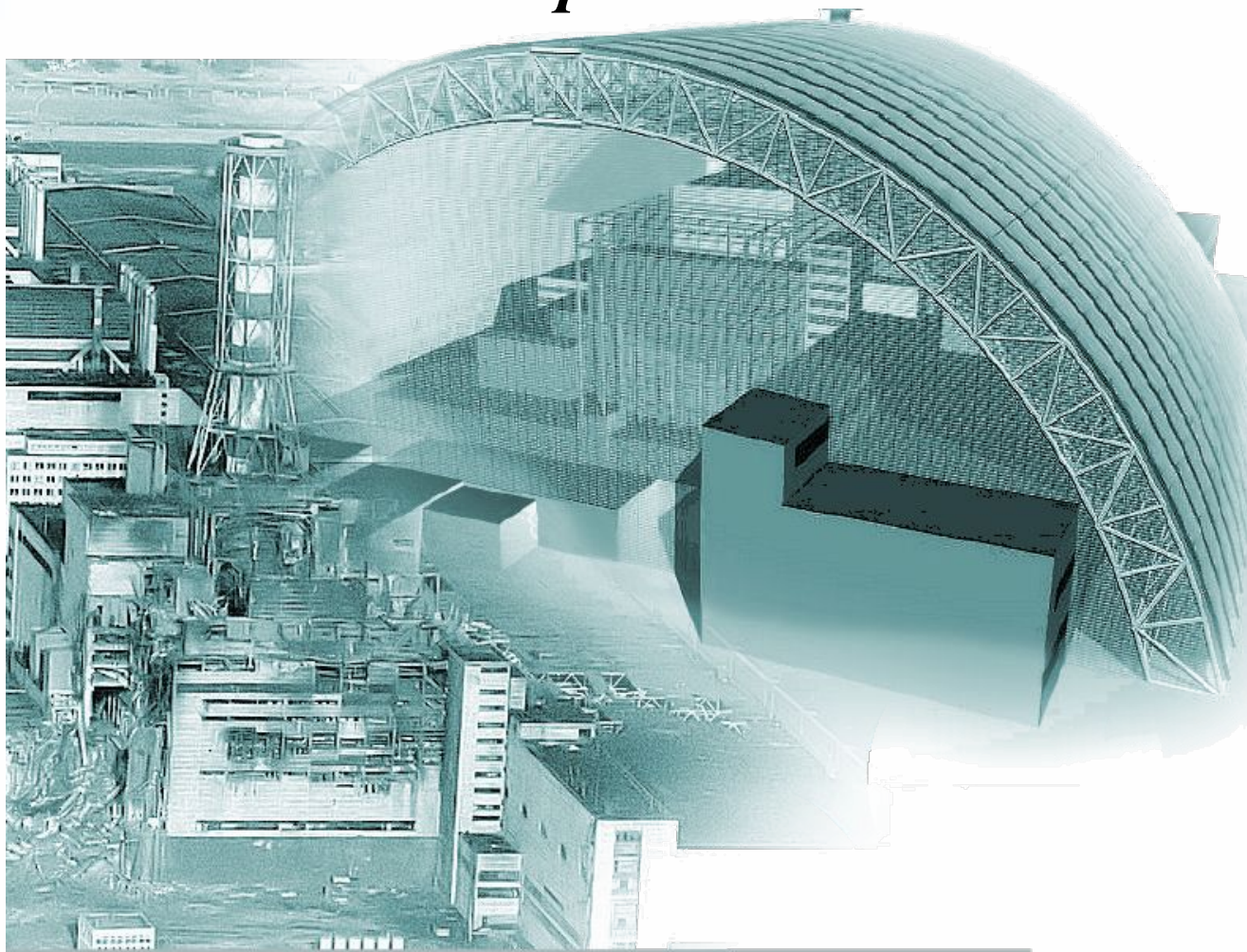
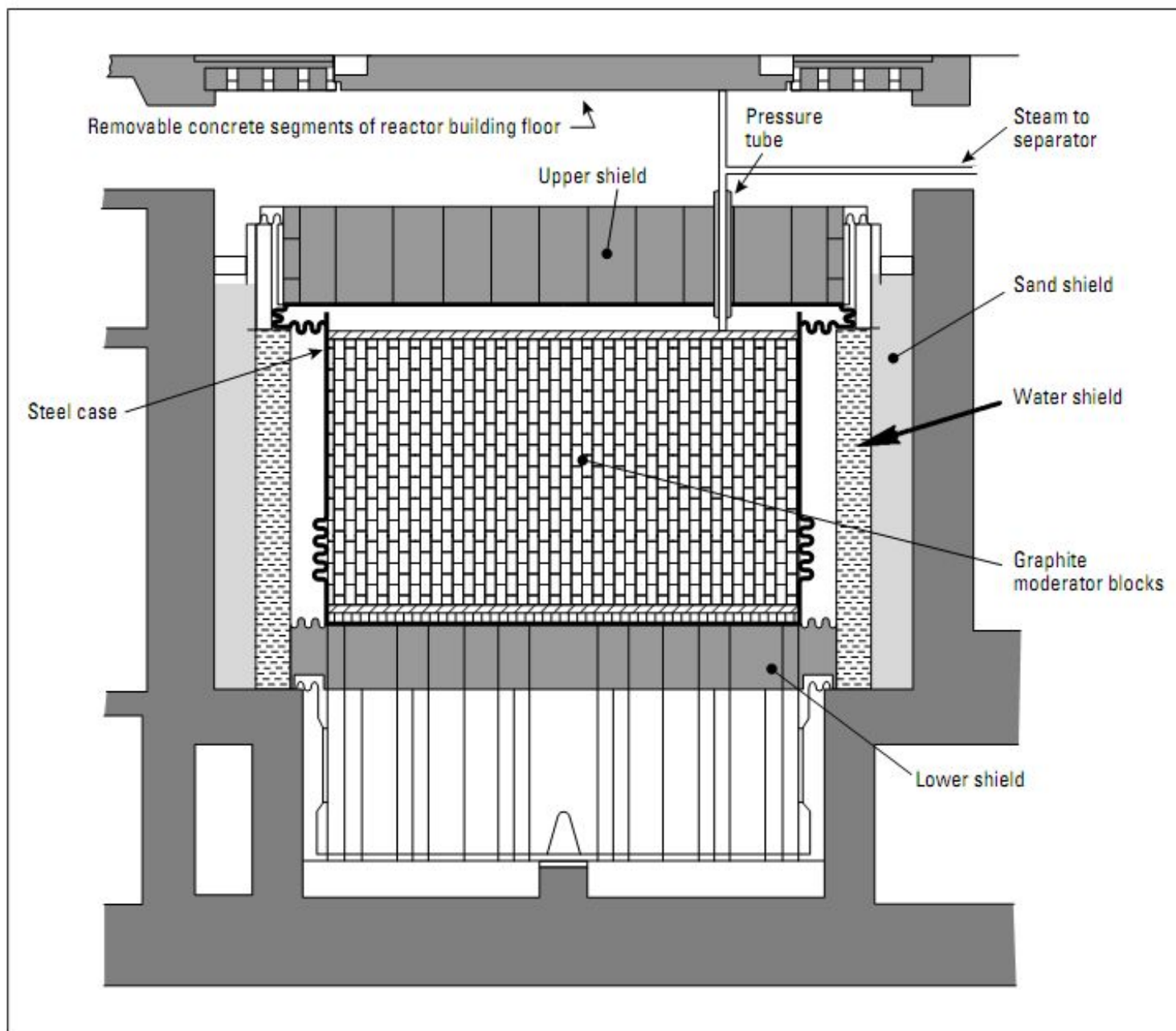


Причины аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года



- Впервые расследование причин аварии на Чернобыльской АЭС проведено сразу после аварии в 1986 г. Спустя 5 лет было проведено второе, более углубленное расследование и анализ причин аварии. Результаты расследований были переданы в Международное агентство по атомной энергетике (МАГАТЭ).
- МАГАТЭ выпустило ряд докладов, в которых были представлены результаты расследования аварии и на основе анализа причин аварии были сформулированы фундаментальные принципы безопасности в области использования ядерной энергии:
 - Культура обеспечения безопасности;
 - Глубокоэшелонированная защита;
 - Единоличие ответственности эксплуатирующей организации;
 - Независимый орган государственного регулирования и надзора.

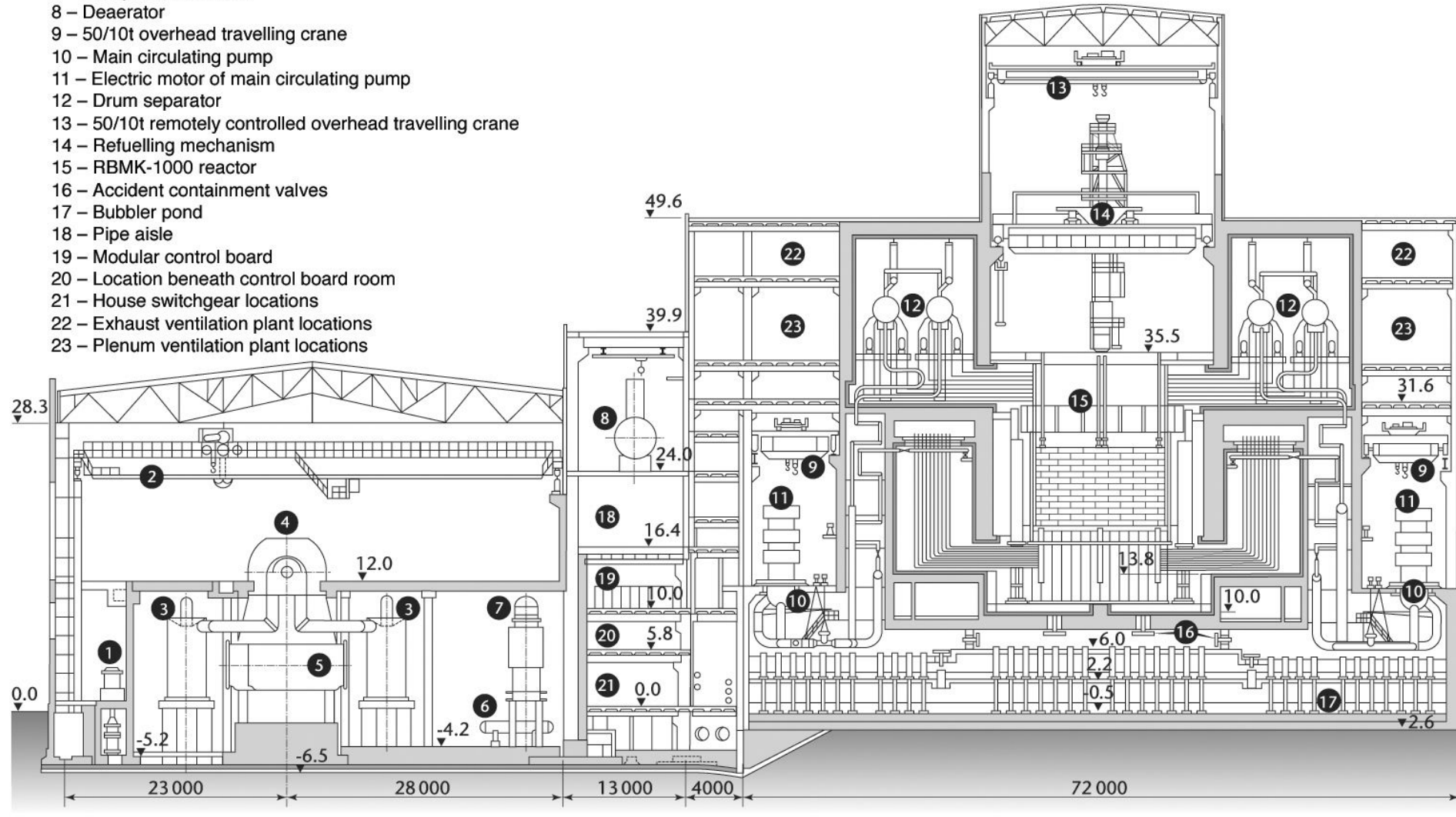
Краткое описание РБМК-1000

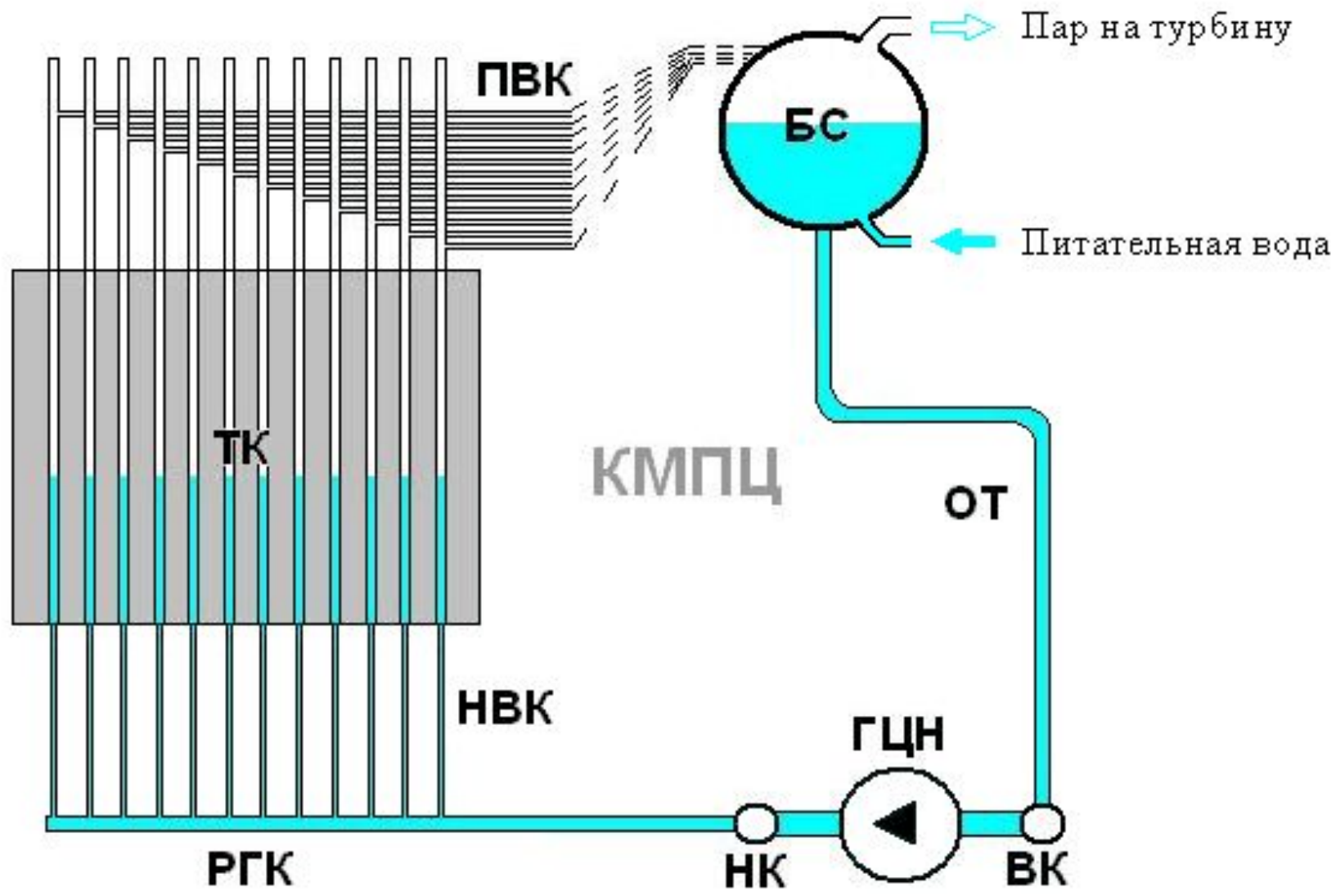


Cross-sectional view of the RBMK-1000 main building

Key:

- 1 – First-stage condensate pump
- 2 – 125/20t overhead travelling crane
- 3 – Separator-steam superheater
- 4 – K-500-65/3000 steam turbine
- 5 – Condenser
- 6 – Additional cooler
- 7 – Low-pressure heater
- 8 – Deaerator
- 9 – 50/10t overhead travelling crane
- 10 – Main circulating pump
- 11 – Electric motor of main circulating pump
- 12 – Drum separator
- 13 – 50/10t remotely controlled overhead travelling crane
- 14 – Refuelling mechanism
- 15 – RBMK-1000 reactor
- 16 – Accident containment valves
- 17 – Bubbler pond
- 18 – Pipe aisle
- 19 – Modular control board
- 20 – Location beneath control board room
- 21 – House switchgear locations
- 22 – Exhaust ventilation plant locations
- 23 – Plenum ventilation plant locations





БС – барабан сепаратор
 ТК – технологические каналы
 ОТ – опускные трубопроводы
 НК – напорный коллектор
 ВК – всасывающий коллектор

РГК – раздаточные групповые коллекторы
 ПВК – пароводяные коммуникации
 НВК – нижние водяные коммуникации
 ГЦН – главный циркуляционный насос

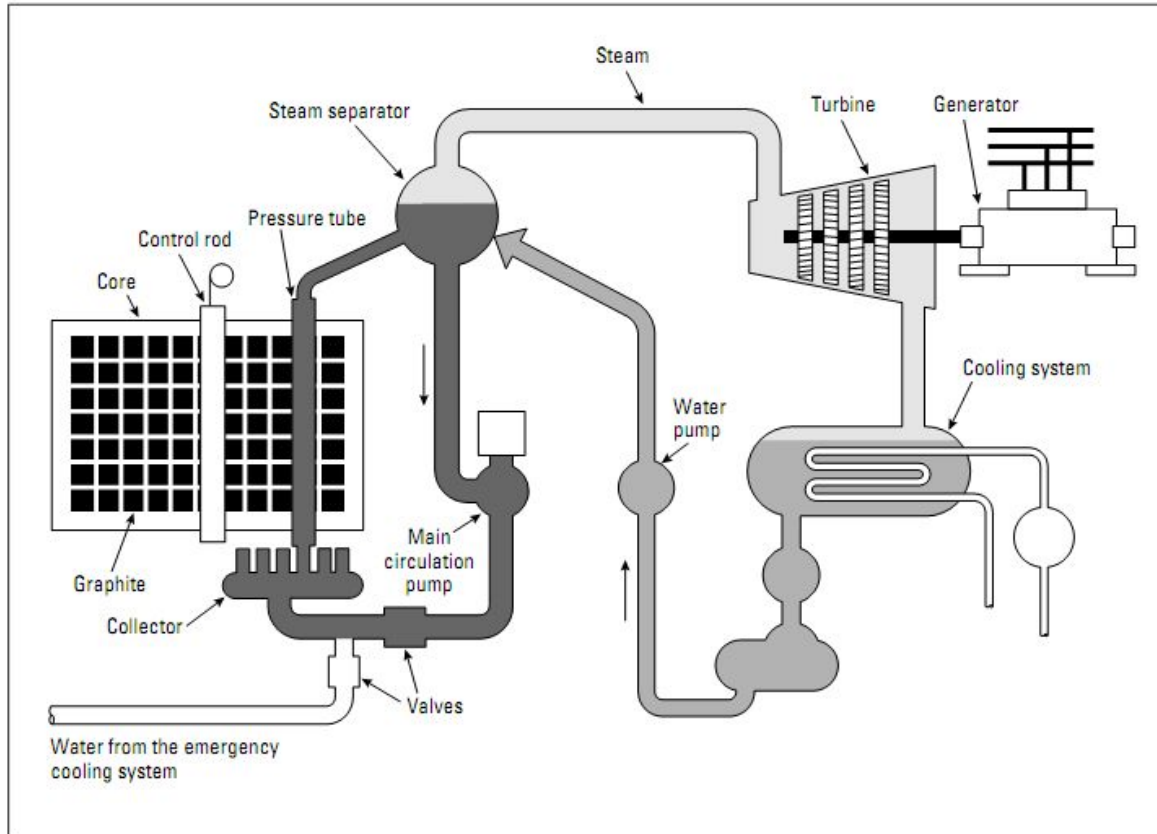


Figure 4
Schematic diagram of
the RBMK-1000

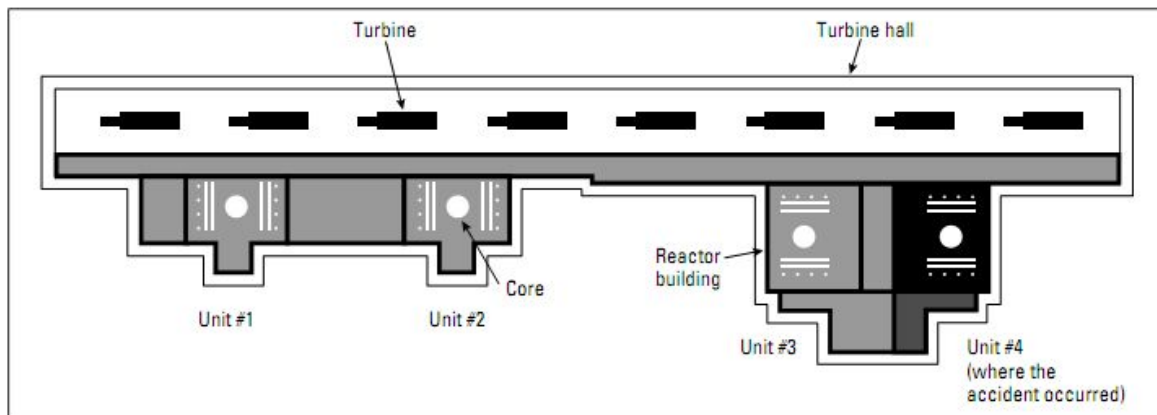
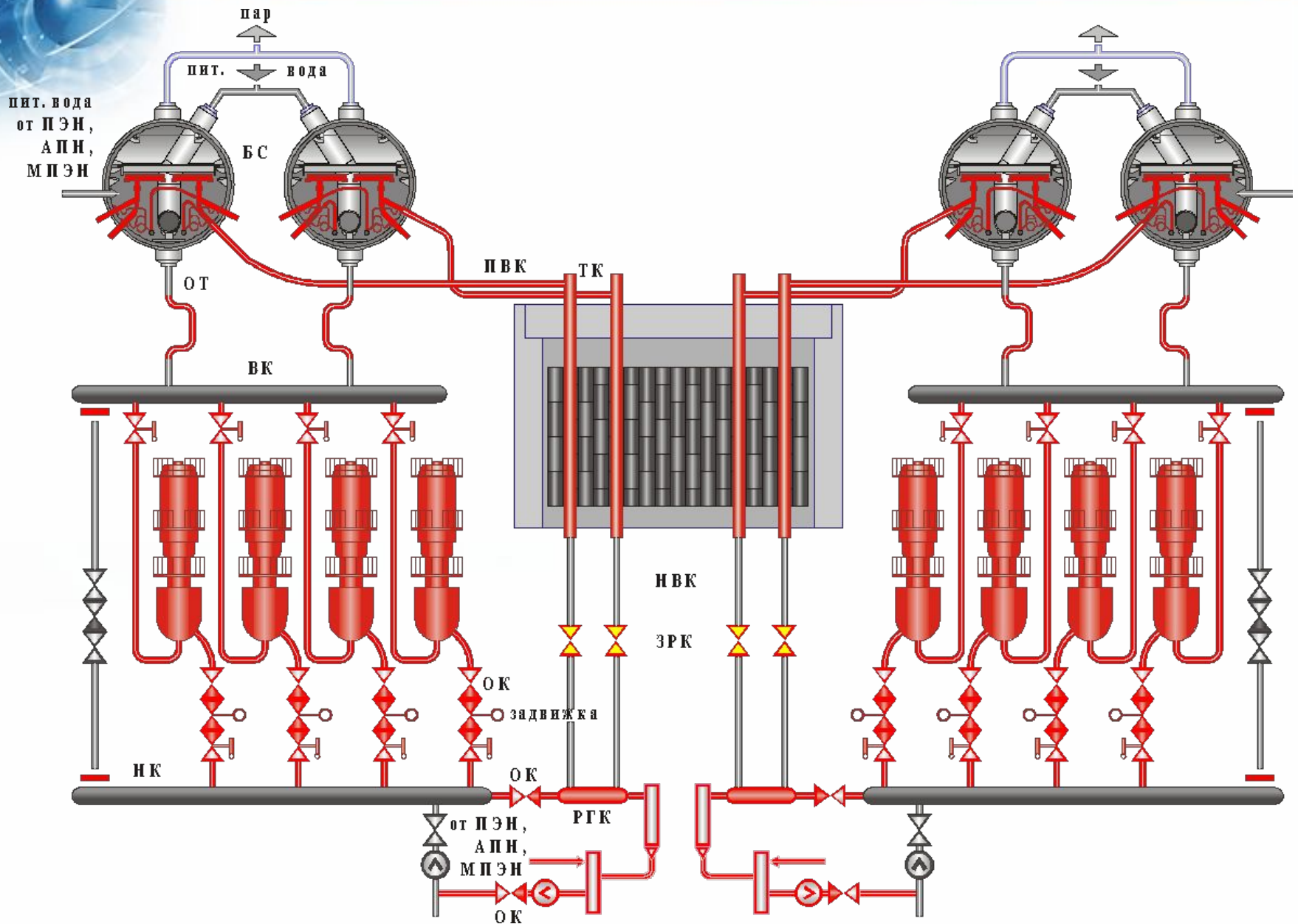
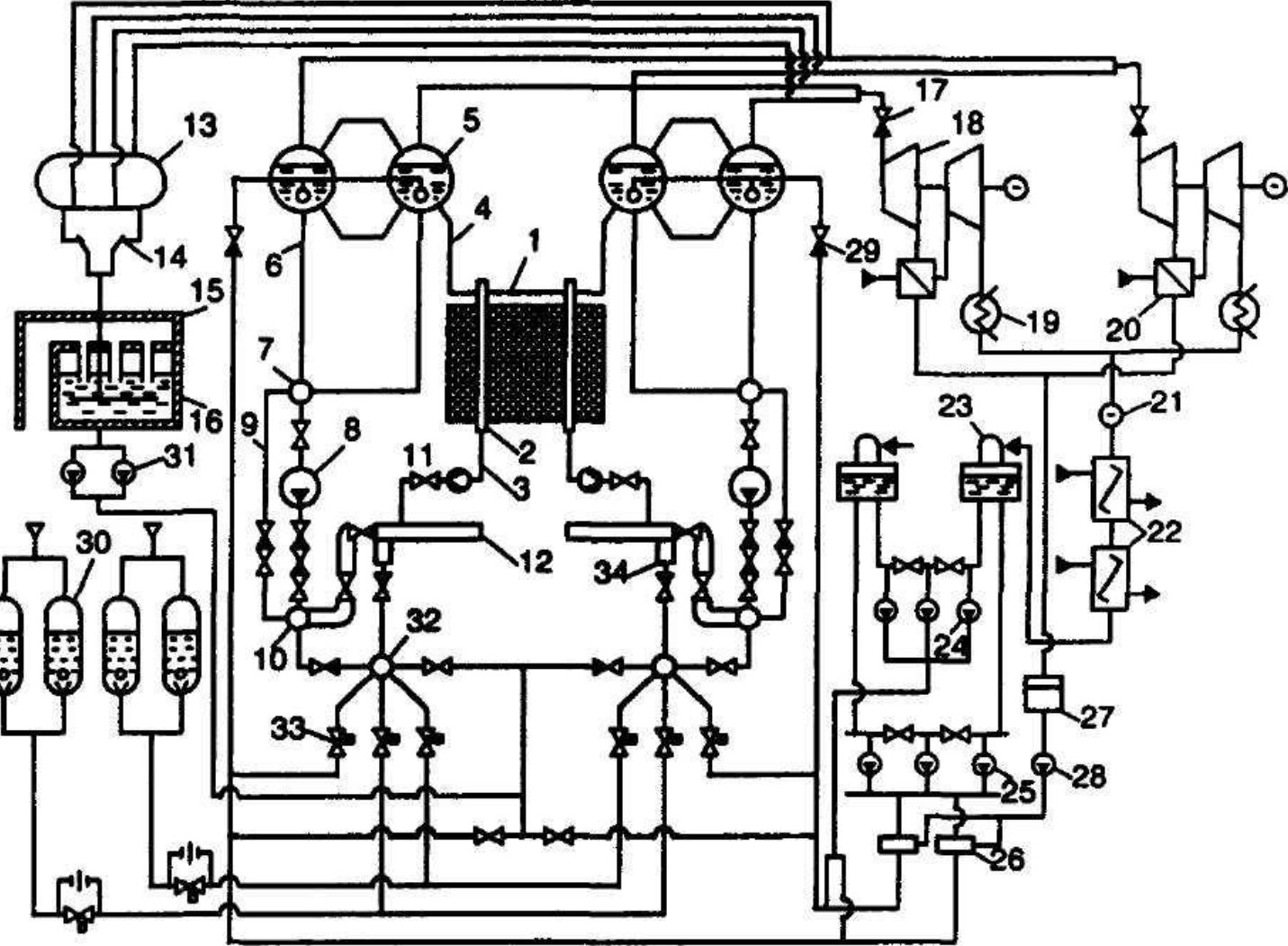


Figure 5
Layout of four reactor
units

Краткое описание РБМК-1000

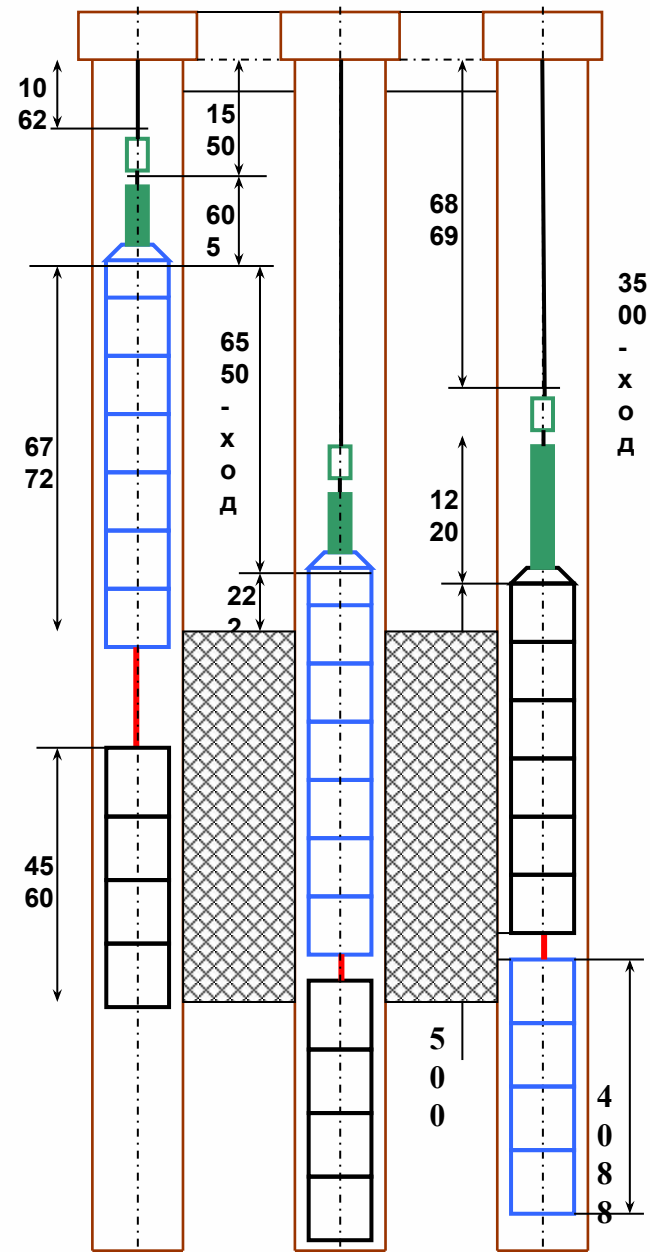
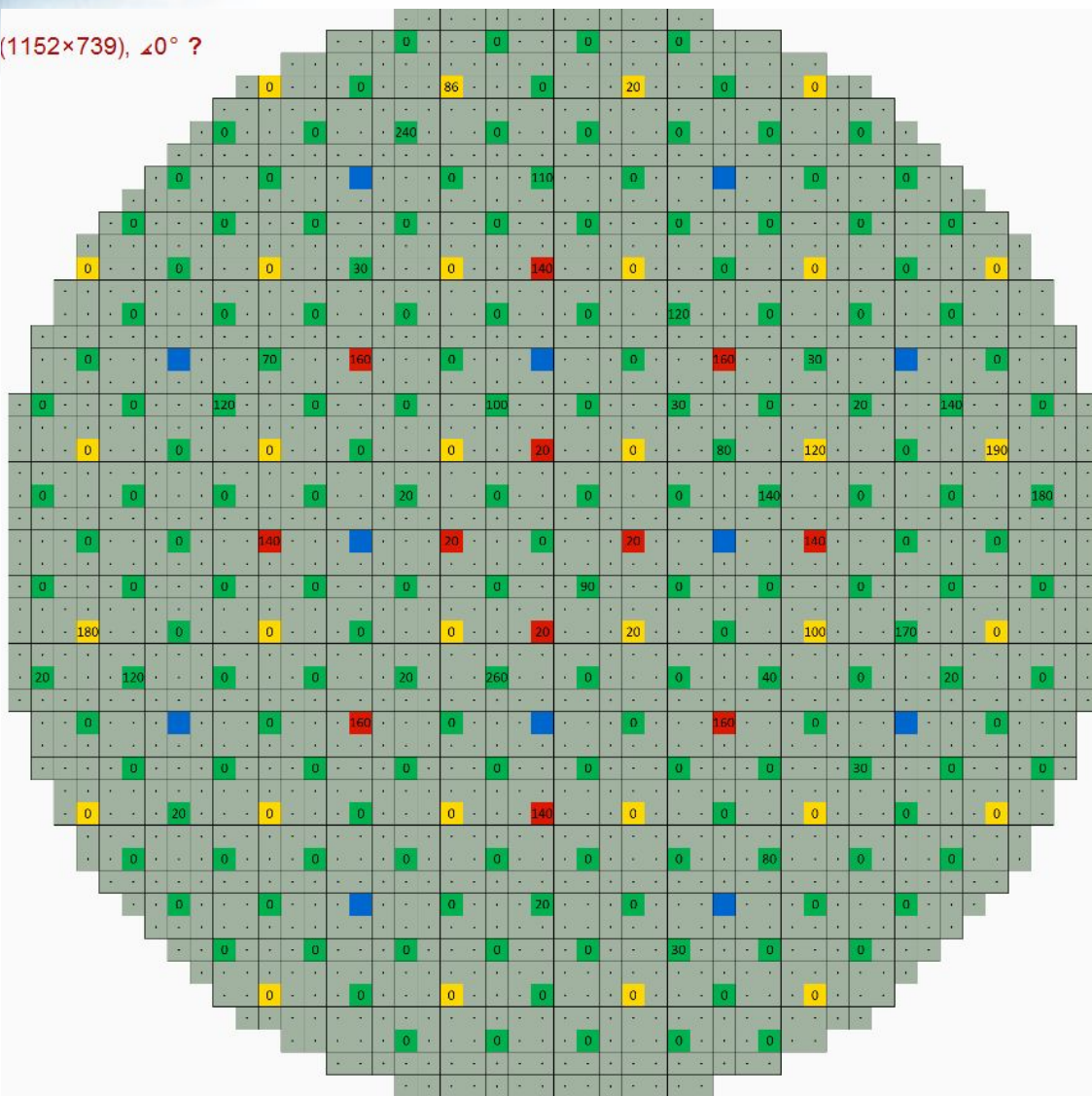


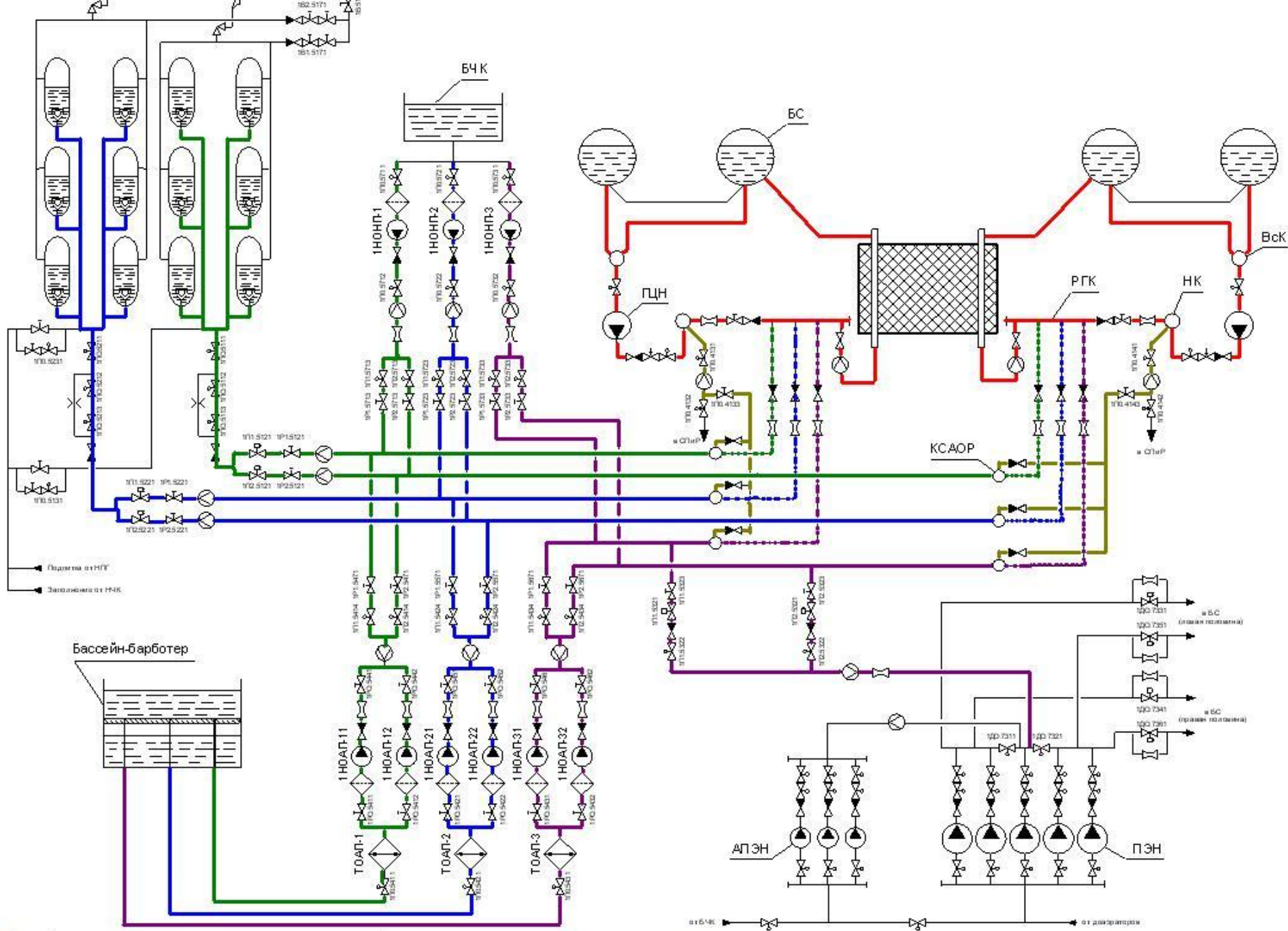


1 — реактор; 2 — топливный канал; 3 — труба ВК; 4 — труба ПВ; 5 — сепаратор; 6 — опускная труба; 7 — всасывающий коллектор; 8 — ГЦН; 9 — байпас; 10 — напорный коллектор; 11 — ЗРК; 12 — РГК; 13 — паровой коллектор; 14 — паросбросный клапан; 15 — система локализации; 16 — запас воды САОР; 17 — регулятор давления; 18 — турбогенератор; 19 — конденсатор; 20 — сепаратор-пароперегреватель (СПП); 21 — конденсатный насос; 22 — подогреватель; 23 — деаэратор; 24 — АПЭН; 25 — ПЭН; 26 — смешивающий подогреватель; 27 — конденсато-сборник; 28 — конденсатный насос СПП; 29 — регулятор уровня; 30 — гидроаккумулирующий узел САОР; 31 — насос САОР; 32 — коллектор САОР; 33 — быстродействующий клапан САОР; 34 — ограничитель течи.

Краткое описание РБМК-1000

(1152×739), $\angle 0^\circ$?





Бассейн-барботер

БЧК

БС

Бск

ПЦ

РГК

HK

KCAOP

1HOHP-1

1HOHP-2

1HOHP-3

1HOAP-11

1HOAP-12

1HOAP-21

1HOAP-22

1HOAP-31

1HOAP-32

APЭН

ПЭН

Подпитка от ПЭН

Заполнение от ПЧК

к БС (от линии подпитки)

к БС (от линии подпитки)

к БЧК

к от распределителя

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОФИКАЦИИ СССР
ВПО СОЮЗАТОМЭНЕРГО
ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ
ИМ. В.И. ЛЕНИНА



Утверждаю:
Главный инженер ЧАЭС
_____ Н.М. Фомин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
испытаний турбогенератора № 8 Чернобыльской АЭС
в режимах совместного выбега с нагрузкой собственных нужд

Зам. главного инженера
Начальник ПТО
Начальник ЭЦ
Начальник ЧПНП САЭН
Начальник РЦ-2
Начальник ТЦ
Начальник ЦТАИ
Зам. начальника ЭЦ
Зам. начальника ЭЦ по РЗАИ
Донтехэнерго

А.С. Дятлов
А.Д. Геллерман
А.Т. Зиненко
И.П. Александров
А.П. Коваленко
Л.А. Хоронжук
Е.А. Бородавка
В.И. Метелев
С.А. Малафиенко
Г.П. Метленко

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

испытаний турбогенератора № 8 Чернобыльской АЭС в режиме
совместного выбега с нагрузкой собственных нужд

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

- 1.1. Целью испытаний является экспериментальная проверка возможности использования энергии механического выбега для поддержания производительности механизмов собственных нужд в режимах обесточения С. Н.
- 1.2. Испытания проводятся перед выводом блока в планово-предупредительный ремонт (ППР), по разрешенной заявке.
- 1.3. Продолжительность испытаний 4 часа.

2. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

№ п-п	Наименование работ	Ответственный исполнитель
2.1.	Нагрузку блока снизить до 700...1000 МВт тепловых	НСС
2.2.	Турбогенератор ТГ-7 отключить и остановить (или на ВПУ). Отключить выключатель ВТГ-7 и разъединитель РТГ-7	НСБ НС ЭЦ
2.3.	Собственные нужды ТГ-7 секции 7РА и 7РБ запитать от 6Т	НС ЭЦ
2.4.	Турбогенератор ТГ-8 работает на рабочем возбуждении, блоки выбега АРВ-СД и АРВ-ВГ введены в работу	НС ЭЦ
2.5.	Собрать схему выдачи сигнала МПА в электрическую часть схемы ступенчатого набора нагрузки дизель-генератор (ДГ) и в схему выбега на двух комплектах автоматики 4ЩАНП-3 для чего: на панель № 2 (левая боковина) ЧЩ АНП-3 подключить контакты дополнительно установленной кнопки, выведенной на БЩУ-4 (п. ПБ-3) на клеммы 10 (091-1) с 18 (09-1) и кл. 10 (01-1) с 36 (031-1), а также панели № 3 (левая боковина) на клеммы 10 (01-2) с 18 (09-2) и 10 (01-2) с 36 (031-2)	ЭТЛ
2.6.	Питание секций 8РА, 8РБ, 8РНА осуществляется по рабочим вводам	НС ЭЦ
2.7.	На секции 8РА включить следующие механизмы: 4ПН-3, 4: 4ГЦН-13,23: 41КН-73, 82: 42КН-73, 82: 4НГО-81: 2ЦН-10	НС ЭЦ НСБ
2.8.	На секции 8РБ включить следующие механизмы: 2НПРТ-5: 41КН-83: 42КН-83: 4ГЦН-14, 24: 4ПН-5: 4НГО-82: ВК-15: 2ЦН-11, 12	НСБ НС ЭЦ
2.9.	Питание секций 0,4 кВ перевести на резервное питание: секцию 164Н от тр-ра 24ТР —← 74Н —← 21ТР —← 78Н —← 23ТР —← 232Н —← 231Т —← 180Н —← 179Т —← 225Н —← 226Т —← 75Н —← 22ТР —← 167Н —← 24ТР —← 228Н —← 227Т —← 165Н —← 24ТР —← 220Н —← 221Т —← 208Н —← 208Т —← 160Н —← 159Т	

Схема СН энергоблока.

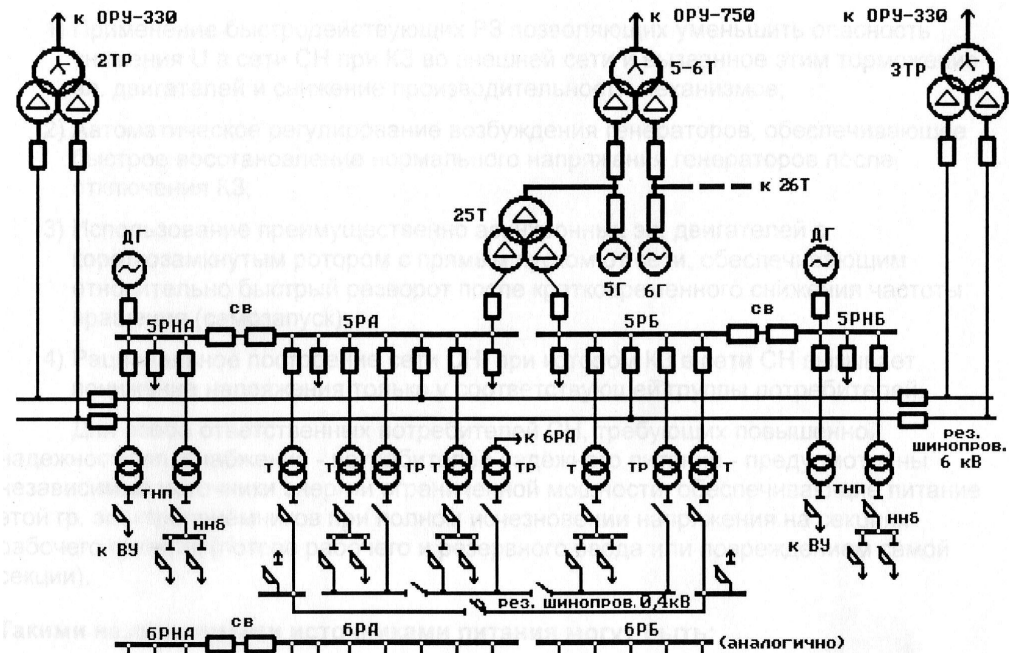
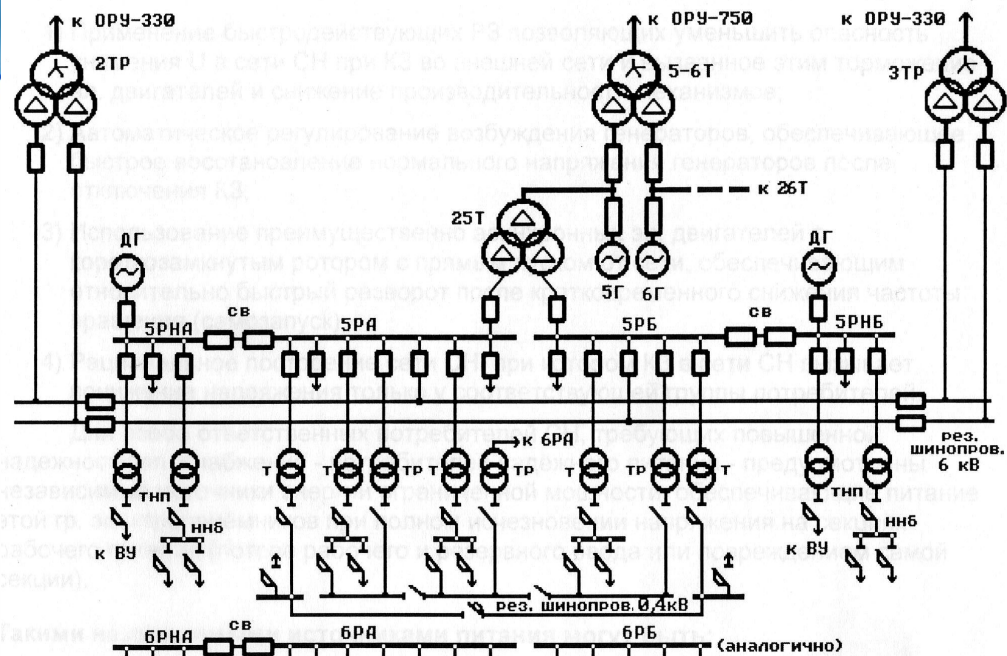


Схема СН энергоблока.



2.10.	На секции 8PNA включить следующие присоединения: 92ТНЦ, 91 ТНП, 93 ТНП, 224Т, 4НСОС-3, 4НС-3, 4-3ТНПС. 2НА-6	НСБ НС ЭЦ
2.11.	Питание резервного шинопровода 0,4 кВ блоки № 3 перевести от тр-ра 16ТР, включив секционный рубильник РШ-15, 16ТР и РШ-16, 17ТР Отключить рубильники 0,4 кВ тр-ров 15, 17ТР7	НС ЭЦ
2.12.	Расхоложивание реактора в опыте обеспечивают секции 7РА, 7РБ, 7PNA, 7PNB, для чего на них должны быть включены один ПН (4НП-1 или 4НП-2), по два ГЦН (4ГЦН-11, 21; 4ГЦН-12,22) и по одному КН 2 подьема 42КН-71 (72) и 42КН-81, а также 2НА-4(5) на секциях 7НРБ, 7НРА	НСБ
2.13.	В помещении КРУ-6 кВ и БЩУ-4 собрать испытательные схемы для осциллографирования параметров: - напряжение и ток статора ТГ-8; - напряжение и ток ротора ТГ-8; - напряжение и токи вводов секций 8РА, 8РБ, 8PNA; - скорость вращения ТГ-8; - токи и обороты ПН и ГЦН; - момент закрытия стопорных клапанов	ДТЭ СРЗА ЦТАИ ЭТЛ ЦТАИ
2.14.	Для фиксации технологических параметров блока в опытах используется УВС «Скала» и штатные регистрирующие приборы. Перечень в Приложении 1. Перечень параметров, регистрируемых с помощью дополнительно установленных самопишущих приборов, приведен в Приложении 2	ЦТАИ ЧПНП
2.15.	Закрыть задвижки ручные во избежание заброса воды в КМПЦ по РЦ-2 всем трем подсистемам САОР 4ПВ-3/2, 1, 4, 5; 4ПВ-53, 54, 63, 64, 73, 74; 4ПВ-25, 26, 35, 36, 45, 46; 4ПВ-83, 84 Расставить людей на контроль открывшейся арматуры и запустившихся механизмов САОР	РЦ-2 ЧПНП

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

3.1.	Перед проведением опыта выполнить пункты 2.1...2.15 настоящей программы	
3.2.	Проверить на х.х. (под нагрузкой) дизель-генератор 2ДГ-6 и ввести в «горячий» резерв	НСБ НС ЭЦ
3.3.	Вывести из действия схемы АВР секций 8РА, 8РБ ключами ПБ на пульте 2Э БЩУ4	НС ЭЦ
3.4.	Выставить оператора на пульте 1Э, который при увеличении тока ротора ТГ8 больше 3000 А без команды гасит поле ключом гашения поля или по истечении времени 60 с гасит по команде руководителя испытаний	НС ЭЦ
3.5.	Снизить нагрузку ТГ-8 до уровня нагрузки собственных нужд по тр-ру 28Т	НСБ
3.6.	Снять накладку 27Н «Закрытие СК Т-8» при отключении В2-6Т или ВТГ-8» на панели 24РГ	
3.7.	Отключить трансформаторный выключатель В2-6Т с пульта 1Э	НС ЭЦ
3.8.	По команде руководителя испытаний включаются осциллографы и ключом управления электромагнитных защитных устройств на панели 6Т выбиваются защитные устройства ТГ-8 и выдается сигнал МПА в электрическую часть дополнительно выведенной кнопкой на п. ПБ-3	НСБ

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

При этом возбужденный генератор будет выбегать совместно с электродвигателями секции 8РА, 8РБ, подпитывая последние и поддерживая их электромагнитный момент (а следовательно, и производительность).

На секции 8РНА произойдет отключение секционных выключателей (1ВС-2ВС) и отключение всех механизмов (кроме неотключаемой ступени), а также запуск 2ДГ-6.

После разворота 2ДГ-6 и выхода на секцию произойдет ступенчатый пуск механизмов секции 8РНА по программе МПА.

3.9.	Производится просмотр записей и осциллограмм, осмотр оборудования, записи выпавших блинкеров и загоревших табло, показания контрольных приборов	ЧПНП НСБ НС ЭЦ ДТЭ
3.10.	Восстанавливается питание секций 8РА, 8РБ (секций) 0,4 кВ	НС ЭЦ
3.10.1	Отключаются все выключатели механизмов С. Н. на обесточенных секциях 8РА, 8РБ	НС ЭЦ
3.10.2	Выключаются резервные вводы секций 8РА, 8РБ	НС ЭЦ
3.10.3	По необходимости включаются механизмы С. Н. на эту секцию	НСБ
3.10.4	Включаются выключатели 6 кВ тр-ров С. Н. 6/0,4 кВ на секциях 8РА, 8РБ	НС ЭЦ
3.10.5	Включаются рабочие вводы секций 0,4 кВ	НС ЭЦ
3.10.6	Восстанавливается положение задвижек, закрытых по п. 2.15	РЦ-2 ЧПНП
3.10.7	Отключается ввод 2ДГ-6 и включаются секционные выключатели 1ВС-2ВС РНА на секции 8РНА с панели ПБ-3 БЩУ-4 и необходимые механизмы	НСБ НС ЭЦ
3.10.8	При необходимости с 8РА, 8РБ переводятся на рабочее питание	

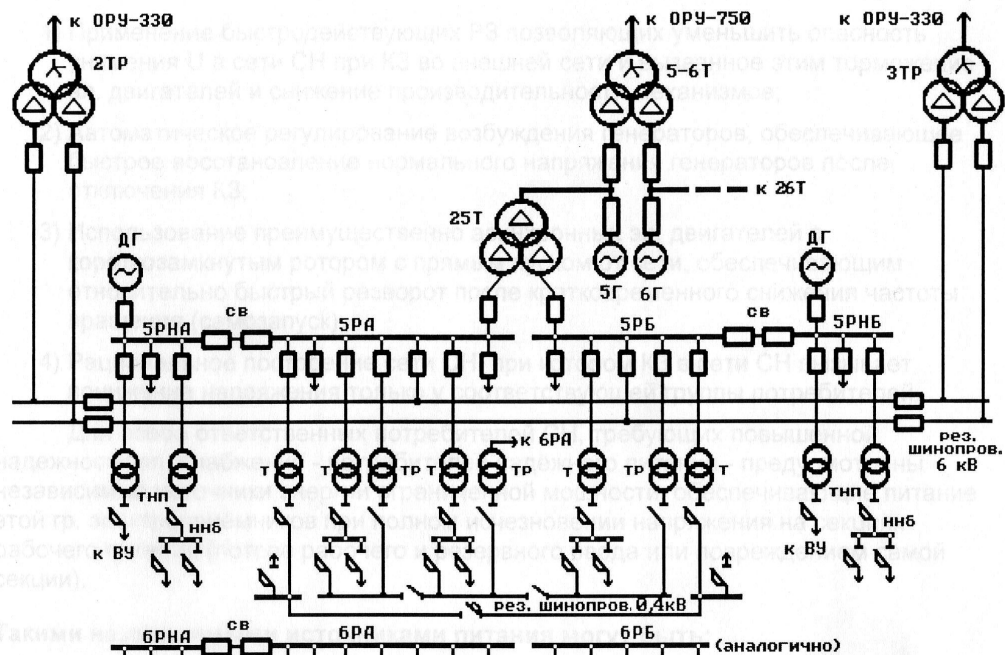
4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- 4.1. В процессе испытаний все переключения в первичных цепях производится дежурным персоналом по требованию технического руководителя испытаний, с разрешения НСС.
- 4.2. При обнаружении в процессе испытаний неисправности оборудования, дальнейшие работы по программе приостанавливаются до устранения причины неисправности. В случае возникновения аварийной ситуации на блоке действия персонала определяются местными инструкциями по ликвидации аварий.
- 4.3. Перед началом испытаний руководитель испытаний проводит инструктаж персоналу дежурной вахты (ЗГИ).

5. ЛИЦА, ОТВЕТСТВЕННЫЕ ЗА ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

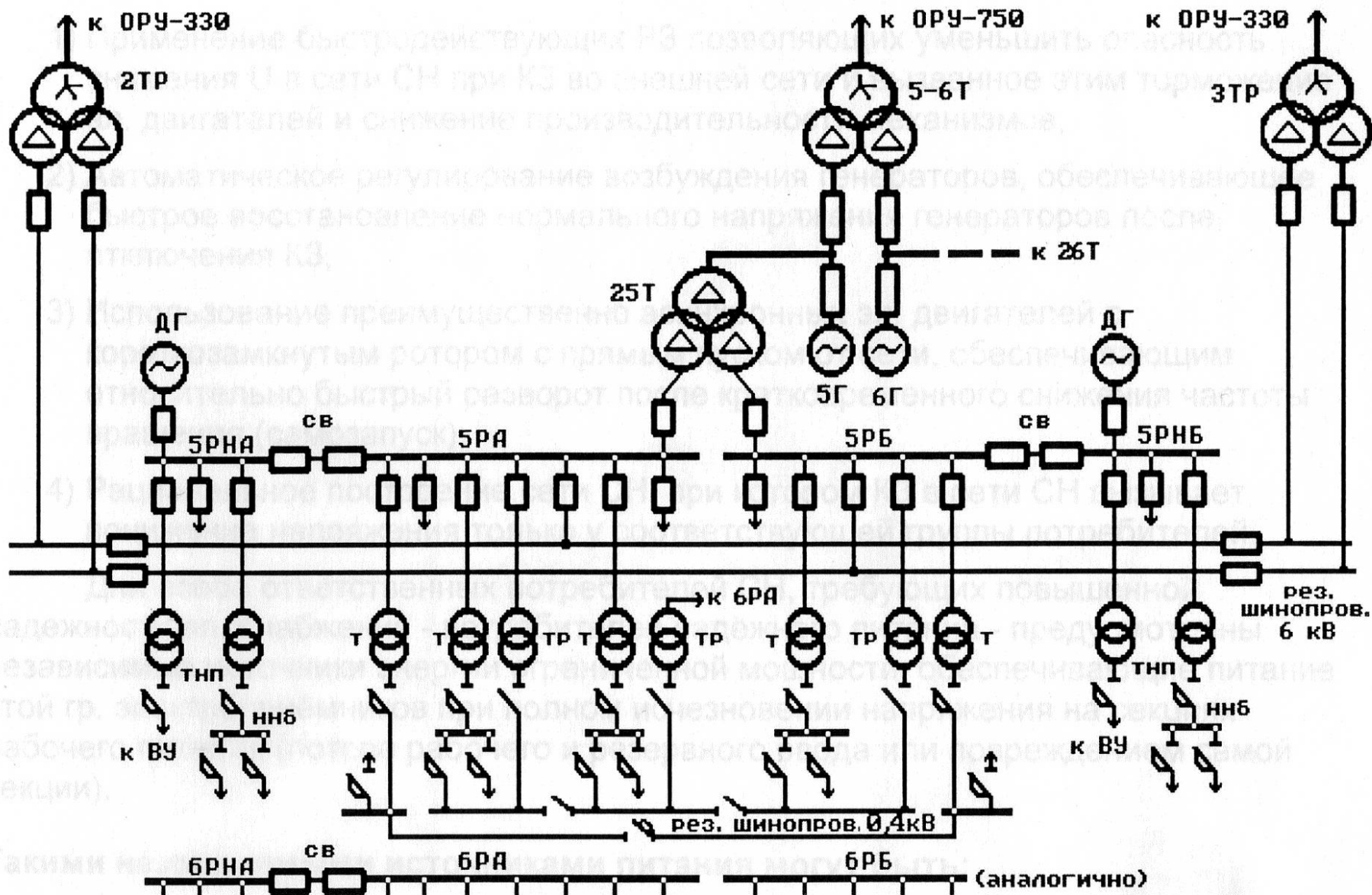
- 5.1. Технический руководитель испытаний – бригадный инженер Донтехэнерго Метленко Г.П.
- 5.2. При проведении испытаний ответственными лицами являются:
 - 5.2.1. За оперативные переключения в электрической части, технику безопасности и пожарную безопасность зам. нач. ЭЦ по эксплуатации – Лелеченко А.Г.

Схема СН энергоблока.



Причины аварии на Чернобыльской АЭС

Схема СН энергоблока.



Причины аварии на Чернобыльской АЭС

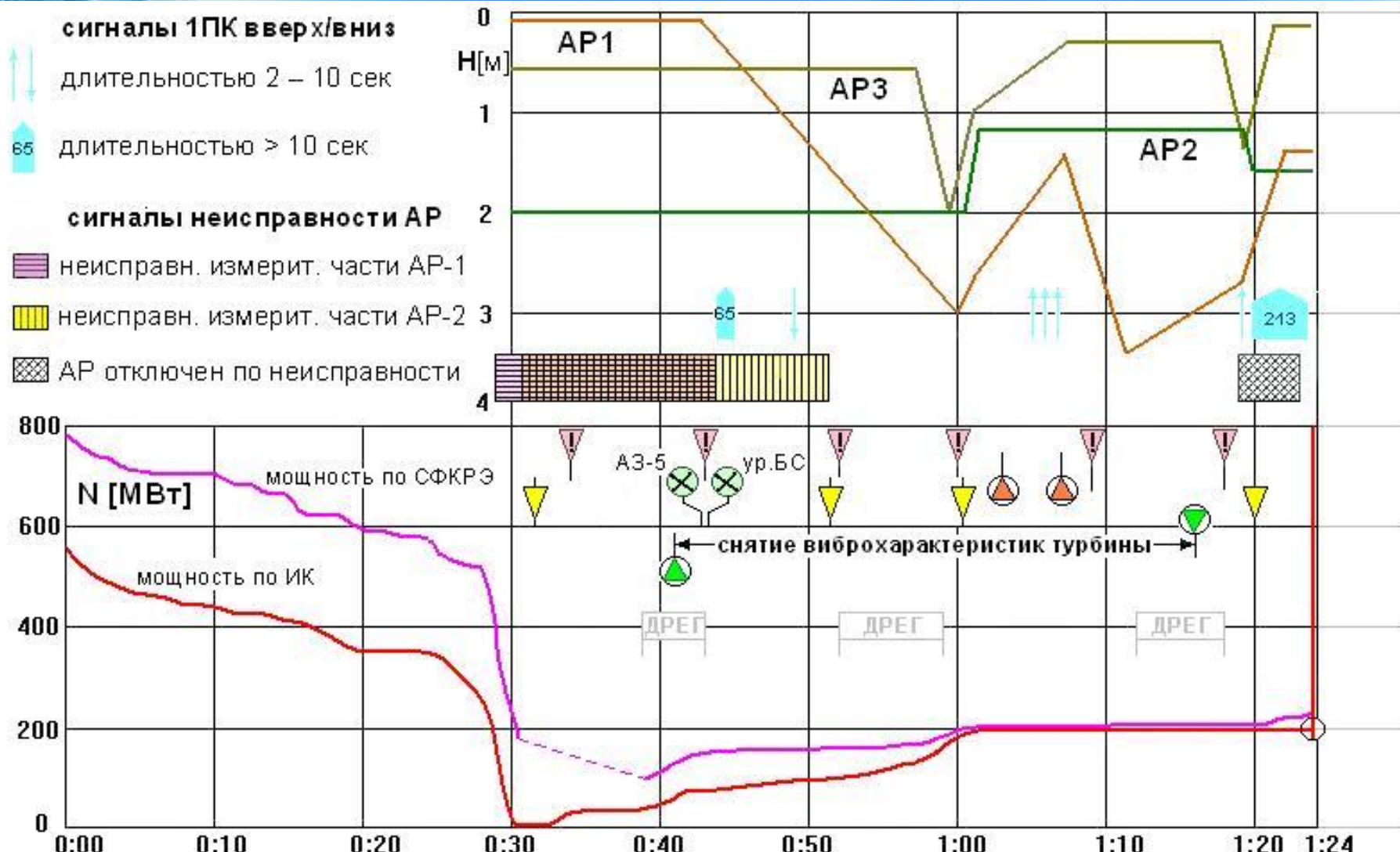
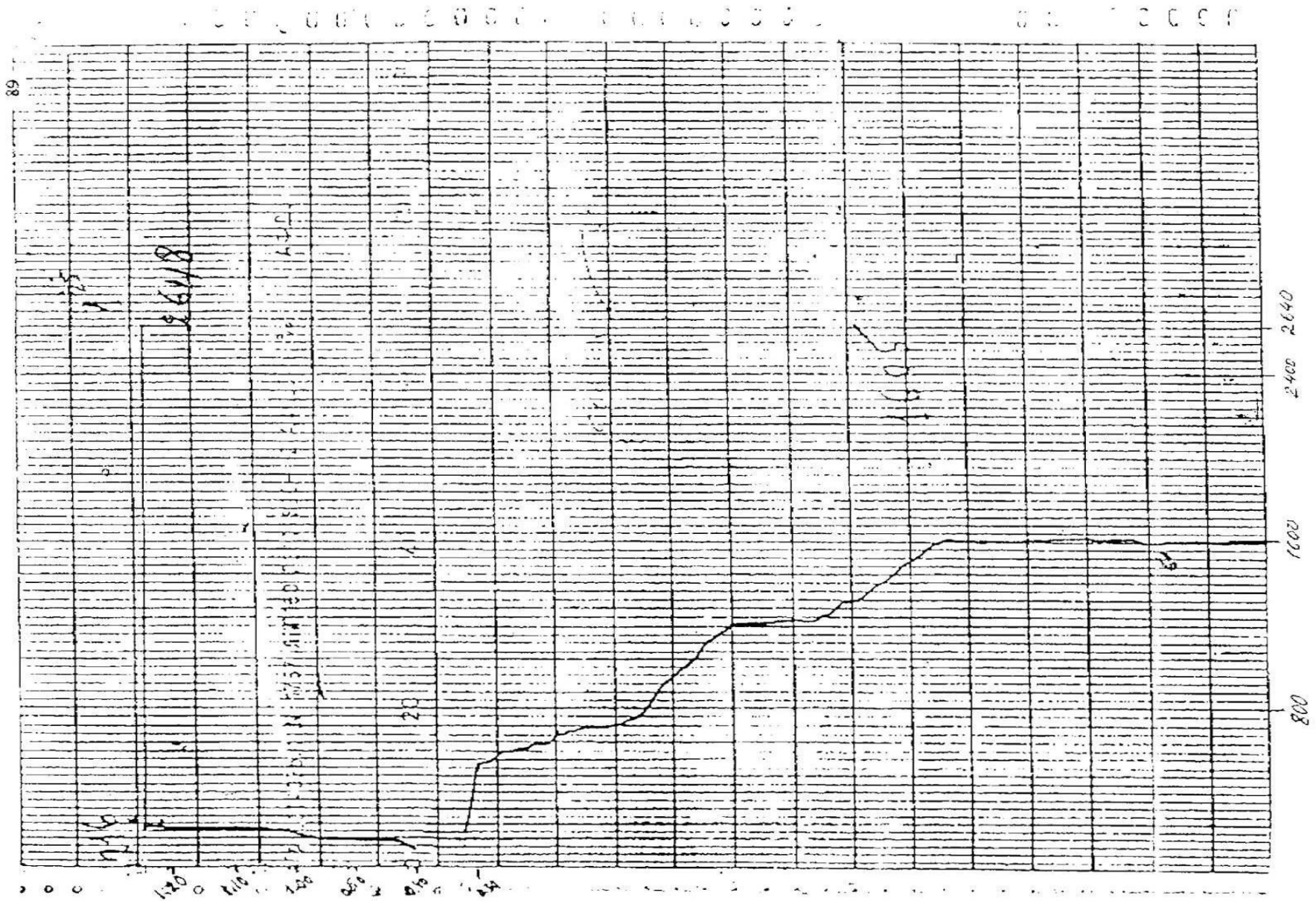


Рис 2. Изменение мощности реактора N (МВт), перемещение органов регулирования Н (м), сигналы автоматических защит и действий оператора. ⊕ аварийный процесс

- ⚠ аварийное отклонение уровня в БС
- ⚠ работа БРУ-К
- ⊕ включение 7-го и 8-го ГЦН
- ⊗ блокирование защит
- ДРЕГ не работает ДРЕГ

Причины аварии на Чернобыльской АЭС



1 дел. = 40 мвт, скорость ленты = 60 мм/час.

Причины аварии на Чернобыльской АЭС

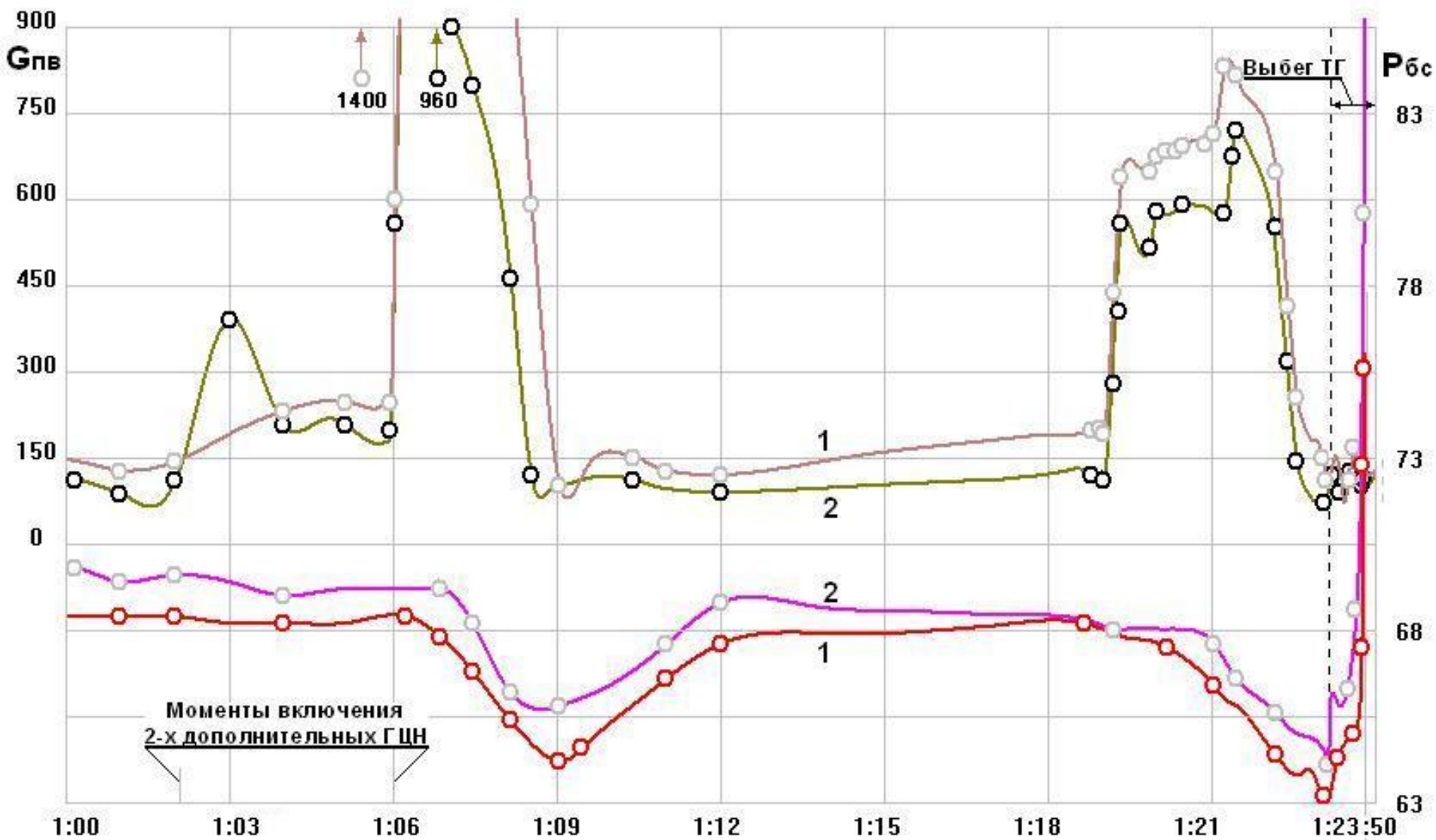


Рис 3. Расход питательной воды G_{pw} (т/час) и давление в барабанах сепараторах P_{bc} (кг/см²)

1 – левая половина (БС-1) 2 – правая половина (БС-2)

Причины аварии на Чернобыльской АЭС

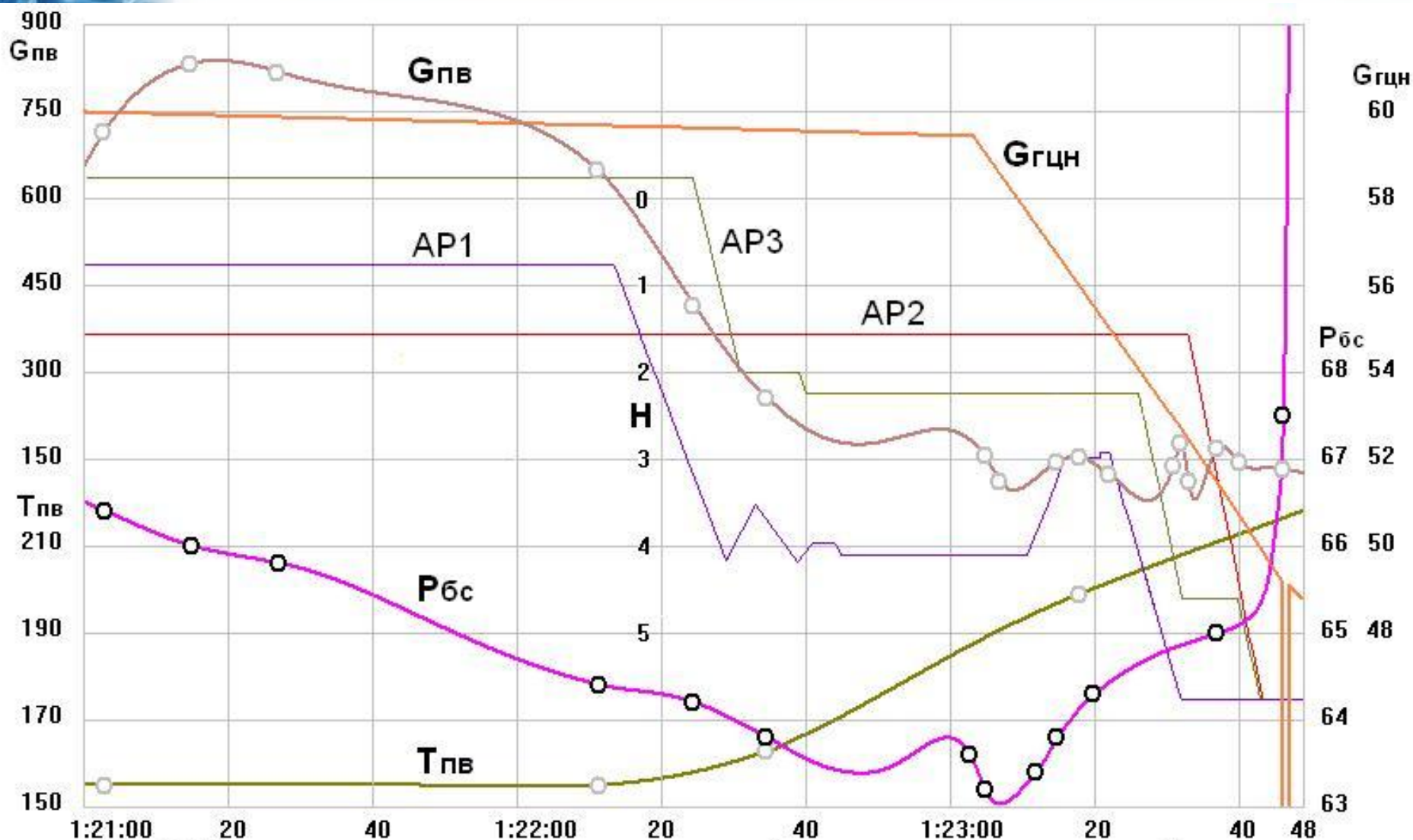
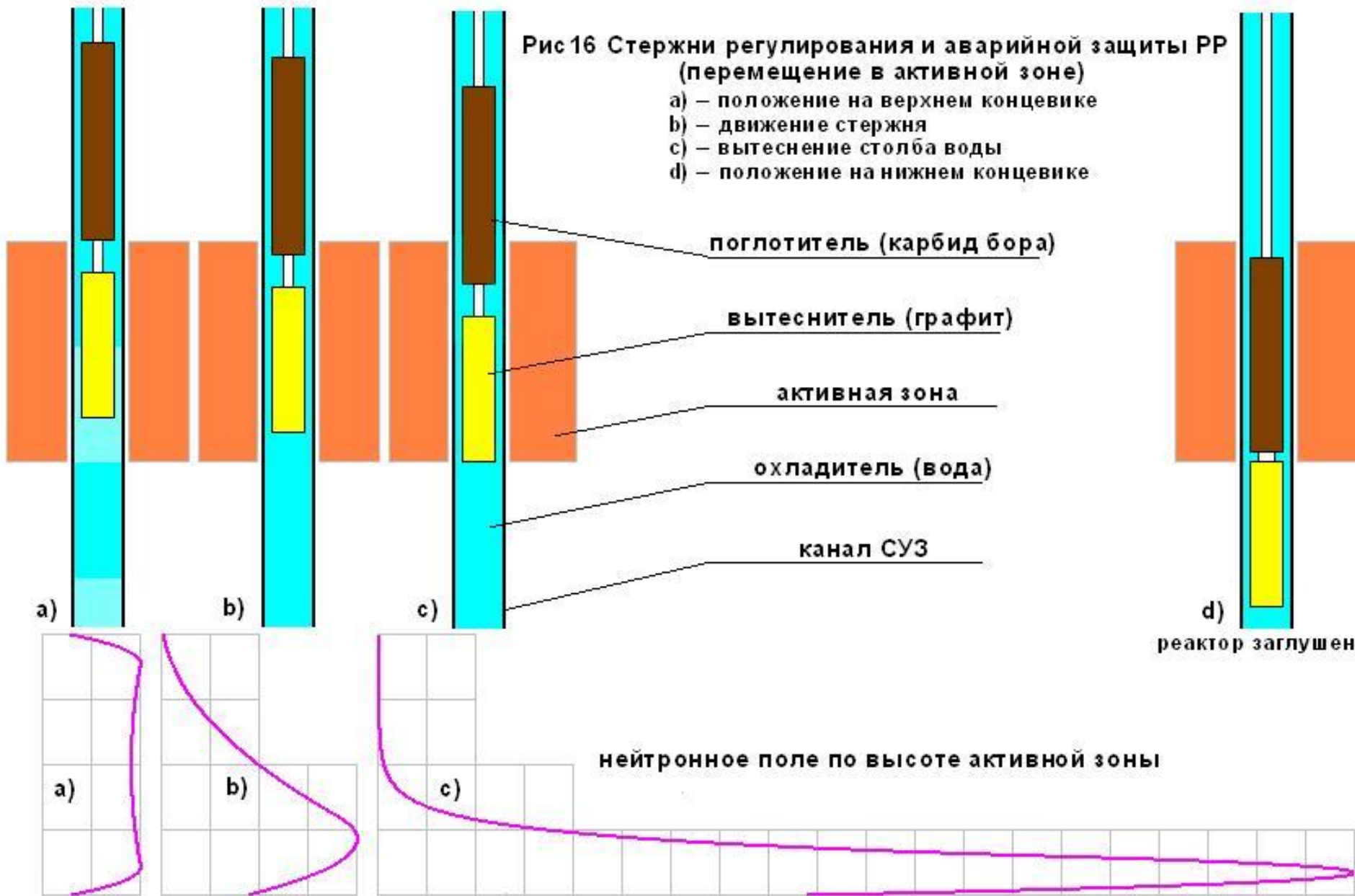


Рис. 20 Теплогидравлические параметры активной зоны реактора в последние 2 минуты
G_{гцн} – суммарный расход теплоносителя (1000м³/час) **G_{пв}** – расход питательной воды (тн/час)
Т_{пв} – температура питательной воды (°С) **Р_{бс}** – давление в барабане сепараторе (кг/см²)
АР1, АР2, АР3 – перемещение стержней автоматического регулирования Н(м)

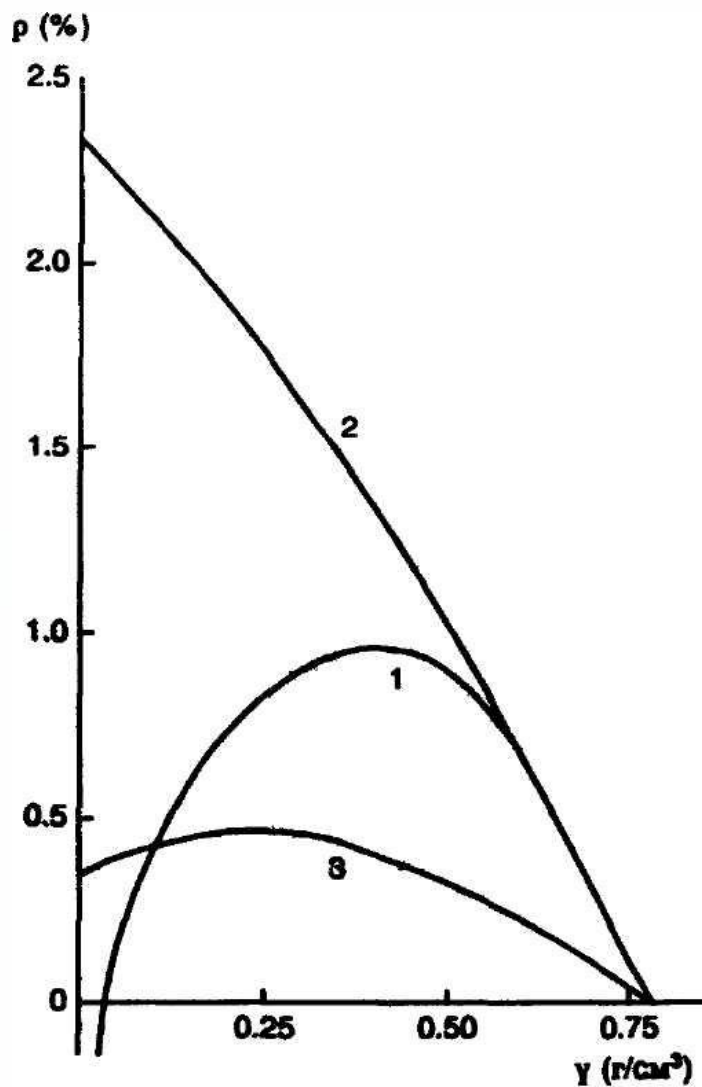


Причины аварии на Чернобыльской АЭС



1.23.22 АВАР 3
1.23.23 АВАР 3
1.23.24 АВАР 3
1.23.25 АВАР 3
1.23.26 АВАР 3
1.23.27 АВАР 3
1.23.28 АВАР 3
1.23.29 АВАР 3
1.23.30 АВАР 3
1.23.31 АВАР 3
1.23.32 АВАР 3
1.23.33 АВАР 3
1.23.34 АВАР 3
1.23.35 АВАР 3
1.23.36 АВАР 3
1.23.37 АВАР 3
1.23.38 АВАР 3
1.23.39 АВАР 3
1.23.40 АВАР 3
1.23.41 АВАР 3
1.23.42 АВАР 3
1.23.43 АВАР 3
1.23.44 АВАР 3
1.23.45 АВАР 3
1.23.46 АВАР 3
1.23.47 АВАР 3
1.23.48 АВАР 3
1.23.49 АВАР 3
1.23.50 АВАР 3
1.23.51 АВАР 3
1.23.52 АВАР 3
1.23.53 АВАР 3
1.23.54 АВАР 3
1.23.55 АВАР 3
1.23.56 АВАР 3
1.23.57 АВАР 3
1.23.58 АВАР 3
1.23.59 АВАР 3
1.23.60 АВАР 3
1.23.61 АВАР 3
1.23.62 АВАР 3
1.23.63 АВАР 3
1.23.64 АВАР 3
1.23.65 АВАР 3
1.23.66 АВАР 3
1.23.67 АВАР 3
1.23.68 АВАР 3
1.23.69 АВАР 3
1.23.70 АВАР 3
1.23.71 АВАР 3
1.23.72 АВАР 3
1.23.73 АВАР 3
1.23.74 АВАР 3
1.23.75 АВАР 3
1.23.76 АВАР 3
1.23.77 АВАР 3
1.23.78 АВАР 3
1.23.79 АВАР 3
1.23.80 АВАР 3
1.23.81 АВАР 3
1.23.82 АВАР 3
1.23.83 АВАР 3
1.23.84 АВАР 3
1.23.85 АВАР 3
1.23.86 АВАР 3
1.23.87 АВАР 3
1.23.88 АВАР 3
1.23.89 АВАР 3
1.23.90 АВАР 3
1.23.91 АВАР 3
1.23.92 АВАР 3
1.23.93 АВАР 3
1.23.94 АВАР 3
1.23.95 АВАР 3
1.23.96 АВАР 3
1.23.97 АВАР 3
1.23.98 АВАР 3
1.23.99 АВАР 3
1.24.00 АВАР 3

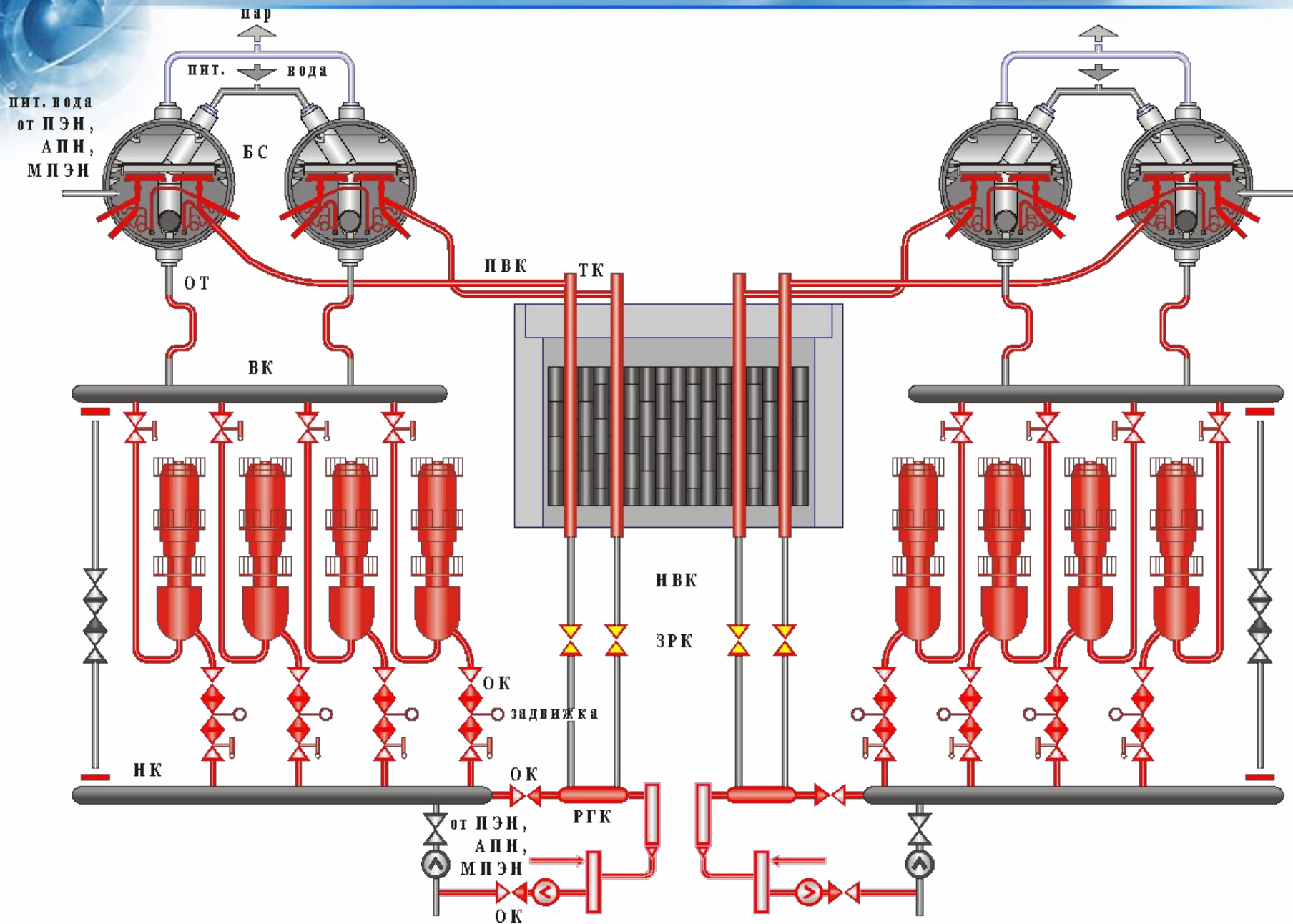
• Реактивность — $\rho = \frac{K_{ef} - 1}{K_{ef}}$



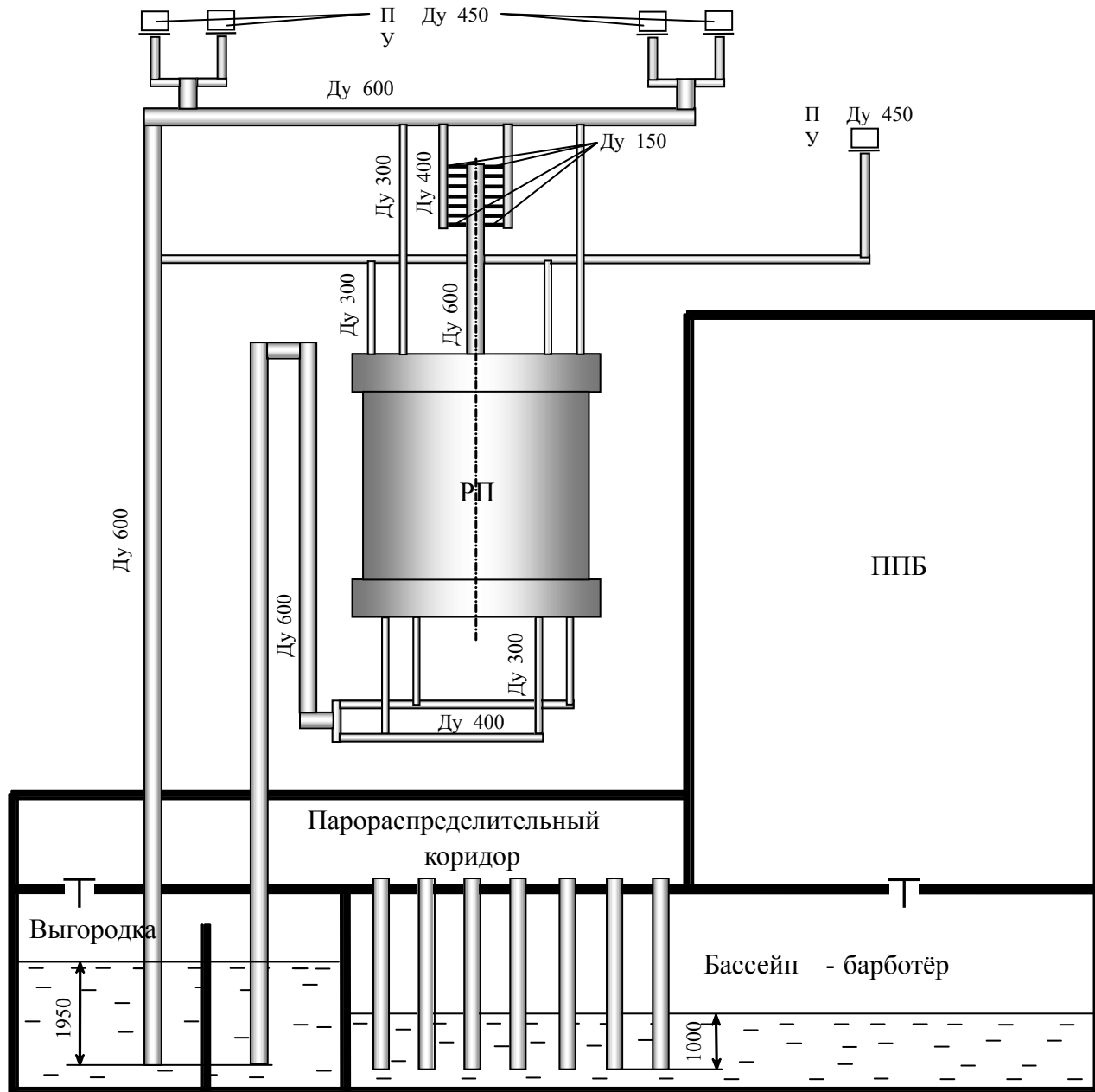
**Зависимость
реактивности ρ от
плотности
теплоносителя γ
(паровой эффект):**

1—проектные расчеты;
2 — действительная
зависимость в момент
аварии 26 апреля 1986г.;
3 — современное состояние
после внедрения
мероприятий.

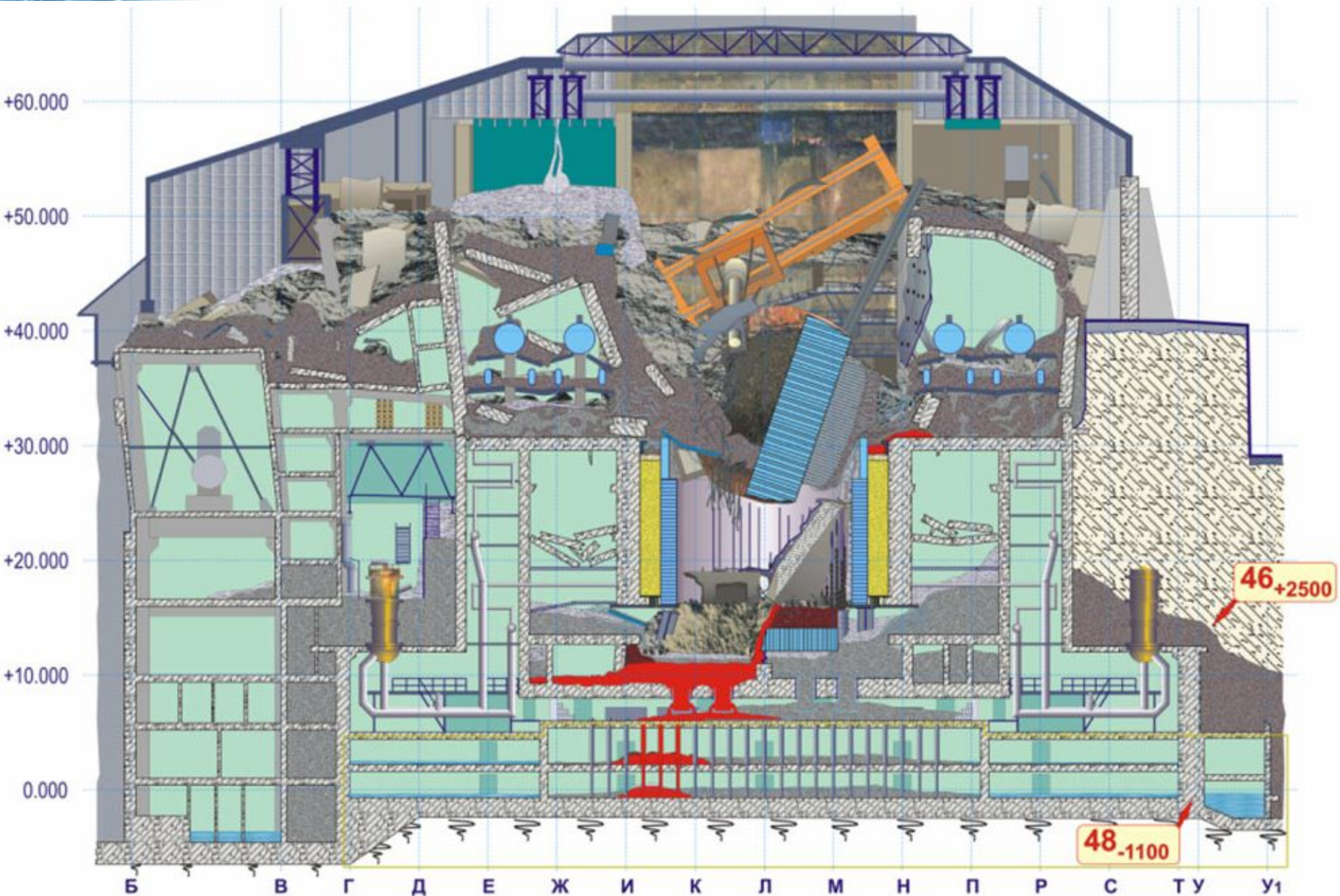
Причины аварии на Чернобыльской АЭС



Причины аварии на Чернобыльской АЭС



Причины аварии на Чернобыльской АЭС



- Авария произошла во время завершения программы испытаний одной из систем безопасности 4-го блока ЧАЭС.
- Цель испытаний состояла в проверке возможности использования энергии выбега турбогенератора для электроснабжения одного из 3-х каналов быстродействующей части системы аварийного охлаждения реактора (САОР).
- Непосредственно перед аварией реакторная установка находилась в таком физическом и теплогидравлическом состоянии стабильности, которое могли нарушить даже незначительные возмущения. При этом все параметры реактора перед началом испытаний, находились в пределах, разрешенных технологическим регламентом.

- Непосредственным импульсом для возникновения аварии явился ввод в действие системы аварийной остановки реактора, что из-за порочной конструкции стержней регулирования и защиты привело к вводу в реактор положительной реактивности и началу разгона мощности.
- Этот разгон принял катастрофический масштаб из-за большой величины парового коэффициента (эффекта) реактивности, который был присущ реакторам большой мощности канального типа (РБМК-1000), и влияние которого было особенно велико на низком уровне мощности (ввиду незначительного содержания пара).
- Взрывной процесс, начавшийся после нажатия кнопки АЗ-5 объясняется двумя причинами:
 - «Концевой эффект» при одновременном движении в активную зону реактора большого количества стержней системы управления и защиты (СУЗ);
 - Большая величина парового эффекта реактивности.

Эти два эффекта смогли проявиться только при совпадении следующих условий:

- Низкий уровень мощности реактора;
- Высокий расход воды через активную зону при низком расходе питательной воды;
- Большое количество полностью извлеченных из активной зоны стержней одновременно начинающих движение в активную зону.
- Указанные условия не являлись нарушением регламента эксплуатации. Количество полностью извлеченных из активной зоны стержней косвенно могло контролироваться по величине оперативного запаса реактивности (ОЗР), однако проектом не были предусмотрены приборы контроля величины ОЗР.

- При подготовке к испытаниям и непосредственно во время испытаний персонал допустил следующие нарушения технологического регламента и/или инструкций по эксплуатации:
 - Неоднократное снижение уровня воды в БС ниже допустимого;
 - Неоднократное превышение и снижение расхода питательной воды;
 - Превышение расхода воды через ГЦН.
- Однако непосредственно перед остановом реактора, после завершения испытаний, все параметры реакторной установки находились в разрешенных Регламентом пределах.
- Указанные нарушения не являются непосредственными причинами аварии, но свидетельствуют о низком уровне культуры безопасности персонала.
- Взрыв произошел после нажатия кнопки аварийной защиты реактора (АЗ-5), предназначенной для останова реактора, как в аварийных, так и в штатных режимах.

- Можно сказать, что авария явилась следствием низкой культуры безопасности не только на Чернобыльской АЭС, но и во всех советских проектных, эксплуатирующих и регулирующих организациях атомной энергетики, существовавших в то время.
- Культура безопасности, детально рассмотренная в INSAG-4, требует полной приверженности делу обеспечения безопасности, которая на атомных электростанциях формируется главным образом отношением к этому руководителей организаций, участвующих в их проектировании и эксплуатации.
- В этой связи оценка чернобыльской аварии показывает, что недостаточная культура безопасности была присуща не только этапу эксплуатации, но также, и не в меньшей степени, деятельности на других этапах жизненного цикла атомных электростанций (включая проектирование, инженерно-технические разработки, сооружение, изготовление и регулирование).

- Разработчики реактора знали о таком опасном свойстве созданного ими реактора, как возможность ядерной неустойчивости, но количественно не смогли оценить возможные последствия ее проявления и оградили себя регламентными ограничениями, которые, как показала практика, оказались весьма слабой защитой. Такой подход не имеет ничего общего с культурой безопасности.
- Упомянутая весьма слабая защита против очень опасных последствий неустойчивого реактора не соответствует концепции глубоко эшелонированной защиты, на основе которой развивалась атомная энергетика во всем мире.
- Реактор РБМК-1000 с его проектными характеристиками и конструктивными особенностями по состоянию на 26 апреля 1986 г. обладал столь серьезными несоответствиями требованиям норм и правил по безопасности, что эксплуатация его стала возможной лишь в условиях недостаточного уровня культуры безопасности в стране.

- Критическую роль в инициировании и развитии аварии сыграло то, что создатели реактора РБМК-1000, зная о его недостатках, не поставили о них в известность эксплуатационный персонал и не проинструктировали его о том, как надо действовать, чтобы предотвратить их проявление.
- В результате технологический регламент и инструкции по эксплуатации реактора содержали указания, действия в соответствии с которыми в определенных режимах работы могли привести к катастрофическим последствиям.
- После завершения испытаний выбега генератора ночью 26 апреля 1986 года, категорически нельзя было останавливать реактор нажатием кнопки АЗ-5, как это предписывалось технологическим регламентом по эксплуатации реактора РБМК-1000, но персонал об этом не знал.
- Порочная практика создателей реактора РБМК-1000 скрывать информацию об известных им его недостатках, стала причиной неадекватной подготовки персонала к действиям в нештатной ситуации.

Спасибо за внимание!

http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub913r_web.pdf

<http://accident.ru/>

<https://chnpp.gov.ua/ru/history-of-the-chnpp/accident-of-1986/175-2012-02-01-08-01-38529>

<http://v-alekseev.org/chnpp/>