

ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АЭС
CHERNOBYL NUCLEAR
POWER STATION



ATOMENERGOEXPORT



Подводящий канал технического водоснабжения
Service Water Channel



ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

На живописном берегу реки Припять сооружена первая очередь Чернобыльской атомной электростанции, одной из крупнейших в СССР и Европе.

Чернобыльская АЭС с канальными уран-графитовыми кипящими реакторами мощностью по 1000 МВт (электрических) является одной из серий строящихся атомных станций такого типа, на которых в будущем будет производиться существенная часть электроэнергии в Европейской части Советского Союза.

CHERNOBYL NUCLEAR POWER STATION

The first line of the Chernobyl nuclear power station, which is one of the largest plants in the USSR and Europe, has been constructed on the picturesque riverside of Pripjat. The Chernobyl NPS using channel-type uranium-graphite boiling water reactors, each of 1000 MW capacity, is one of nuclear power plants of the same type at present under construction. In future, they are to produce an essential part of electricity in the European area of the Soviet Union.

ОПИСАНИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

DESCRIPTION OF THE CHERNOBYL NPS

На первой очереди Чернобыльской АЭС установлено два канальных реактора типа РБМК-1000, в которых замедлителем нейтронов является графит, а теплоносителем — кипящая вода.

При проектировании Чернобыльской АЭС были учтены многолетний опыт разработки и эксплуатации в СССР канальных уран-графитовых реакторов большой мощности на Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова, Сибирской, Ленинградской и Курской АЭС, а также современные достижения ядерной технологии и материаловедения.

Чернобыльская АЭС — станция одноконтурного типа: пар, подаваемый на турбины, образуется непосредственно в реакторе при кипении проходящего через него теплоносителя. В качестве теплоносителя используется обычная вода, циркулирующая по замкнутому контуру; конденсаторы турбин охлаждаются водой пруда-охладителя. Первая очередь станции включает в себя два энергетических блока электрической мощностью 1000 МВт каждый с отдельными помещениями для реакторов, вспомогательного оборудования, систем транспортировки топлива и пультов управления реакторами, с общими машинным залом и помещением для газоочистки и системы подготовки воды.

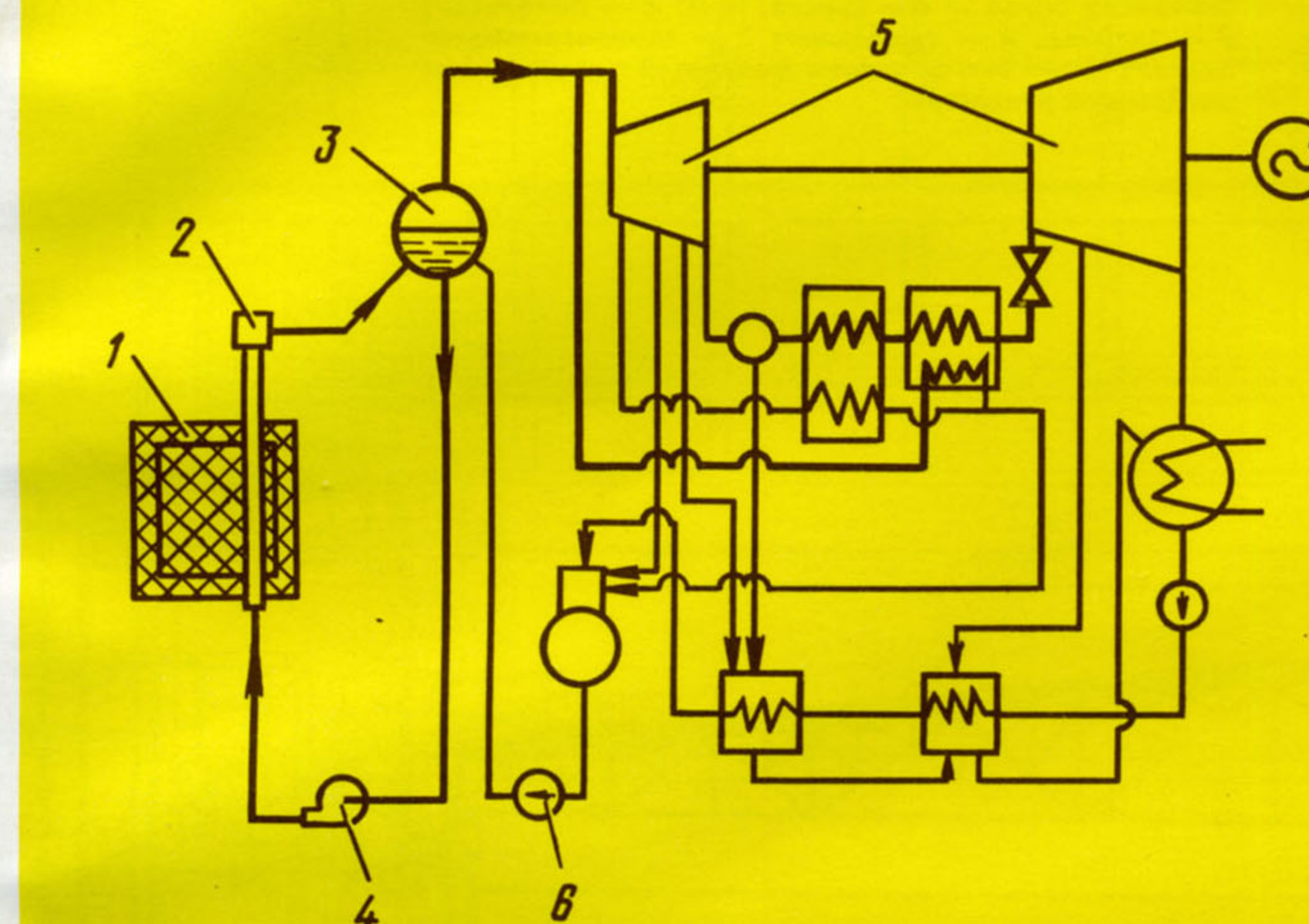
В каждый энергетический блок входят реактор РБМК-1000 с контуром циркуляции и вспомогательными системами, паровой и конденсатно-питательный тракты и две турбины К-500-65 с турбогенераторами мощностью по 500 МВт. Тепловая мощность одного блока АЭС 3200 МВт, электрическая — 1000 МВт, 100 Гкал/ч тепла отбираются для отопления. Давление насыщенного пара перед турбиной 65 кгс/см².

The first line of the Chernobyl NPS includes two РБМК-1000 channel-type reactors in which graphite is used as neutron moderator, and boiling water as coolant.

The experience gained during many years of the development work and operation of large channel-type uranium-graphite reactors in the USSR at the Beloyarsk NPS named after I. V. Kurchatov, Siberia, Leningrad and Kursk NPS, along with recent progress in nuclear technology and materials studies has been applied in designing the Chernobyl NPS.

The Chernobyl NPS is a single circuit system: steam fed to turbines is produced directly in the reactor due to the boiling of the coolant circulating through the reactor. Ordinary water is used as the coolant, which circulates in a closed loop; the turbine condensers are cooled by the coolant pond water. The first line of the station includes two 1000-MW power units. The reactors, auxiliary equipment, fuel transportation systems and reactor control boards are mounted in separate rooms. The turbine hall and rooms containing gaspurification and water-treatment systems are common for the two reactors.

Each power unit includes an РБМК-1000 reactor with the circulation circuit and auxiliary systems, steam and condensate-feeding duct, and two К-500-65 500-MW turbines. Thermal capacity of one power unit is 3200 MW, electrical capacity is 1000 MW, 100 Gcal/h are spent on heating. The saturated steam pressure at the turbine inlet is 65 kgf/cm².



Принципиальная тепловая схема:

1 — реактор; 2 — технологический канал; 3 — барабан-сепаратор; 4 — главный циркуляционный насос; 5 — паровая турбина; 6 — питательный насос

Schematic Diagram of Thermal System:

1 — reactor; 2 — process channel; 3 — drum separator; 4 — main circulation pump; 5 — steam turbine; 6 — feed pump

Режим работы АЭС — базовый с возможностью перехода на следящий; водный режим — бескоррекционный, нейтральный.

Контур циркуляции выполнен из аустенитной стали и циркония, паро- и конденсатопроводы — из углеродистой стали, трубы конденсатора — из сплава МНЖ, трубы подогревателей — из нержавеющей стали, металлоконструкции и кожух реактора — из углеродистой стали.

В качестве ядерного топлива используется обогащенная до 1,8% двуокись урана. Средняя глубина выгорания составляет 18,5 МВт/сутки/кг, масса стационарной загрузки 180 т урана. Первая загрузка — 155 т урана с 1,8%-ным обогащением.

The station is operated either on base load or as a load following station; the water condition is neutral, without correction required.

The circulation circuit is made of austenite steel and zirconium, the steam and condensate ducts are of carbon steel, the condenser tubes are of МНЖ alloy, the heater tubes are of stainless steel, the metal structures and reactor shell are of carbon steel.

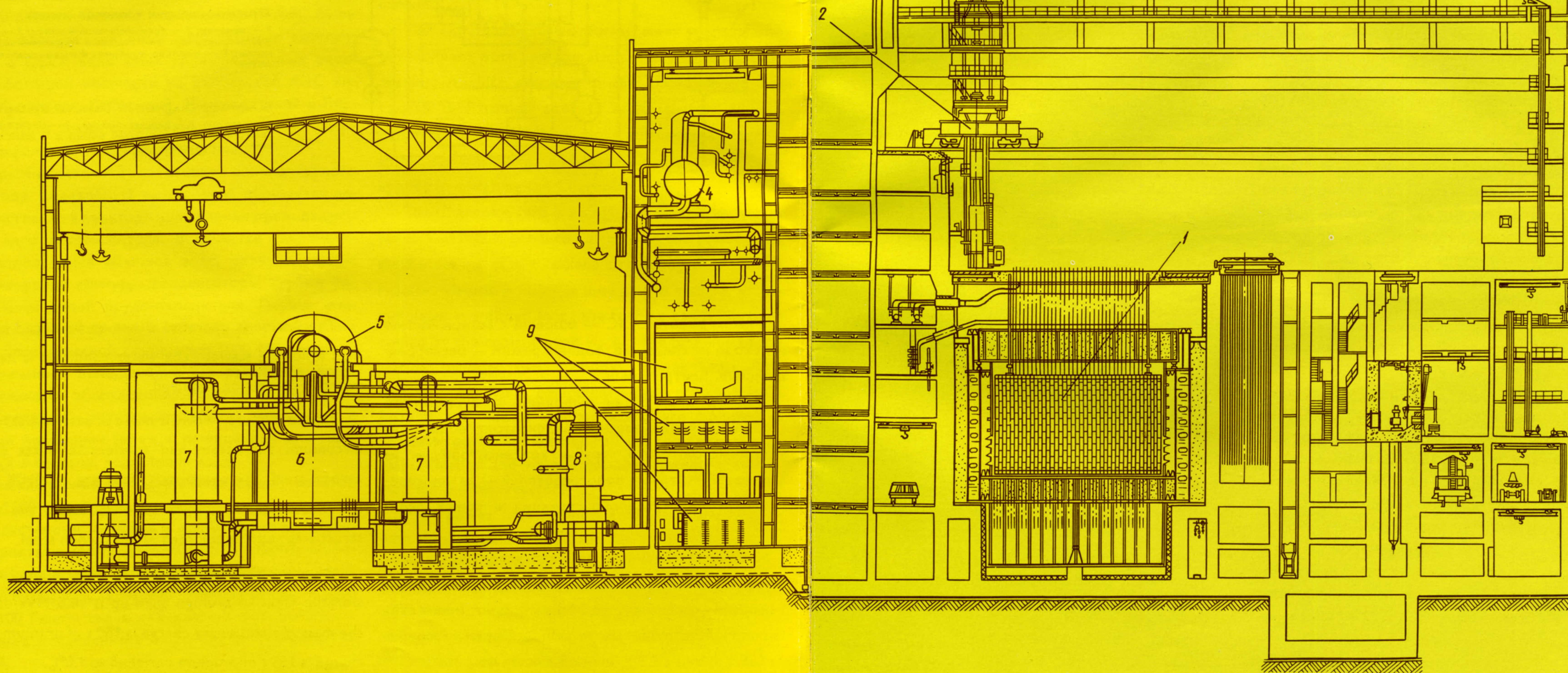
Uranium dioxide enriched to 1.8% is used as fissionable fuel. An average burn-up is 18.5 MW/day/kg, the mass of a stationary charge is 180 t of uranium. First charge is 155 t of uranium enriched to 1.8%.

Поперечный разрез главного корпуса:

1 — реактор; 2 — разгрузочно-загрузочная машина; 3 — мостовой кран центрального зала; 4 — деаэратор; 5 — турбина; 6 — конденсатор; 7 — сепаратор-перегреватель; 8 — подогреватель низкого давления; 9 — электрические помещения

Main Building. Sectional View:

1 — reactor; 2 — refuelling machine; 3 — overhead travelling crane in the central hall; 4 — deaerator; 5 — turbine; 6 — condenser; 7 — separator-superheater; 8 — low-pressure heater; 9 — electrical equipment premises



КОНСТРУКЦИЯ РЕАКТОРА REACTOR DESIGN

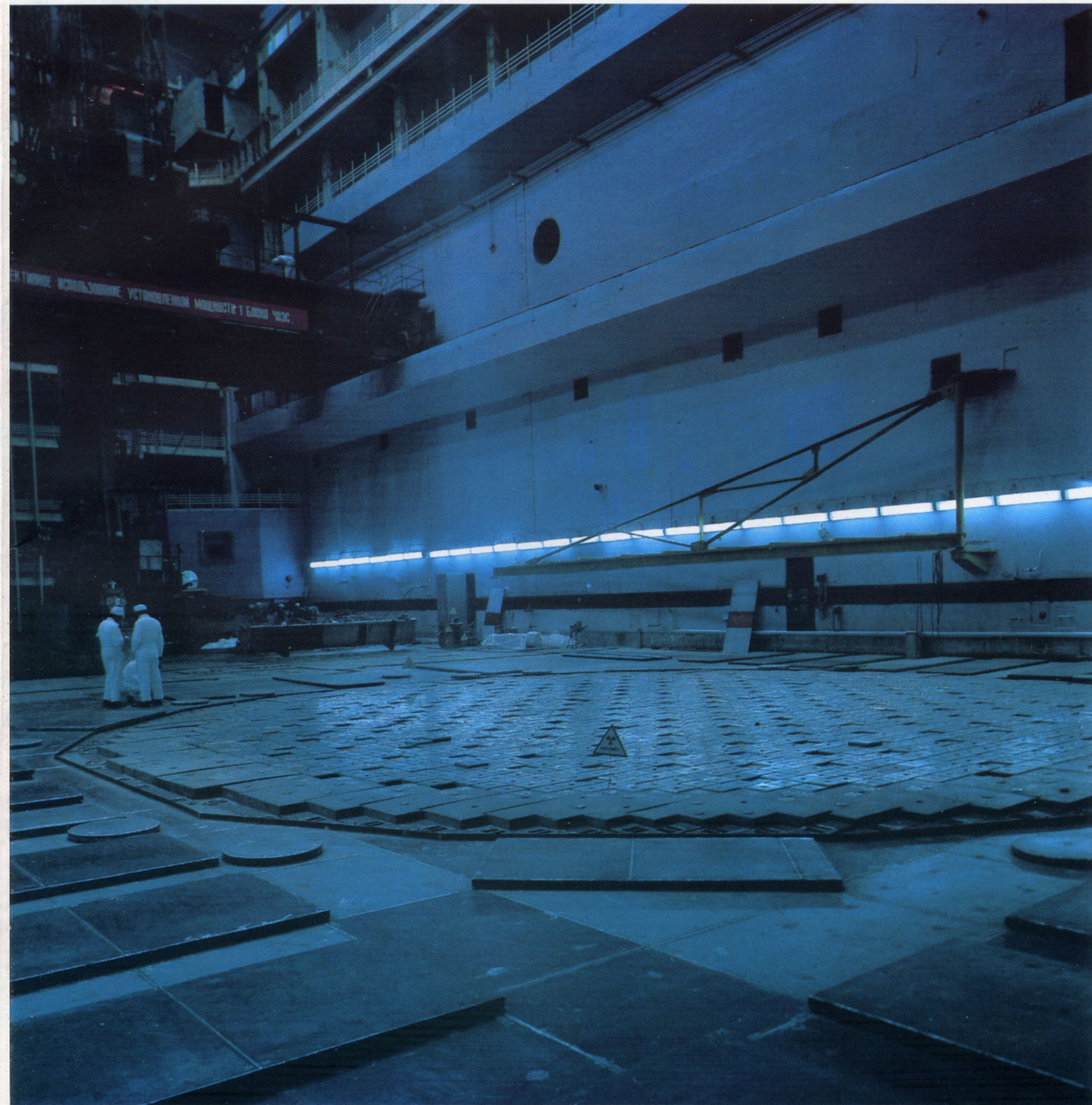
Каждый реактор размещен в бетонной шахте размером $21,6 \times 21,6 \times 25,5$ м. Вес реактора передается на бетон через сварные металлоконструкции, которые одновременно служат биологической защитой и вместе с кожухом образуют герметичную полость — реакторное пространство, где размещается графитовая кладка. Кладка состоит из собранных в колонны графитовых блоков сечением 250×250 мм с вертикальными цилиндрическими отверстиями. В отверстия графитовой кладки устанавливаются технологические (парогенерирующие) каналы или каналы системы управления и защиты (СУЗ). Герметичное реакторное пространство замыкается верхней металлоконструкцией, опирающейся на кольцевой бак биологической защиты, заполненный водой. Для предотвращения окисления графита и улучшения его охлаждения реакторное пространство заполнено смесью гелия с азотом.

Технологические каналы (в реакторе их 1693) представляют собой сварную трубную конструкцию, предназначенную для размещения тепловыделяющих сборок (ТВС), омываемых потоком теплоносителя. Верхняя и нижняя части технологического канала изготовлены из нержавеющей стали, центральная труба диаметром 88 мм и толщиной 4 мм, расположенная в пределах активной зоны реактора, — из циркониевого сплава, имеющего высокие механические и антикоррозионные свойства. С помощью сварного соединения технологический канал крепится к верхнему (пароводяному) тракту, нижняя часть канала соединяется с водяным трактом через узел компенсатора, что обеспечивает свободу термических расширений без нарушения герметичности реакторной полости. Такое соединение обеспечи-

Each reactor is housed in a concrete pit measuring $21.6 \times 21.6 \times 25.5$ m. The reactor mass is transferred to the concrete through welded structures, which also serve as a biological shield and, together with the reactor shell, form a leaktight vault (the reactor space) accommodating the graphite stack. The graphite stack consists of a graphite block having a cross sectional area of 250×250 mm and arranged in the form of a column with vertical cylindrical holes. The holes accommodate process (steam-generating) channels or control and safety channels (CSC). The leaktight reactor space is confined by the upper metal structure resting on the annular tank of the biological shielding system filled with water. To prevent graphite from oxidation and to improve its cooling the reactor space is filled with a mixture of helium and nitrogen.

The process channels (there are 1693 such channels in the reactor) are welded tubular structures designed to house fuel assemblies (FA) with the coolant circulating around them. The upper and lower parts of the process channel are fabricated from stainless steel; the central pipe, 88 mm in diameter and 4 mm thick, is positioned inside the core and is fabricated from a zirconium alloy with good mechanical and anticorrosive properties. The process channel is connected with the upper steam-water loop by a welded joint, the lower part of the channel being connected with the water loop through an expansion junction that allows for thermal expansion without affecting the reactor vault tightness. Such a joint permits replacement of the

Реакторный зал АЭС
NPS Reactor Hall



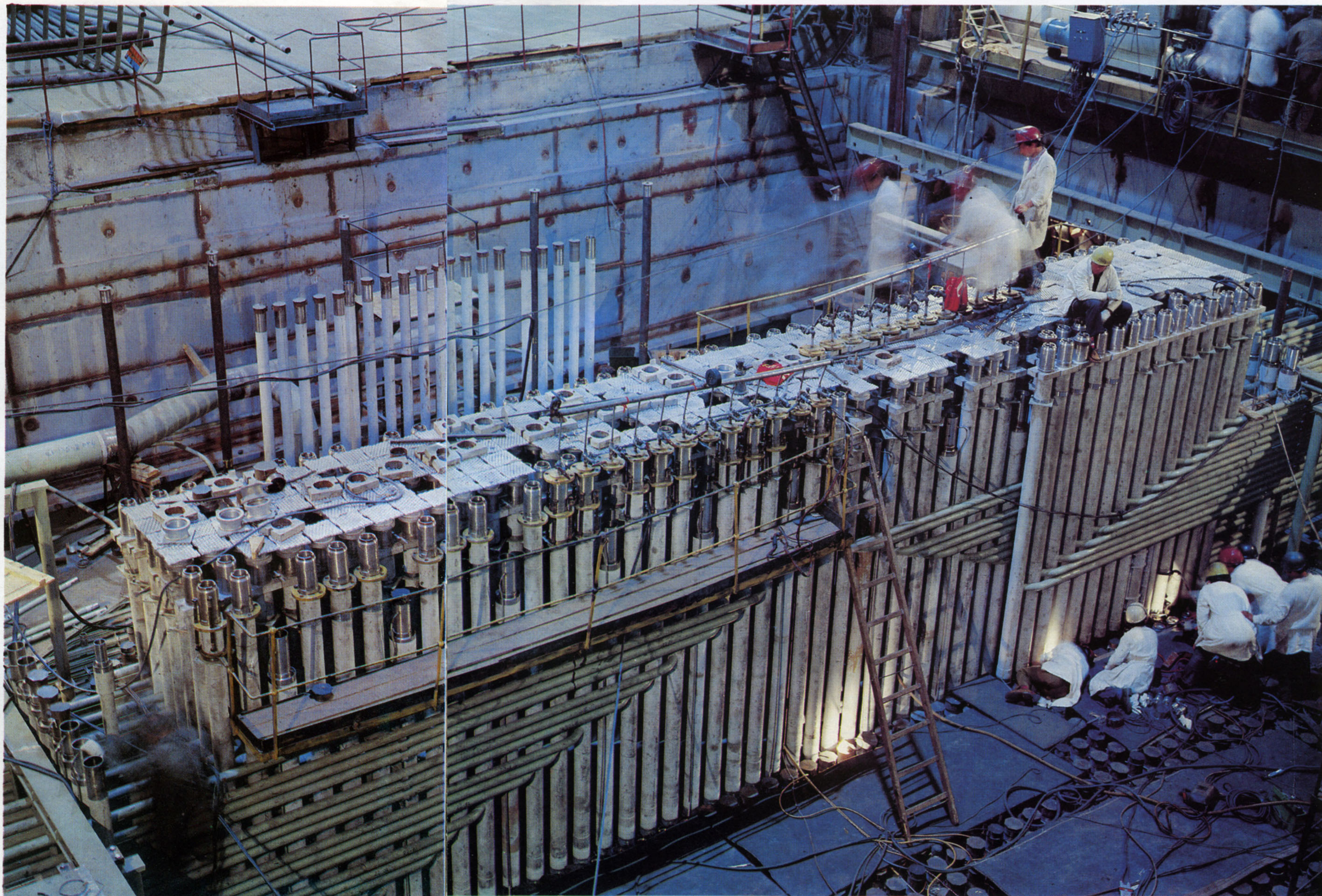
вает при необходимости возможность замены технологического канала во время остановки реактора.

В технологический канал помещается кассета с двумя тепловыделяющими сборками (ТВС). Кассета крепится на специальной подвеске, снабженной винтовой защитной пробкой и запорной пробкой, располагающейся в головке верхнего тракта и герметически перекрывающей полость тракта. Каждая ТВС состоит из 18 тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), длина тепловыделяющей (активной) части которых равна 3,5 м. Тепловыделяющий элемент представляет собой трубку из циркониевого сплава с наружным диаметром 13,6 мм и толщиной 0,9 мм, заполненную таблетками из двуокиси урана. Две ТВС соединяются в кассету, длина активной части которой составляет 7 м.

process channel during the reactor shut-down, if necessary.

A fuel assembly (FA) containing two fuel sub-assemblies is inserted in the process channel. The fuel assembly is fastened on a special suspension provided both with a protective screw plug and a stop plug, arranged in the head of the upper loop and hermetically closing the loop. Each fuel sub-assembly consists of 18 fuel elements (FE) of 3.5 m active length. The fuel element is a zirconium alloy cylinder, 13.6 mm in outer diameter and 0.9 mm thick, filled with uranium dioxide pellets. Two fuel sub-assemblies are connected to form an assembly, whose active length is 7 m.

Монтаж реактора
Reactor Assembling



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
РЕАКТОРА РБМК-1000 И КОНТУРА
ЦИРКУЛЯЦИИ

BASIC CHARACTERISTICS OF РБМК-1000
REACTOR AND ITS CIRCULATION
CIRCUIT

Электрическая мощность, МВт	1 000	Electrical capacity, MW
Тепловая мощность, МВт	3 200	Thermal capacity, MW
Расход теплоносителя, т/ч	37 500	Coolant flow rate, t/h
Паропроизводительность, т/ч	5 800	Steam capacity, t/h
Температура, °С:		Temperature, °С:
насыщенного пара	284	saturated steam
воды на входе в реактор	270	reactor inlet water
Давление в сепараторе, кгс/см²	70	Pressure in the separator, kgс/cm²
Среднее весовое паросодержание на выходе из технологических каналов, %	15	Average steam content at the process channel outlet, %
Количество:		Number of:
технологических каналов	1 693	process channels
каналов СУЗ	179	control and safety channels
Загрузка реактора ураном, т	180	Uranium charge, t
Начальное обогащение, %	1,8	Initial enrichment, %
Выгорание горючего, МВт/сутки/кг	18,5	Burn-up, MW/day/kg
Производительность циркуляционного насоса, м³/ч	8 000	Circulation pump delivery, m³/h
Напор циркуляционного насоса, кгс/см²	13	Circulation pump head, kgf/cm²

Теплоноситель — вода подводится к каждому технологическому каналу снизу, паро-водяная смесь

Water used as the coolant enters each process channel on the underside while the steam-water

отводится из верхней части каналов. Для регулирования расхода теплоносителя на подводящих трубопроводах установлены регулирующие клапаны.

Система управления и защиты (СУЗ) реактора (179 каналов) обеспечивает устойчивое автоматическое поддержание мощности на заданном уровне, позволяет выравнивать распределение нейтронного потока по радиусу и высоте активной зоны и компенсировать изменение реактивности во время переходных режимов. Объем СУЗ выбран из тех соображений, чтобы в любой ситуации в случае необходимости реактор мог быть надежно заглушен со скоростью снижения мощности 8% в секунду. В СУЗ используются высоконадежные полупроводниковые и бесконтактные элементы, система построена с резервированием аппаратуры. Исполнительными органами СУЗ являются поглощающие стержни из карбида бора в оболочке из алюминиевого сплава. Стержни перемещаются с помощью индивидуальных сервоприводов, установленных сверху на каналах СУЗ. Охлаждение стержней осуществляется водой специального контура с температурой 40÷70 °С.

Для компенсации начального избыточного запаса реактивности в часть технологических каналов реактора вместо тепловыделяющих сборок устанавливаются дополнительные поглотители (ДП). Поглощающими элементами в них являются втулки из бористой и нержавеющей сталей. Поглощающая способность ДП регулируется изменением соотношения между числом втулок из бористой и нержавеющей сталей.

Биологическая защита реактора обеспечивает допустимую санитарными нормами радиационную обстановку в реакторном зале и во всех обслуживаемых помещениях вокруг шахты реактора во время его работы, а также возможность проведения перегрузки технологических каналов, ремонта оборудования и работ по ликвидации последствий возможных аварий. В биологической защите реактора применены недорогие и широко распространенные материалы: углеродистая сталь, серпентинитовый песок и галька, железо-барий-серпентинитовый цементный камень, обычный бетон, песок и вода.

mixture is removed through the top part of the channels. To control the coolant flow rate, the pipelines are provided with regulating valves.

The reactor control and safety system (CSS) including 179 channels, automatically maintains constant the power at the desired level, equally shares the neutron along the core radius and height, and compensates for reactivity changes in transient operation. The number of CSS organs is such that, if required, the reactor power can be reliably cut down by 8% per second under abnormal conditions. The CSS system uses highly reliable semiconductor and electronic elements, and incorporates redundancy provisions. Absorption rods made of boron carbide, clad in aluminium cans fulfil the main control function in the CSS system. The rods are actuated by individual servodrives mounted at the top of the CSS channels. The rods are cooled with water at a temperature of 40—70 °C fed from a special circuit.

To compensate for initial excess reactivity supplementary absorbers (SA) are installed in some of the process channels instead of fuel assemblies. Tubes fabricated from boron steel and stainless steel are used as absorbing material. The SA absorbability is controlled by varying the ratio between the number of these tubes.

The biological shield ensures permissible radiation conditions in the reactor hall and in all man-served rooms situated around the reactor well when the reactor is in operation. It also enables refuelling of the process channels, repair of the equipment and elimination of the effects of possible failures. The biological shield is made of inexpensive widespread materials, such as carbon steel, serpentinite sand, iron-barium-serpentinite cement stone, common concrete, sand and water.

СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕАКТОРА

REACTOR MONITORING SYSTEMS

Системы технологического контроля реактора обеспечивают оператора визуальной и зарегистрированной информацией о значениях параметров, характеризующих работу реактора в целом, работу его отдельных каналов и состояние элементов конструкции. Системы технологического контроля выдают также сигналы в систему управления и защиты (СУЗ).

Основные системы технологического контроля следующие:

- система поканального контроля расхода теплоносителя;
- система физического контроля распределения энерговыделения по высоте и радиусу активной зоны;
- система контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов (КГО);
- система контроля целостности технологических каналов.

Расход воды в каналах реактора контролируется расходомерами, устанавливаемыми на входе в каждый технологический канал и в канал СУЗ.

Система физического контроля распределения энерговыделения по высоте и радиусу реактора обеспечивает контроль энерговыделения по всему объему реактора. В ней используются датчики нейтронной плотности, устанавливаемые в части технологических каналов (радиальное распределение) и каналов СУЗ (высотное распределение). Эта система непосредственно связана с системой централизованного контроля установки, в которой обрабатываются ее сигналы.

Герметичность тепловыделяющих элементов контролируется системой КГО путем измерения активности паро-водяной смеси в трубопроводах на входе в сепараторы. Это делается с помощью двойных сцинтилляционных гамма-спектрометрических датчиков, установленных на подвижных плат-

The monitoring systems of the reactor provide an operator with visual and recorded information on the parameters characterizing reactor operation as a whole, operation of its individual channels and the state of its structural components. The monitoring systems also send signals to the control and safety system (CSS).

The main monitoring systems are as follows:

- system for channel-by-channel monitoring of coolant flow rates;
- system for physical control of energy sharing along the core radius and height;
- system for monitoring fuel cladding integrity (FCI);
- system for monitoring the integrity of process channels.

The water flow rate through the reactor channels is measured by flow-meters positioned at the inlets of every process and CSS channels.

The system of physical monitoring of energy release sharing along the height and radius of the core provides for checking the energy released over the entire reactor volume. The system includes neutron-density monitors installed in some of the fuel channels (radial sharing) and CSS channels (vertical sharing). The system is directly connected with the central monitoring system, where its signals are processed.

Leaks in the fuel element cladding are detected by the FCI monitoring system, which measures the radioactivity level of the steam-water mixture in the pipings at the separator inlets. For this purpose double scintillation-gamma spectrometric detectors mounted



Блочный щит АЭС • NPS Control Board

формах и периодически контролирующими трубопроводы.

Система контроля целостности труб каналов предназначена для обнаружения негерметичного канала и предотвращения распространения влаги по графитовой кладке замедлителя реактора. Кон-

on movable platforms are provided to monitor performance of tubes at regular time intervals.

The system for monitoring the integrity of the channel pipes is designed to detect a leaky channel and to prevent the coolant from spreading over the reactor graphite stack. The system follows changes in the rela-

роль осуществляется по изменению относительной влажности и температуры азотно-гелиевой смеси, прокачиваемой по зазорам между каналами и графитовой кладкой в реакторном пространстве. Циркуляция газовой смеси осуществляется по замкнутому контуру; в контуре проводится очистка газовой смеси от паров воды и продуктов окисления графита, а также контроль и поддержание нужного состава смеси.

Ввиду большого числа контролируемых параметров применяется автоматическая централизованная система контроля, позволяющая выборочно измерять и регистрировать те или иные параметры, регистрировать уменьшение величины запаса до кризиса теплообмена на тепловыделяющих элементах, а также дающая оператору рекомендации для поддержания рабочего режима реактора. Система включает в себя цифровую ЭВМ для обработки поступающей информации.

СИСТЕМА ПЕРЕГРУЗКИ РЕАКТОРА

Достоинством канальных реакторов является возможность перегрузки топлива при работе без снижения уровня мощности. Это позволяет повысить коэффициент нагрузки АЭС и снизить непроизводительные потери нейтронов в поглотителях СУЗ. Выгрузка выгоревшего горючего и загрузка свежего производится с помощью специальной разгрузочно-загрузочной машины (РЗМ), расположенной в реакторном зале. Масса машины с защитой составляет 465 т. Управление ею осуществляется дистанционно из операторского помещения. Конструкция машины позволяет производить перегрузку негерметичных тепловыделяющих сборок. Благодаря возможности их своевременного извлечения из реактора значительно снижаются газовые радиоактивные выбросы и повышается радиационная безопасность АЭС.

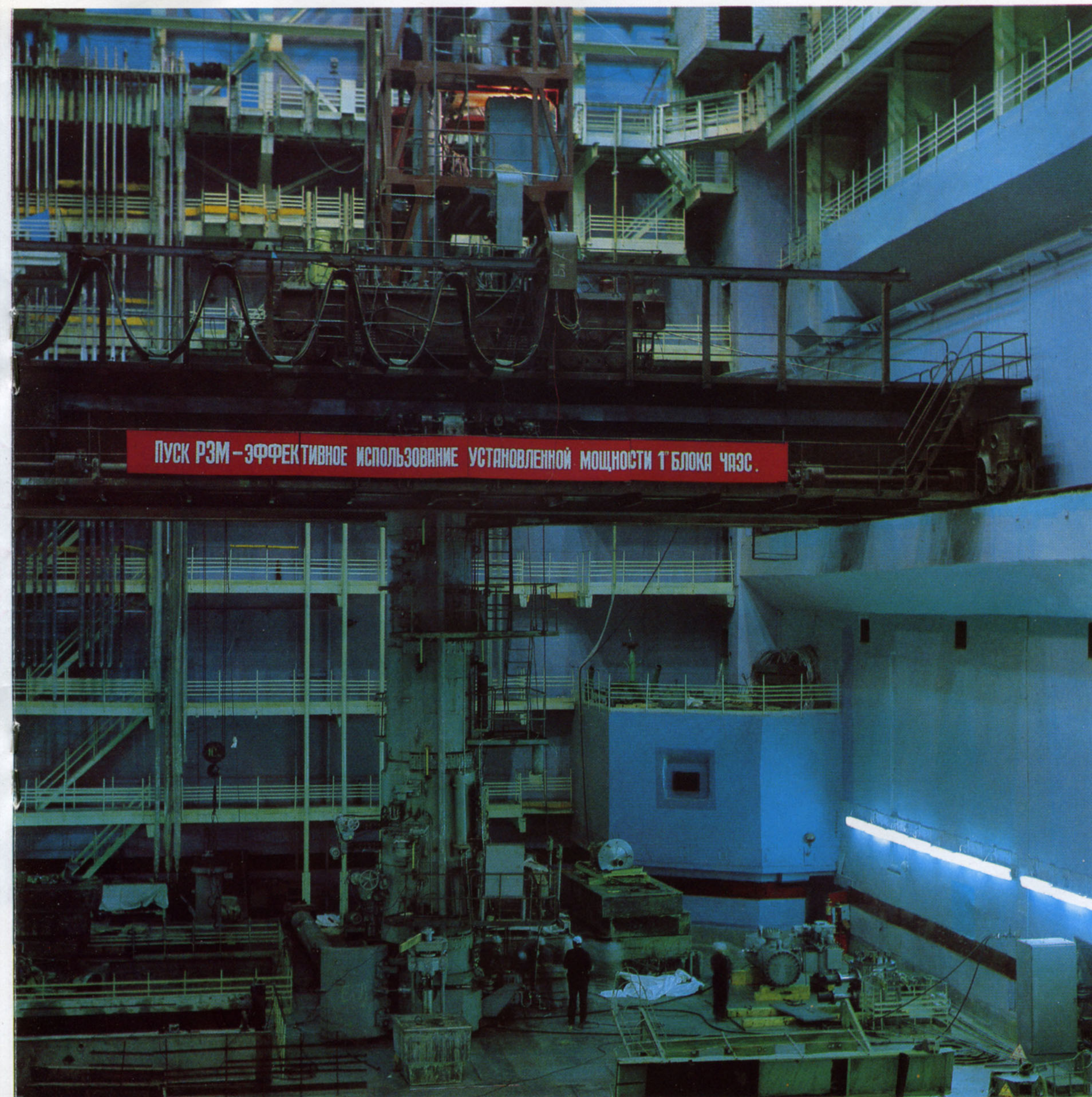
tive moisture content and temperature of the nitrogen-helium mixture pumped through the space between the channels and graphite stack in the reactor vault. The gas mixture circulates in a closed circuit, in which it is separated from the water vapour and graphite oxidation products, and the desired composition of the mixture is maintained.

In view of a large number of parameters being measured an automatic central monitoring system is used. It provides for selective measurement and recording of various parameters, detection of a reduction in a dry-out margin on the fuel elements and also gives recommendations to the operator for maintaining the reactor operating conditions. The system includes a digital computer for data processing.

REACTOR FUEL LOADING SYSTEM

The advantage of channel-type reactors is that they allow on-load refuelling without derating. Thus the plant demand factor can be increased and involuntary loss of neutrons in the control system absorbers can be reduced. Spent fuel is discharged and fresh fuel charged by a special refuelling machine (RM) mounted in the reactor hall. The mass of the machine with the shield is 465 t. The machine is remotely controlled from the operators' room. The machine is designed so as to ensure removal of defective fuel assemblies with reactor carrying load. The possibility of extraction and replacement of the faulty fuel assemblies in due time substantially reduces radioactive gas effluent and increases the plant radiation safety.

Разгрузочно-загрузочная машина
Refuelling Machine



КОНТУР ЦИРКУЛЯЦИИ CIRCULATION CIRCUIT

Тепло, выделяющееся в реакторе, отводится водой, циркулирующей по контуру многократной принудительной циркуляции, который состоит из двух параллельных петель. Оборудование петель и их трубопроводы расположены в боксах симметрично относительно реакторного зала.

Циркуляция теплоносителей в каждой петле осуществляется с помощью четырех циркуляционных электронасосов, три из которых являются рабочими, один — резервным.

Вода с температурой 270 °C подается насосами в напорный коллектор, а затем в 22 раздаточных групповых коллектора, питающих половину технологических каналов реактора. Общий расход воды через реактор составляет 37 500 т/ч.

Паро-водяная смесь, образующаяся в технологических каналах, подается в барабаны-сепараторы, в которых происходит разделение смеси на пар и воду. В каждой из двух петель циркуляционного контура имеются два таких барабана-сепаратора. Они представляют собой выполненные из углеродистой стали с нержавеющей плакировкой, горизонтальные барабаны диаметром 2,3 м, длиной около 30 м, массой 200 т. Сепараторы каждой петли соединены по воде и пару перемычками.

Из сепараторов пар направляется к турбинам, а отсепарированная вода после смешения с конденсатом отработавшего в турбинах пара по опускным трубопроводам диаметром 300 мм возвращается к всасывающему коллектору главных циркуляционных насосов.

Обе петли контура циркуляции имеют общую систему очистки контурной воды, включающую механические и ионообменные фильтры, производительность которой составляет около 200 т/ч.

The heat released inside the reactor is removed by water circulating in the multiple forced circulation circuit consisting of two parallel loops. The equipment and pipelines of these loops are housed in boxes disposed symmetrically with respect to the reactor hall.

In each loop, the coolant is circulated by four main circulation pumps, three of which are operating, and one is a stand-by pump.

The water heated to 270 °C is pumped to a common header, then to 22 branch headers feeding half the reactor process channels. The total water flow rate in the reactor is 37,500 t/h.

A steam-water mixture formed in the process channels arrives at drum separators wherein the mixture is separated into water and steam. There are two such drum separators in each circulation circuit loop. They are designed as horizontal drums 2.3 m in diameter, 30 m long and its mass weighs 200 t; the drums are made of carbon steel and clad internally with corrosion-resistant material. The separators within each loop are interconnected by water and steam pipes.

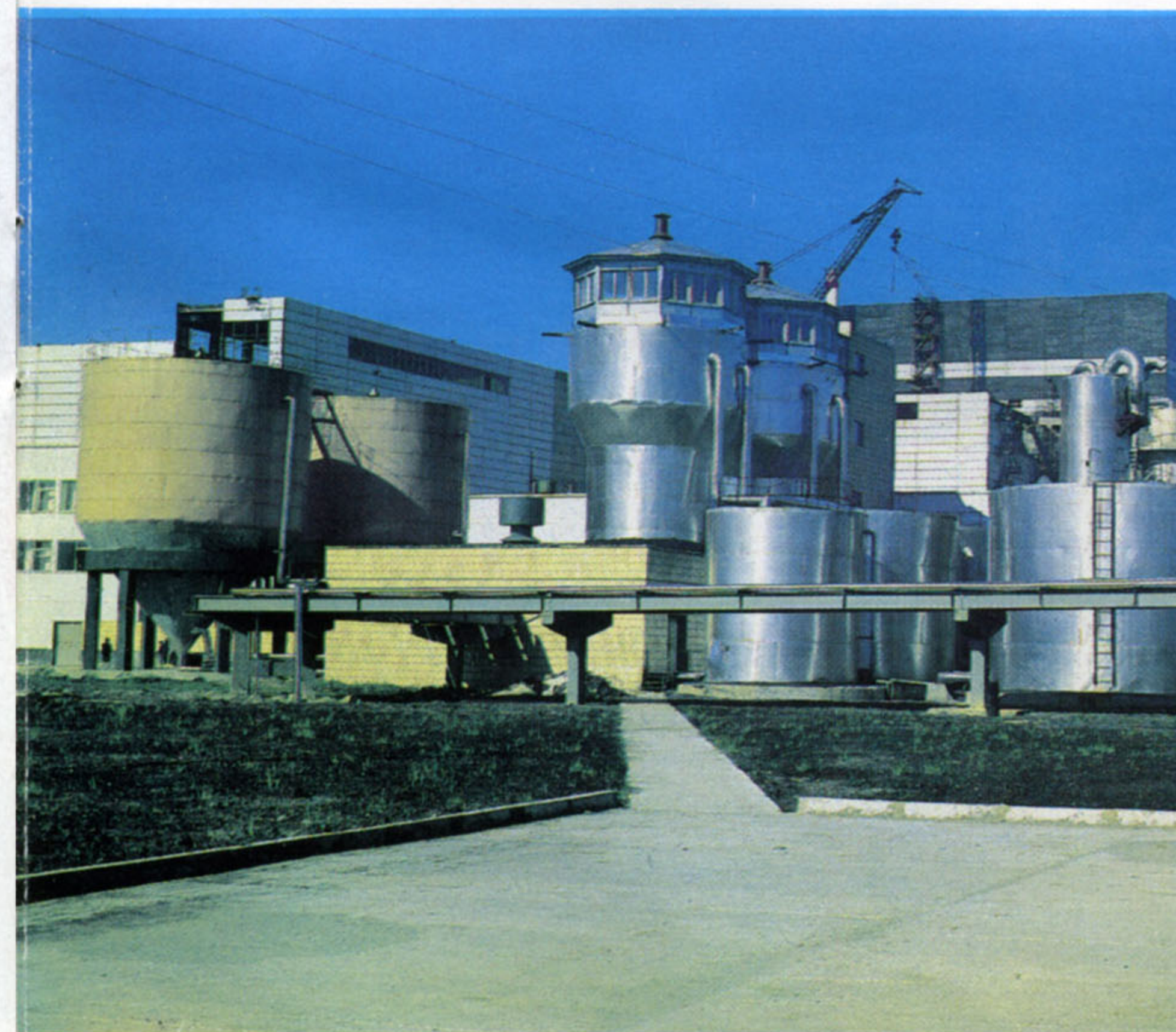
From the separators, the steam is piped to turbines, and the separated water, after being mixed with condensate of the steam already used in the turbines, arrives through down-comers, 300 mm in diameter, at a suction header of the main circulation pumps.

Both loops of the circulation circuit have a common circuit-water clean-up system including mechanical and ion-exchange filters with a capacity of about 200 t/h.



Фильтровальный зал химводоочистки
Water-Treatment Filters Hall

Баки химводоочистки
Water-Treatment Tanks



Компрессорная станция собственных нужд
Compressor Station for the Auxiliaries



ПАРОВОЙ И КОНДЕНСАТНО-ПИТАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Насыщенный пар давлением 70 кгс/см² из барабанов-сепараторов каждого блока поступает по восьми паропроводам диаметром 400 мм к двум турбинам К-500-65. Схема паропроводов обеспечивает возможность работы всех четырех барабанов-сепараторов на одну турбину. При закрытии стопорного клапана одной или обеих турбин излишки пара сбрасываются через редукционные устройства в конденсаторы турбин. Если в них сорван вакуум, то излишки пара направляются в пароприемный узел (барботер и технологический конденсатор), в котором собираются также сбросы предохранительных клапанов, благодаря чему исключается попадание пара в атмосферу.

Конденсат пара, отработавшего в турбинах, возвращается через конденсато-очистку и пять подогревателей низкого давления в деаэратор и далее питательными насосами подается через клапаны регуляторов уровня в сепараторы.

STEAM AND CONDENSATE-FEEDING CIRCUIT

Upon leaving the drum separators of each unit, the saturated steam at a pressure of 70 kgf/cm² is piped through eight pipelines, 400 mm in diameter, to two turbines, type K-500-65. The arrangement of the steam ducts enables all the four drum-separators to feed one turbine. When the steam shut-off valve of one or both turbines is closed, the reactor steam may be dumped to the turbine condensers through the reducing valves. In the event of broken vacuum conditions excess steam is directed to the steam receivers (the barbotage device and process condenser), which also collect such discharges from the safety valves, thus preventing the discharge of steam effluent to the atmosphere.

The condensate of the steam already used in turbines arrives at the deaerator through a condensate decontamination plant and five low-pressure heaters, and then is fed by pumps through the level control valves to the drum separators.

Азотно-кислородная станция • Nitrogen-oxygen Station



Центральное масляное хозяйство • Central Oil Station



Насосная станция технического водоснабжения
Service Water Pump Station

Отводящий канал
Drain Duct



ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ

Каждый энергетический блок Чернобыльской АЭС оснащен двумя турбинами К-500-65 с генераторами мощностью 500 МВт каждый. Турбины — одновальные, двухпоточные (один цилиндр высокого давления, ЦВД и четыре цилиндра — низкого, ЦНД), длина турбины 39 м, скорость 3000 об/мин, масса 1200 т. Между ЦВД и ЦНД имеется сепаратор и промежуточный перегреватель пара. Генераторы трехфазные, с частотой 50 Гц, с водородным и водяным охлаждением.

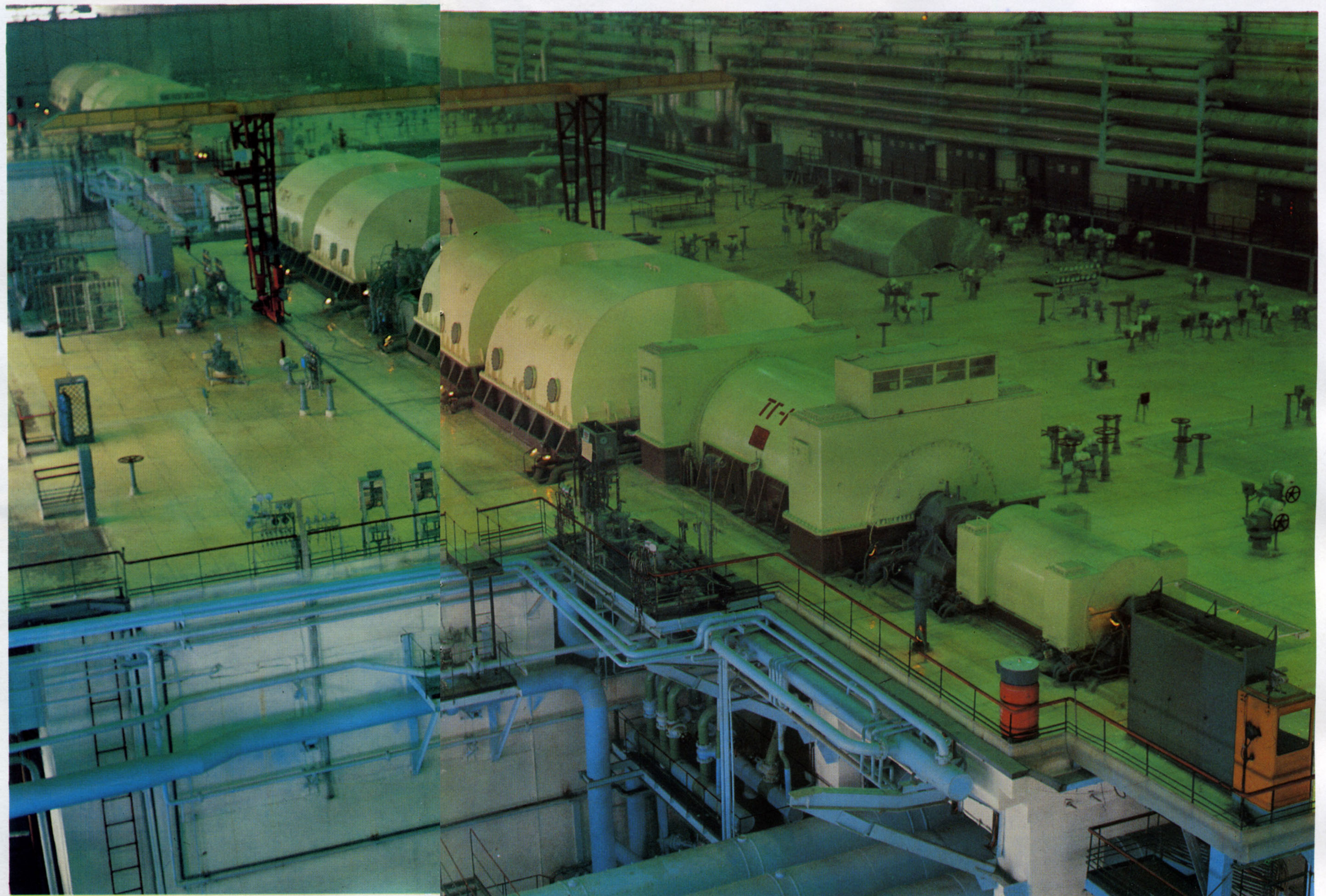
Турбогенераторы блочно подключены к открытой электроподстанции 110 и 330 кВ. Энергия на собственные нужды АЭС поступает от трансформаторов СН.

TURBOGENERATORS

Each power unit of the Chernobyl NPS is equipped with two K-500-65 turbines and 500-MW generator. The turbines are of a single-shaft, double-flow type (one high-pressure cylinder, HPC, and four low-pressure cylinders, LPC). The turbine is 39 m long, its speed is 3000 rpm, and its mass weighs 1200 t. There are a separator and an intermediate steam superheater provided between the high-pressure and low-pressure cylinders. The generators are 50 Hz three-phase, hydrogen and water cooled machines.

The turbogenerators are connected to an outdoor substation 110 and 330-kV. The NPS auxiliaries are supplied by the generators.

Машинный зал
Turbine Hall



КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ СТАНЦИИ

Одним из принципов, заложенных в систему контроля и управления Чернобыльской АЭС, помимо поддержания стабильных параметров и обеспечения безопасности, является исключение возможности остановки мощной станции без крайней необходимости, а тем более по ложным сигналам. Прямо или косвенно этой цели служат системы контроля герметичности технологических каналов и тепловыделяющих элементов, а также возможность перегрузки негерметичных ТВС на работающем реакторе с помощью разгрузочно-загрузочной машины (РЗМ).

Защита технологического оборудования, срабатывание которой ведет к остановке энергетического блока, сведена к минимуму, причем защита включается только при наличии сигнала не менее чем от двух из трех каналов измерения параметра. При необходимости реактор может быть заглушен со скоростью снижения мощности 8% в секунду. Однако быстрая аварийная защита, при которой мощность реактора снижается до нуля даже при исчезновении аварийного сигнала, применяется очень редко. Вместо этого введены специальные (по группам аварий) системы защиты, обеспечивающие контролируемое снижение мощности со скоростью 4% в секунду до уровня, гарантирующего надежный теплоотвод при авариях данной группы. При исчезновении сигнала, от которого сработала защита той или иной группы, снижение мощности прекращается.

Регулирование станции рассчитано на базовый и следящий режимы работы путем поддержания давления перед турбиной (воздействием регулятора на дроссельный клапан в первом режиме или на датчик мощности реактора — во втором). Опера-

CONTROL AND MONITORING SYSTEM OF THE STATION

One of the principles incorporated in the Chernobyl NPS control and monitoring system is that in addition to maintaining steady parameters and ensuring safety, this system must exclude any interruption of power supply without very serious reasons or, especially, by false signals. This purpose is served directly or indirectly by the systems which monitor the integrity of the process channels and fuel elements and by provision of the refuelling machine (RM), which allows of on-load refuelling and replacement of defective fuel assemblies.

The number of protective devices, whose operation stops the power units, is reduced to a minimum, and such devices operate only upon receiving signals from at least two out of three parameter measuring channels. If necessary, the reactor power can be dumped at a rate of 8% per second. However, the rapid-acting shut-down system, which damps the reactor power and keeps the reactor shut down when the emergency signal has disappeared is rarely used. Instead, special protective systems are provided (according to various categories of failures), ensuring a controlled reduction of the power at a rate of 4% per second down to a level at which heat can be removed safely in the presence of a fault of a given category. When the signal causing the operation of the protective system vanishes, reduction of power is ceased.

The control characteristics of the plant enable it to operate either on base load or as a load following station by maintaining pressure at the turbine (the turbine governor valve is controlled in the former mode, and



Центральный щит АЭС • Central Control Board of the NPS

тивный контроль и управление энергоустановок осуществляются с помощью информационно-вычислительной машины.

the reactor power setter, in the latter). The operational monitoring and control of the power units are carried out with the help of a computer.

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АЭС

RADIATION SAFETY

В схему и конструкцию реактора заложены следующие основные элементы, гарантирующие радиационную безопасность как при нормальной работе АЭС, так и при аварийных ситуациях:

а) высоконадежная СУЗ, включающая около 180 независимых поглотителей, объединенных в группы с автономными датчиками, кабелями, аппаратурой сравнения и усиления сигналов и питанием;

б) средства аварийного теплоотвода (маховики на главных насосах контура, резервы питания для собственных нужд, подача питательной воды в напорный коллектор и др.), исключающие массовые повреждения оболочек ТВЭЛов при всех видах аварий, в том числе общее обесточивание, отключение сразу двух турбин, течи труб диаметром до 300—400 мм и т. д.;

в) средства периодического контроля состояния всех узлов и систем, ответственных за радиационную безопасность, в том числе периодическая инспекция состояния крупных сосудов и коллекторов, практически исключающая их мгновенный полный разрыв по всему сечению;

г) пароприемные устройства, исключающие большие утечки пара в атмосферу.

Именно реактор канального типа, т. е. бескорпусный, открывает в принципе возможность коренного решения вопросов безопасности за счет исключения крупных трубопроводов и дробления контура циркуляции на автономные участки, разрыв каждого из которых является незначительной аварией.

Наличие поканальной системы контроля герметичности оболочек и возможность перегрузки без остановки реактора позволяет своевременно обнаруживать негерметичные кассеты и сразу же выгружать их, что обеспечивает минимальное радиоактивное загрязнение теплоносителя.

The key elements incorporated in the reactor design to ensure radiation safety both during normal operation and under abnormal conditions may be summarized as follows:

a) a highly reliable control and safety system (CSS), including 180 independent absorbers combined into groups with separate transmitters, cables, comparators and amplifiers, and power supplies;

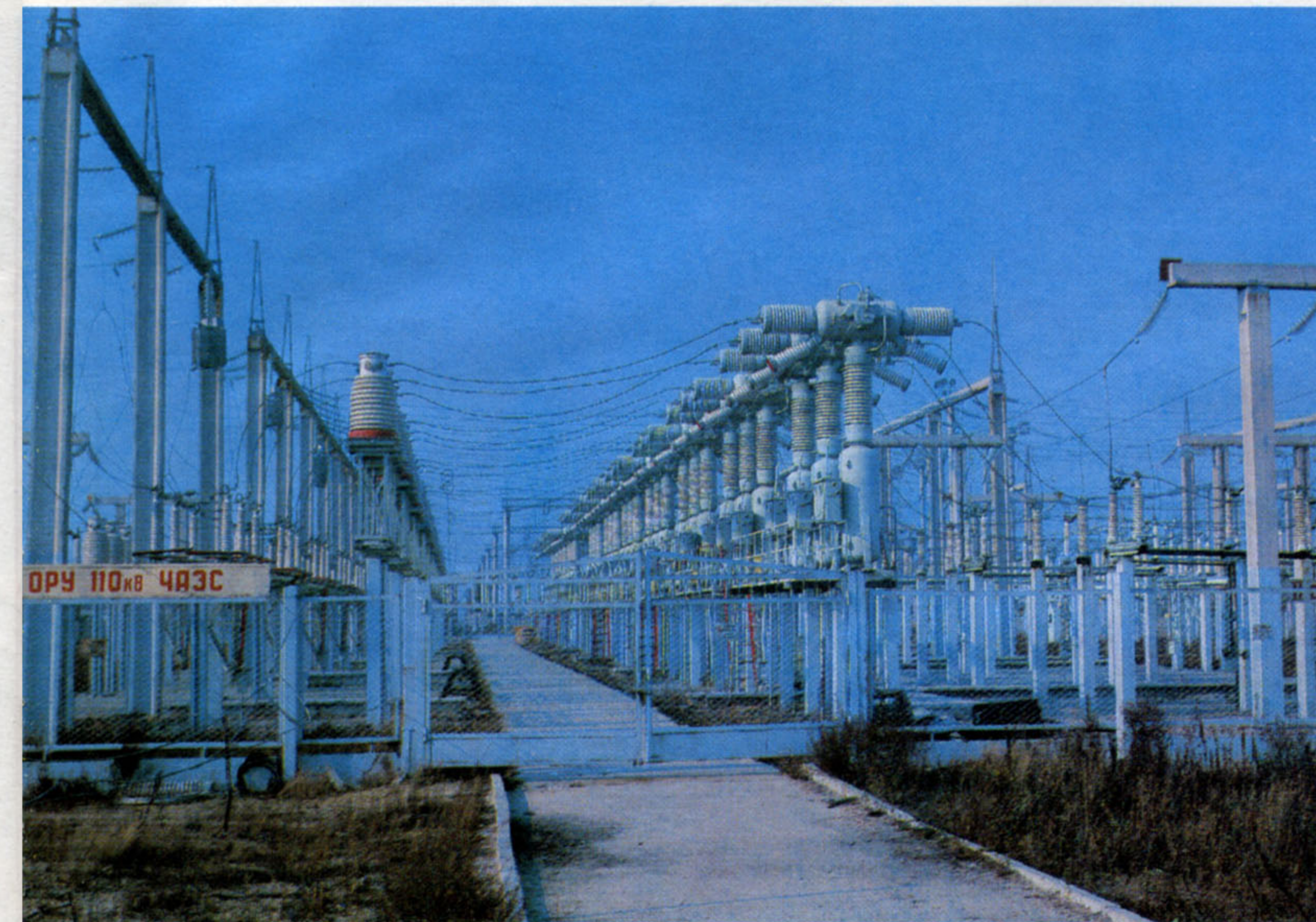
b) emergency cooling equipment (flywheels on the main pumps of the circuit, a stand-by power supply for auxiliaries, feed water supply to the common header, etc.) to prevent mass rupture of fuel cans under all abnormal conditions, including the failure of the power supply, shut-down of both turbines, leaky of 300—400 mm in pipes diameter, etc.;

c) facilities for regular checks of all the units and systems responsible for radiation safety, including periodic inspection of large vessels and headers, practically excluding the possibility of their instantaneous rupture at a time;

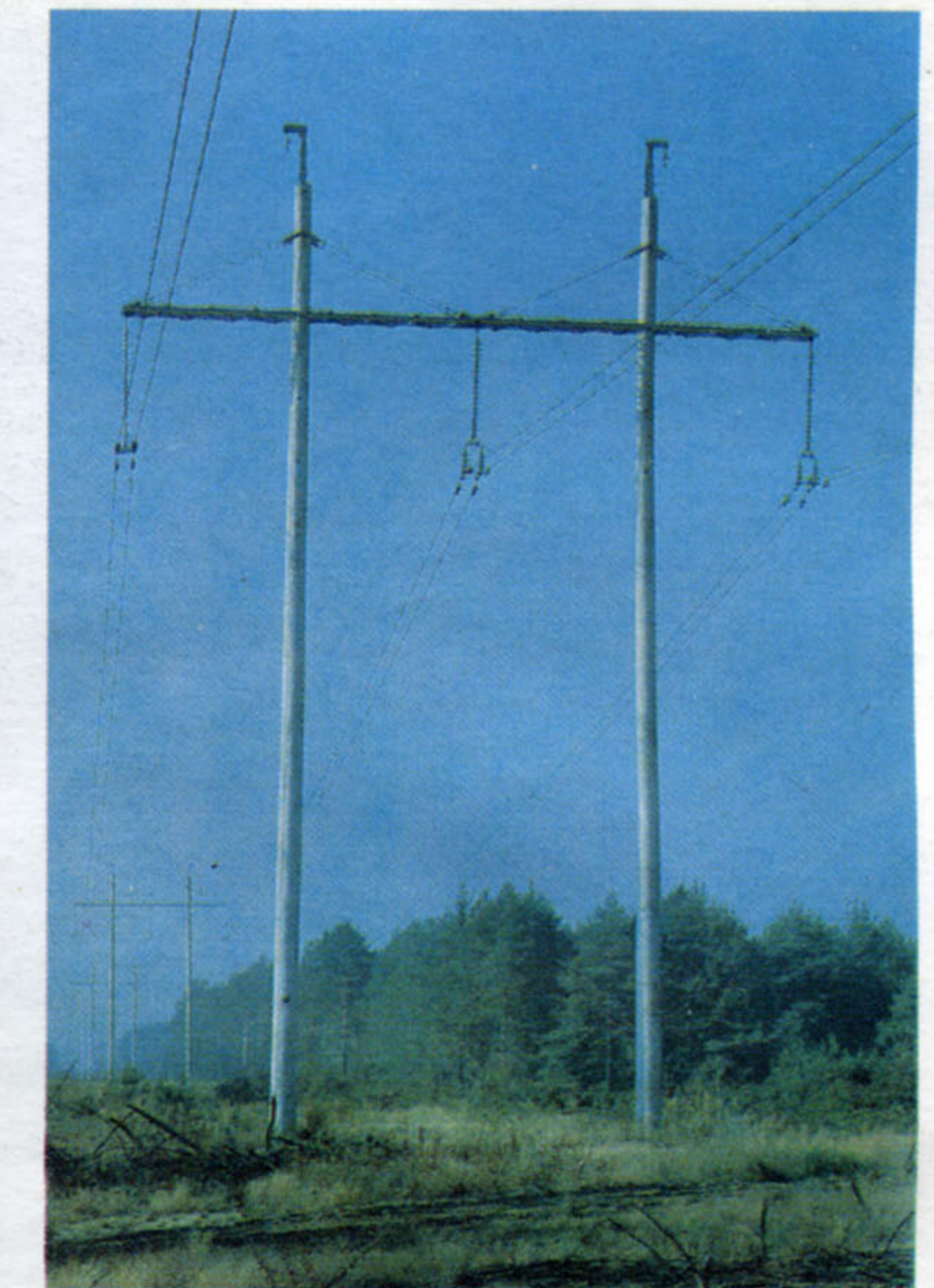
d) steam receivers excluding large releases of steam to the atmosphere.

It is precisely the channel-type reactor, i.e. the reactor having no pressure vessel, which enables the safety problems to be solved in principle, by dispensing with large pipelines and by sectionalizing the circulation circuit, the rupture of each individual section being but a minor accident.

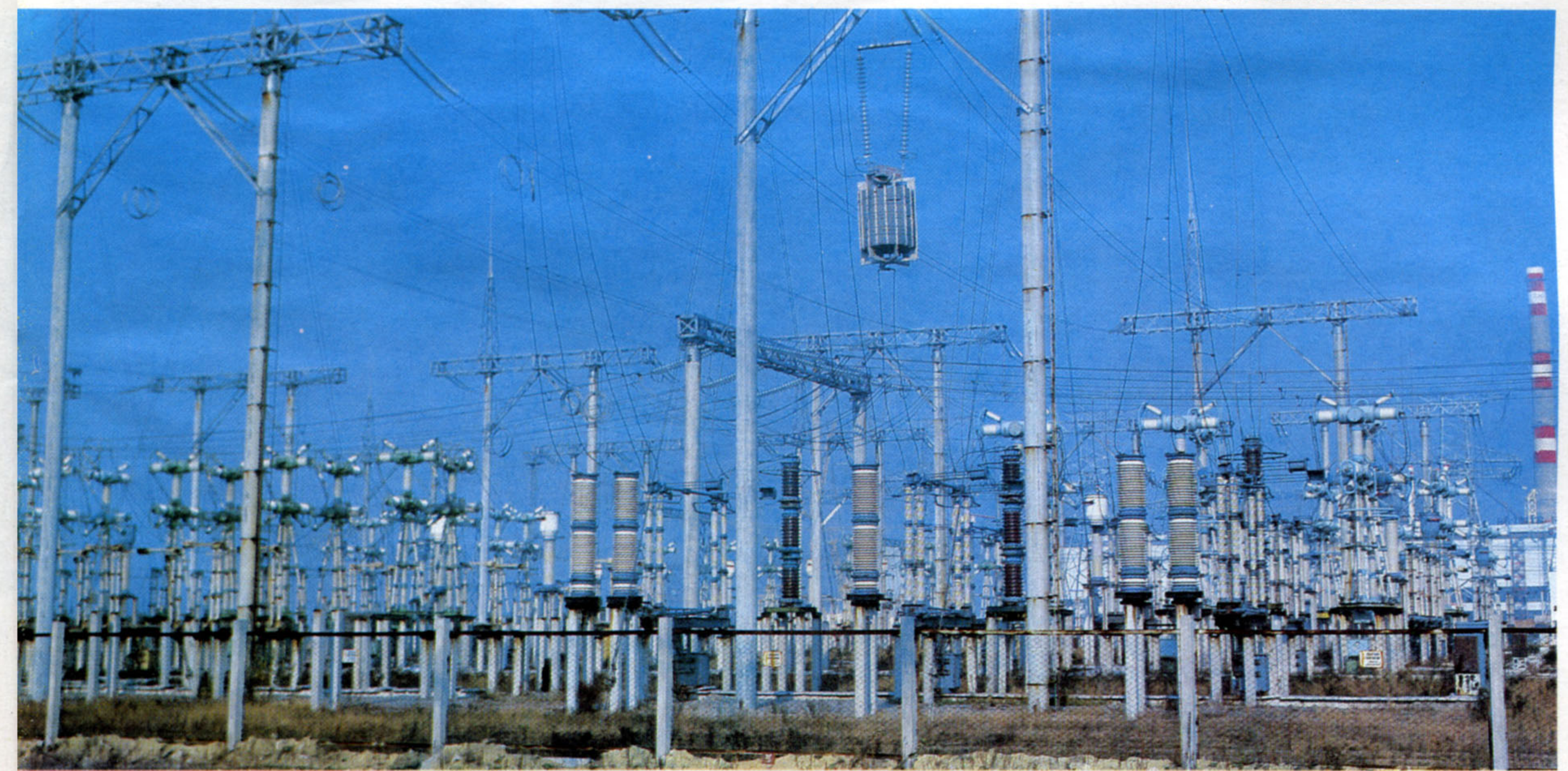
The system of leak detection in every channel and the provisions for on-load refuelling make possible rapid detection of leaking fuel assemblies and their immediate replacement, thus ensuring minimum radioactive contamination of the coolant.



ОРУ 110 кВ
110-kV switchyard



ЛЭП 330 кВ
330-kV Overhead Power
Transmission Line



ОРУ 330 кВ
330-kV switchyard

Протечки радиоактивного теплоносителя собираются в специальных резервуарах, выпариваются и снова возвращаются в контур.

Специальные фильтры гарантируют очистку выбрасываемого в атмосферу воздуха от активных аэрозолей.

Система сорбционной задержки активных газов на активированном угле и наличие газгольдера выдержки, в котором распадаются короткоживущие изотопы, перед попаданием в вентиляционную трубу обеспечивают незначительную активность газовых выбросов.

Как и на всех существующих станциях, на Чернобыльской АЭС действует служба внешней дозиметрии, в задачу которой входит постоянный контроль за активностью воды, воздуха и грунта как на территории станции, так и в окружающем ее районе площадью в сотни квадратных километров.

Leaking radioactive coolant is collected in special tanks and is then evaporated to be returned back to the circuit.

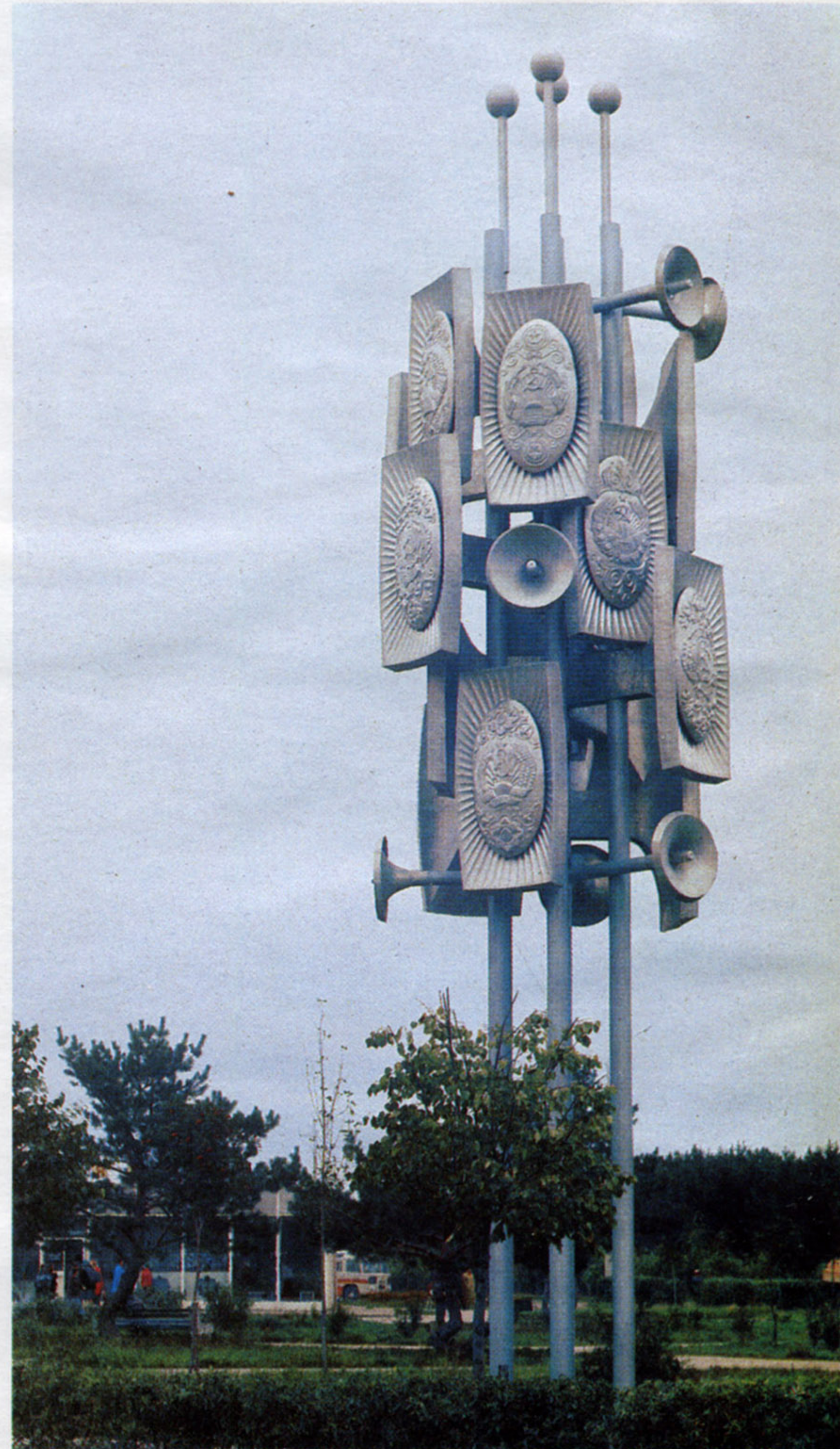
Special filters remove active aerosols from the air released to the atmosphere.

A negligible activity level of the gas effluent is ensured by sorption holding of the radioactive gases on char-coal beds and by a gas hold-up tank in which short-lived isotopes decay before being vented.

Like all existing nuclear power plants the Chernobyl Nuclear Power Station is provided with an outer dosimetry control service whose duty is to carry out permanent control of activity levels in water, air, soil both within the station site and in the surrounding area of hundreds of square kilometers.

Поселок строителей и энергетиков Припять

Prípyat—the Town of the Builders and Employees of the NPS





ВТОРАЯ ОЧЕРЕДЬ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

SECOND LINE OF THE CHERNOBYL NPS

В настоящее время сооружается вторая очередь Чернобыльской АЭС, включающая в себя еще два блока с реакторами РБМК-1000. Конструкция реакторов и технологическая схема станций в принципе такая же, как и на первой очереди. Незначительные отличия в основном сводятся к усовершенствованию отдельных узлов и систем, недостатки которых выявились после пуска первой очереди и были устранены в процессе эксплуатации. Большое внимание уделено надежности работы АЭС и системам локализации аварий.

С вводом в строй второй очереди общая электрическая мощность Чернобыльской атомной электростанции достигнет 4-х миллионов киловатт.

Проектирование Чернобыльской АЭС осуществлено Всесоюзным ордена Ленина проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом „Гидропроект“ имени С. Я. Жука.

At the present time the second line of the Chernobyl NPS is under construction. It includes two more РБМК-1000 reactor units. The reactors and the technological design of the plant are in principle similar to those of the first line. Improvements have been introduced in certain units and systems whose drawbacks were revealed after the commissioning of the first line and were eliminated in the course of service.

After the second line of the station is commissioned the total capacity of the Chernobyl Nuclear Power Station will be 4 GW.

All-Union Order-of-Lenin Projecting-Surveying and Research Institute "Hydroproject" named after S. Ja. Zhuk projected the Chernobyl NPS.

В/О „АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ“ оказывает техническое содействие иностранным Заказчикам в строительстве атомных электростанций, ядерных установок, центров ядерных исследований, включая комплектацию их необходимым оборудованием, а также осуществляет экспорт атомного энергетического и специального оборудования, материалов, установок и приборов, в том числе для проведения физических исследований и для решения прикладных задач ядерной физики.

В/О „АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ“ поставляет атомное энергетическое и специальное оборудование, которое отвечает самым высоким современным требованиям и обеспечивает экономичную и безаварийную работу станций и установок в любых климатических и геологических условиях.

Высокая эксплуатационная надежность, экономичность и безопасность поставляемого оборудования, а также оказываемые услуги гарантируются.

В/О „АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ“:

- проводит изыскательские работы по выбору места строительства

- выполняет проектные работы, а также предоставляет услуги типа „инжиниринг“ и проводит отдельные проектно-изыскательские и экспериментальные работы по желанию Заказчика

- поставляет основное, вспомогательное, строительно-монтажное и специальное оборудование

- производит монтажные и пуско-наладочные работы

- обеспечивает атомные электростанции ядерным топливом

- командировывает высококвалифицированных специалистов на строительство для проведения монтажных и пуско-наладочных работ

- организует обучение национальных кадров как в СССР, так и в странах Заказчика.

В кооперации с иностранными фирмами В/О „АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ“ организует строительство объектов ядерной энергетики в третьих странах.

По всем вопросам, связанным с сооружением объектов ядерной энергетики и установок специального назначения, экспортом оборудования и материалов, оказанием технического содействия и других услуг, просим обращаться в В/О „Атомэнергоэкспорт“ по адресу:

СССР, Москва, 113324, Овчинниковская наб., 18/1, В/О „АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ“

Т е л е г р а ф: Москва Атомэнергоэкспорт

Т е л е ф о н ы: 220-14-36, 231-80-14

Т е л е к с: 7597

V/O "ATOMENERGOEXPORT" provides technical assistance to foreign Customers in constructing nuclear power plants, nuclear installations, nuclear research centers, including the provision of necessary equipment, and exports nuclear-, power-, and special equipment, materials, devices and instruments, including those designed for physical research and for solving applied problems of nuclear physics.

V/O "ATOMENERGOEXPORT" supplies nuclear-, power-, and special equipment which meets the highest present-day demands and ensures economical and trouble-free operation of the plants and facilities under any climatic and geological conditions.

High operational reliability, economy and safety of the equipment delivered and the assistance rendered are guaranteed.

V/O "ATOMENERGOEXPORT":

- performs surveying work for the selection of construction site

- performs projecting work, renders engineering services and carries out separate projecting-surveying assignments and experimental studies at Customer's request

- supplies basic, auxiliary, building-installation and special equipment

- performs assembly and debugging work

- supplies fissionable fuel for nuclear power plants

- sends highly skilled specialists to construction sites for the performance of assembly and debugging work

- organizes training of national staff either in the USSR or in the Customers' country.

In co-operation with foreign firms V/O "ATOMENERGOEXPORT" organizes construction of nuclear power stations in the third World countries.

All requests for information related to the construction of nuclear power plants and special facilities, export of equipment and materials, technical assistance and other services should be addressed to:

V/O "ATOMENERGOEXPORT", 18/1 Ovchinnikovskaya Emb., 113324, Moscow, USSR

T e l e g r a p h: Atomenergoexport Moscow

T e l e p h o n e: 220-14-36; 231-80-14

T e l e x: 7597

