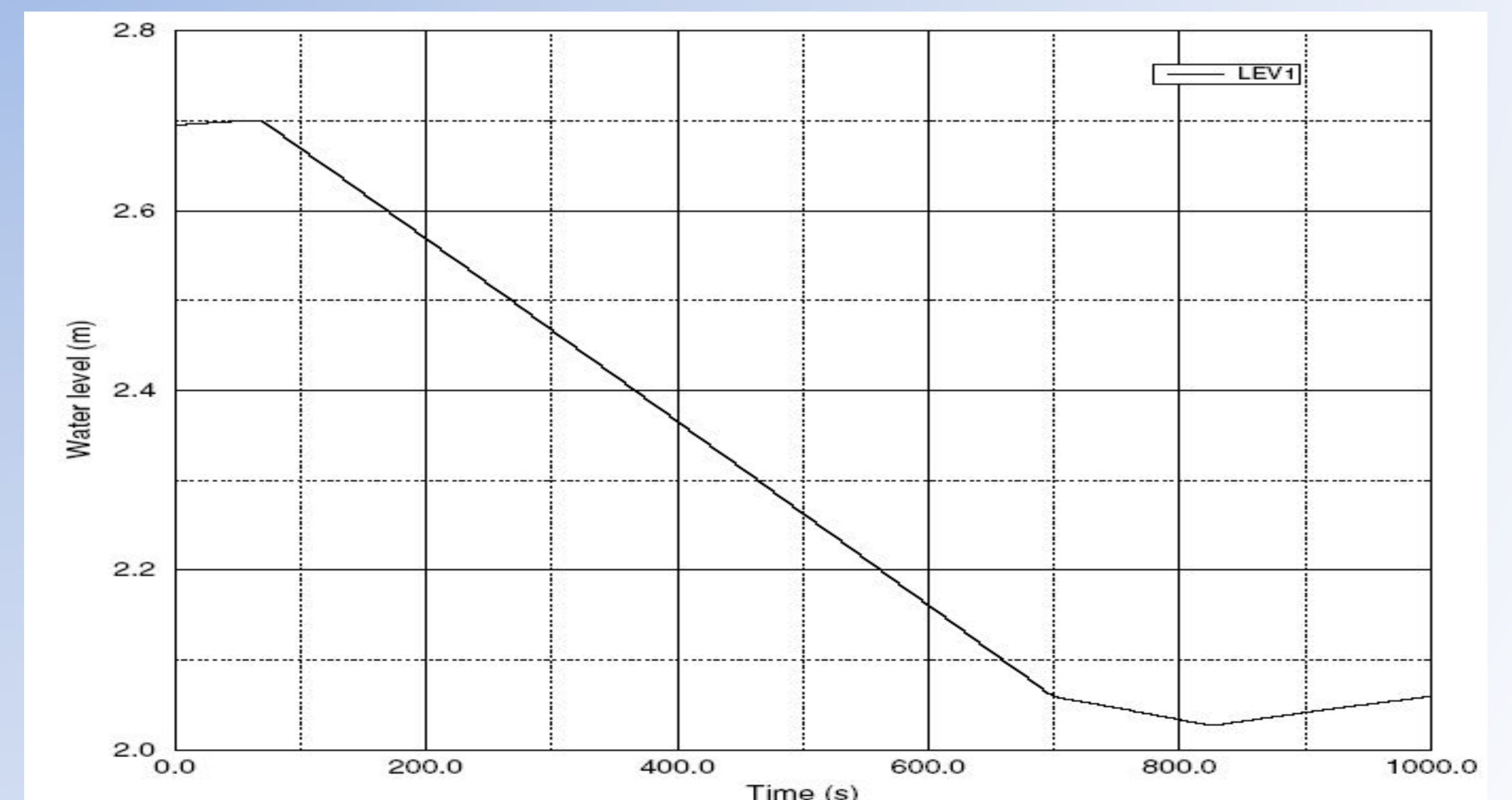
Давление в помещениях гермообъема



Температура в помещениях гермообъема



Масса пара в помещениях гермообъема

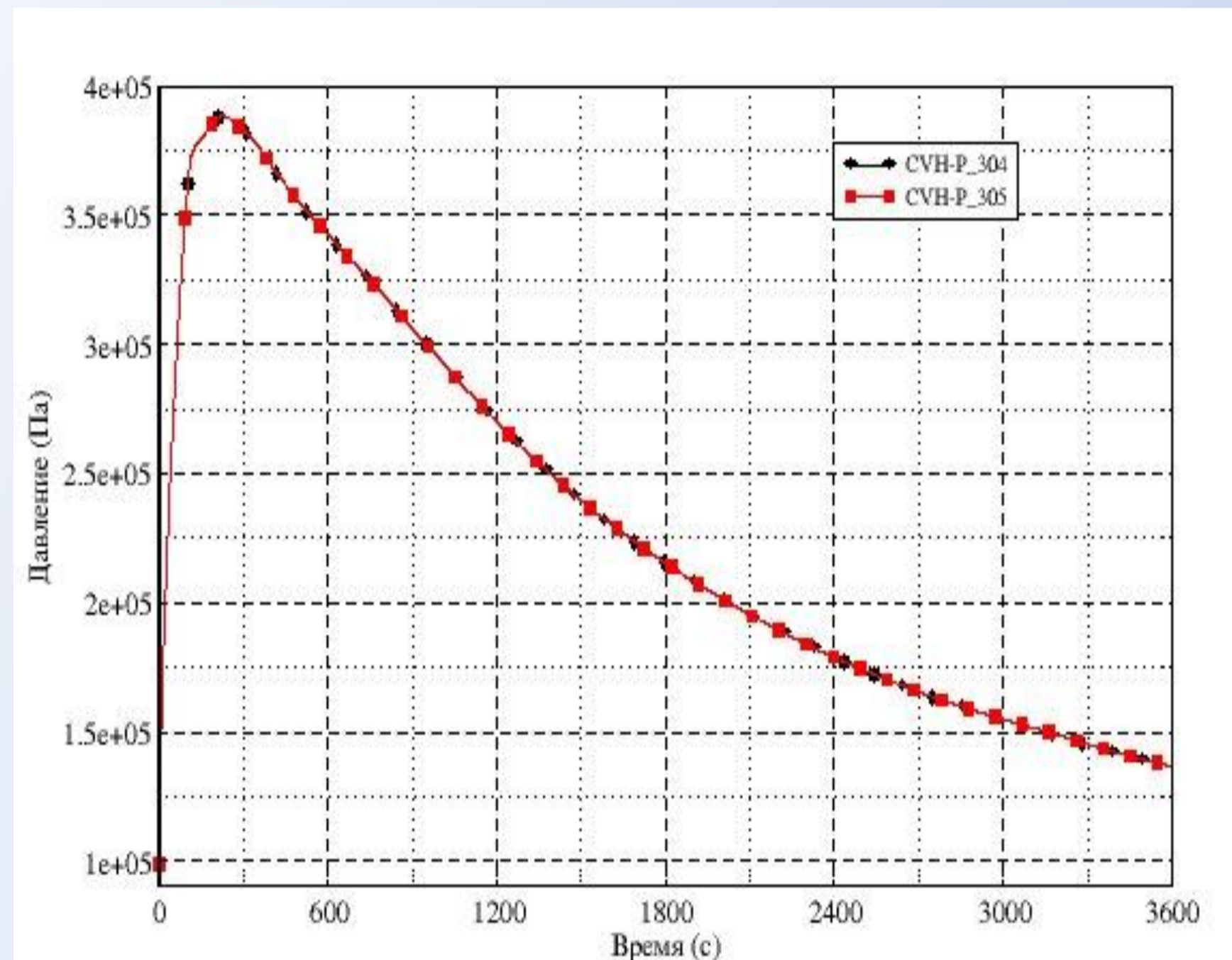


Уровень воды в баке приемке

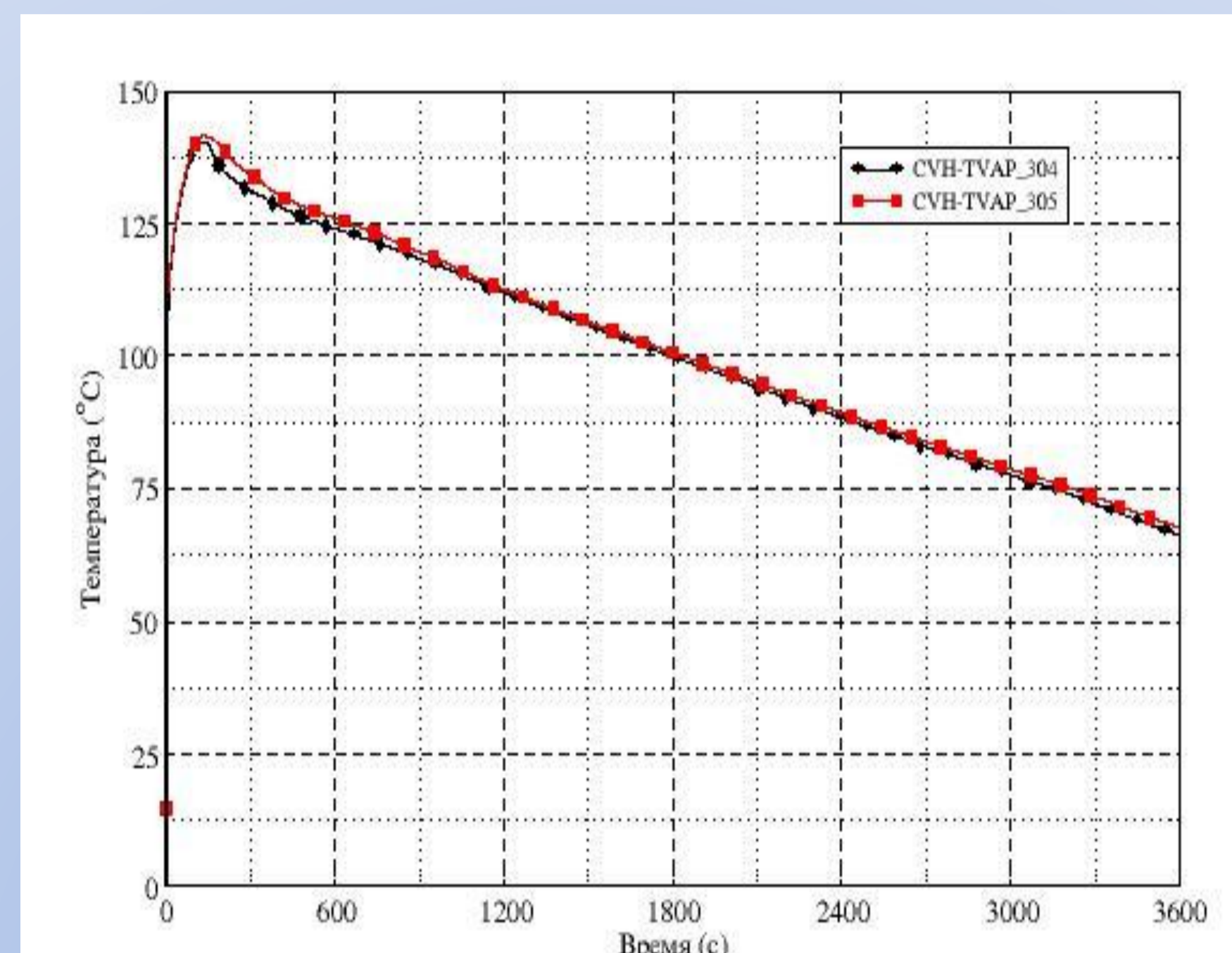
Начальные условия

Параметр состояния	Проектное значение	Начальное условие
Давление в помещениях гермообъема (абсолютное), кгс/см ²	0,7 ... 1,2 ^{±1,9%}	1,223
Температура в помещениях гермообъема, °С	30 ... 75 ^{±2,5%}	29,25
Относительная влажность, %	не более 90	40
Температура воды в баках САОЗ НД, °С	не менее 55	60
Температура на поверхности тепловых структур, °С	—	75
Температура окружающей среды, °С	—	40

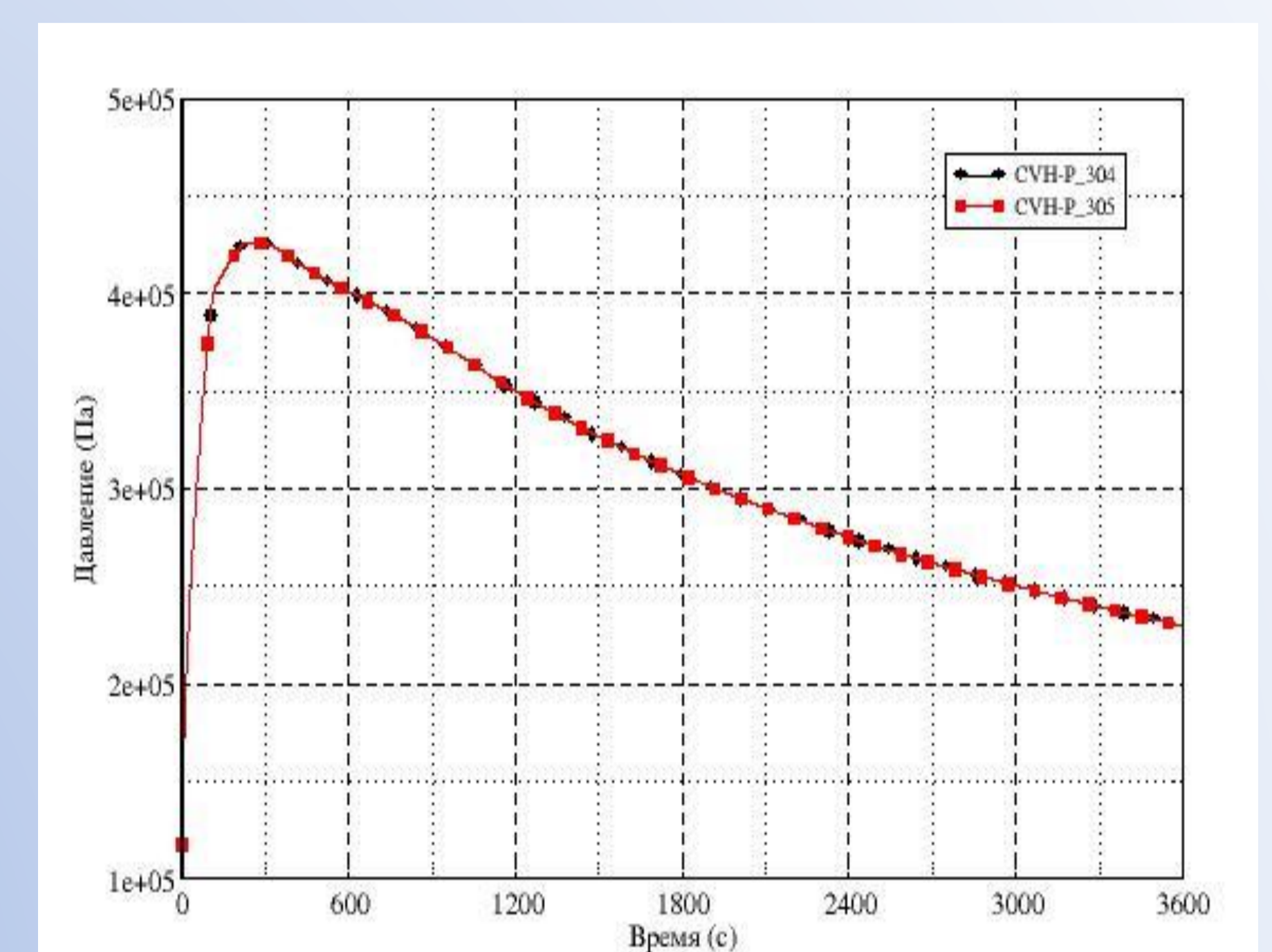
Изменение параметров среды в ГО при аварии для 2 этапа расчета



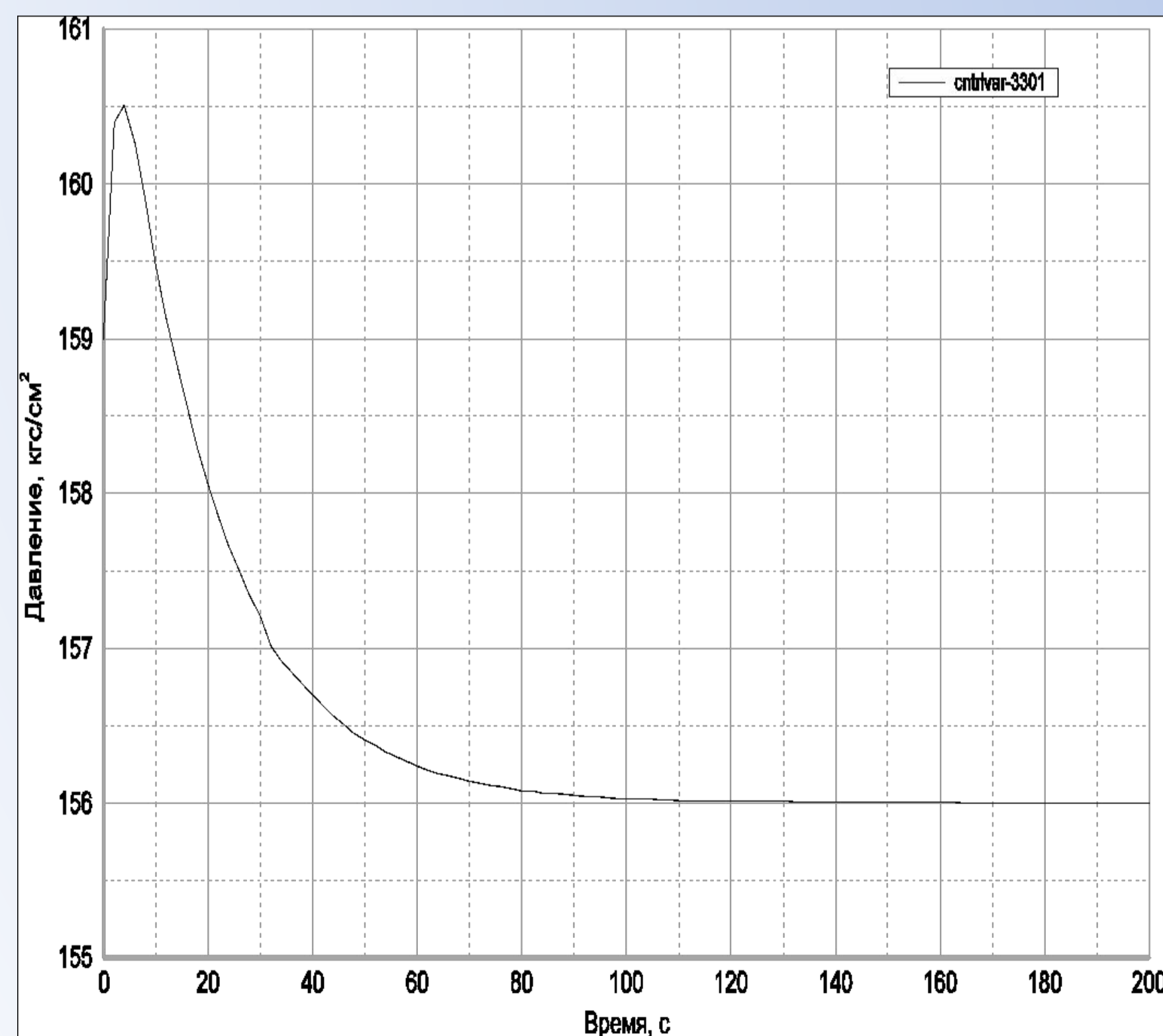
Давление в помещениях гермозоны



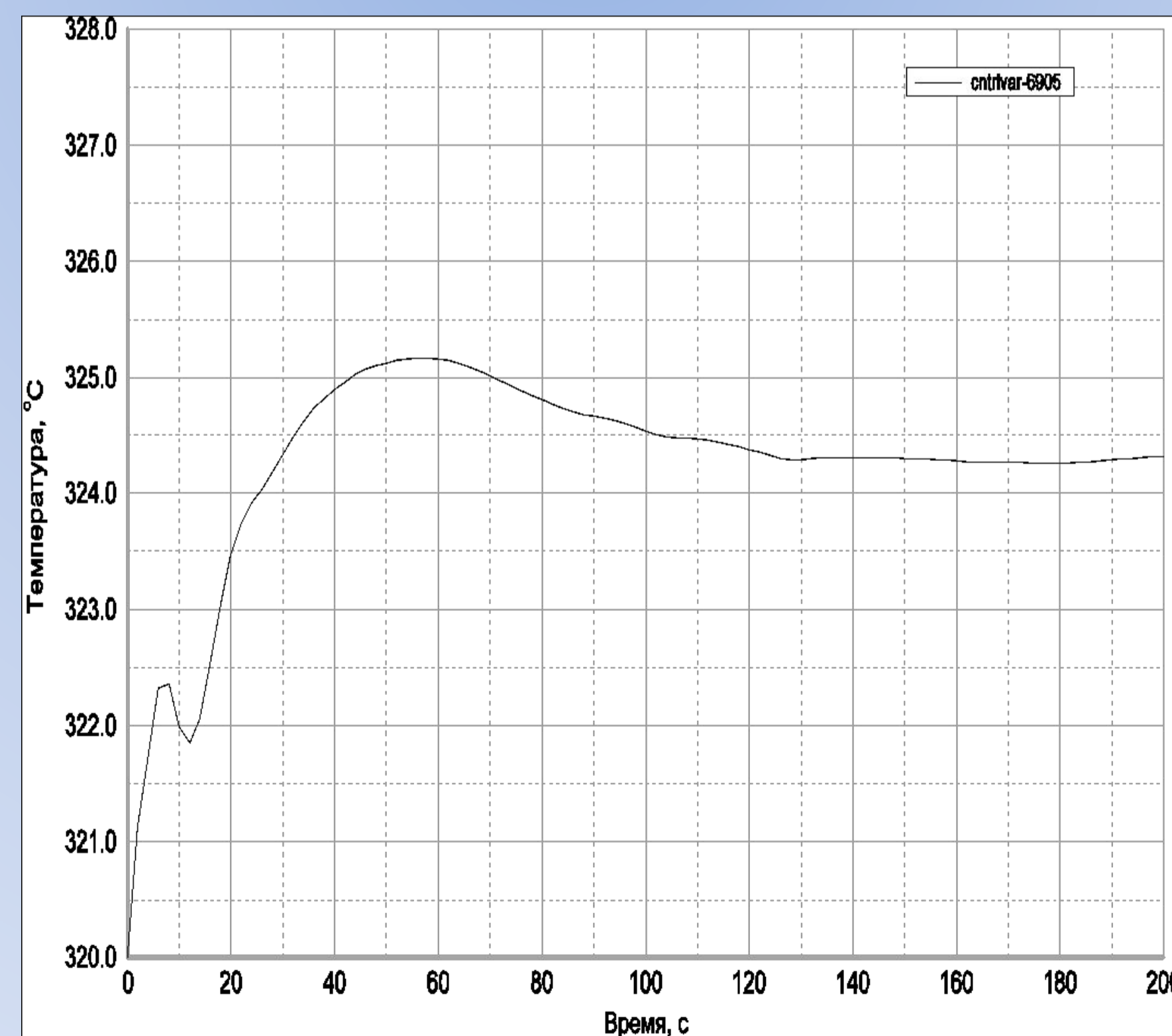
Температура в помещениях гермозоны



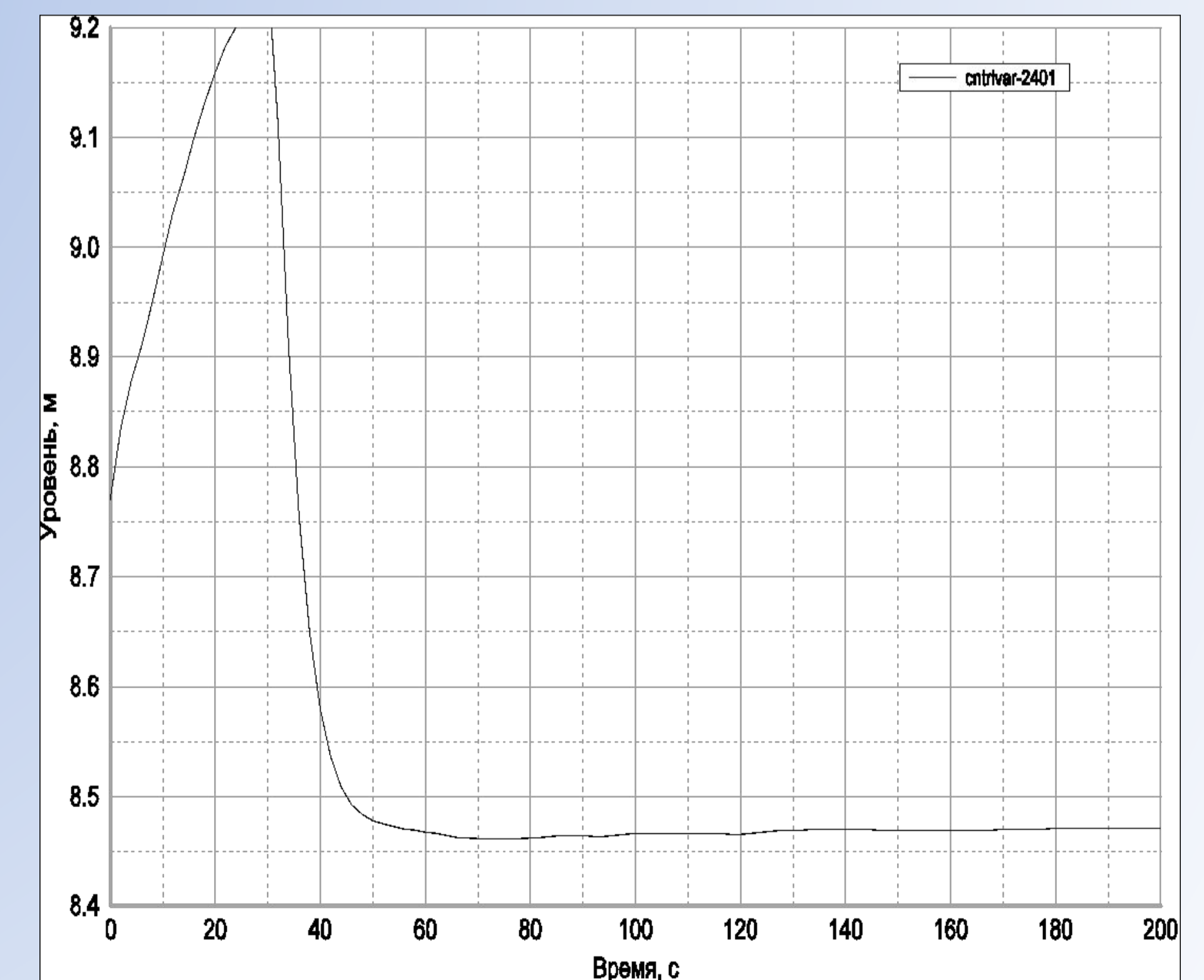
Давление в помещениях гермозоны для режима нарушения теплоотвода в ГО



Давление теплоносителя на выходе из реактора



Температура теплоносителя на выходе из реактора



Уровень теплоносителя в КД взвешенный

Расчетный анализ позволил определить последовательность и хронологию событий, а также проверить выполнение принятых критериев приемлемости, в качестве которых является:

- Давление в ГО не должно превышать 0,49 Мпа (5кгс/см);
- Температура в ГО не должна превышать 150°C

Максимальное расчетное значение для первого этапа составило:

- Давление в помещении гермообъема 0,33 МПа;
- Температуры в помещениях гермообъема равно 132 °С.

1. Анализ процессов в гермозоне выполнен с использованием аналитической модели АЭС для расчетного кода MELCOR 1.8.3. В ходе моделирования определялась последовательность и хронология основных событий в аварийном режиме и проверялось выполнение принятых критериев приемлемости: принятые в проекте предельные значения температуры ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$) и давления в гермообъеме ($0,49\text{ МПа}$) для проектных аварий.

2. Проведенный расчетный анализ подтвердил выполнение принятых критериев приемлемости. Максимальное расчетное давление составило $0,33\text{ МПа}$ (абс.), максимальное значение температуры в помещениях гермообъема равно $132\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Анализ также показал, что критерии приемлемости соблюдаются и в маловероятном случае совпадения двухстороннего разрыва трубопровода свежего пара максимального диаметра с режимом нарушения теплоотвода в гермообъеме. В этом случае максимальное расчетное давление в помещениях гермообъема составляет $0,43\text{ МПа}$ (абс.) при максимальной температуре $143\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Таким образом, на основании выполненного расчетного анализа можно заключить, что давление и температура среды в помещениях локализирующих систем безопасности – системы гермообъема при авариях с увеличением теплоотвода по второму контуру не превышают установленных проектом предельных значений.

Выводы

1. Спроектирована ЯЭУ с мощностью генератора 1200 МВт и мощностью реактора 3600 МВт.
2. В результате теплоэнергетического расчета ЯЭУ: КПД ЯЭУ брутто составляет 0,335; КПД ЯЭУ нетто составляет 0,32.
3. Выполнен анализ эффективности систем безопасности при разрыве паропровода второго контура в гермооболочке и определены рекомендации оперативному персоналу. Анализ показал, что давление и температура среды в помещениях при авариях с увеличением теплоотвода по второму контуру, не превышают установленных проектом предельных значений
4. Выполнен вероятностный анализ безопасности для аварийного режима «Разрыв паропровода в пределах гермооболочки»: при данной аварийной ситуации, условия безопасности выполняются.
5. Дипломный проект выполнен в соответствии с заданием, ЕСКД и нормативной документацией по проектированию ЯЭУ АЭС.

**Спасибо за
внимание!**