



Ministry of Russian Federation  
for Atomic Energy

## **Improvement of Safety of NPP's with RBMK-1000 Reactors by Technical Upgrading and Modifications**

Concern "ROSENERGOATOM"

International Forum  
"One Decade After Chernobyl:  
Nuclear Safety Aspects"

Vienna, Austria  
1-3 April 1996

# **Improvement of Safety of NPP's with RBMK-1000 Reactors by Technical Upgrading and Modifications**

## **CONCERN "ROSENERGOATOM"**

### **1. Introduction**

NPP units with RBMK-1000 reactors which are in operation at present were built according to design of 1960-70, that was made in compliance with standards and regulations in the field of nuclear power industry. Design solution, systems, equipment, valves, cables and materials of that age including those produced by general industries were used in the design of NPP's with RBMK-1000. Some systems and equipment have design margin that is essentially lower than the design life time of the NPP, therefore they need periodical replacement.

Besides this with the experience gained, the requirements to the NPP safety have changed significantly. The Regulatory Body (Gosatomnadzor) has reviewed or renewed and implemented several regulations on design, construction and operation of NPP's with more strict requirements regarding safety.

The analysis showed that in order to upgrade operating NPP's to the level of requirements of new regulations as well as to replace the worn out equipment and systems, it is not sufficient to implement "Measures on Enhancement and Reliability and Safety of Operating and Constructed nuclear power plants with RBMK reactors" issued in 1986 (CM-86-RBMK) and in 1990 (CM-90-RBMK), but it is necessary to implement more essential scope of work in the frame of technical upgrading and modifications of NPP units. This is the only way to ensure safe operation of the operating NPP units till the end of their design life time and decommissioning meanwhile new capacities will be introduced into operation.

### **2. Main Goals of Technical Upgrading and Modifications and their Time Scale**

Main goals of the Technical Upgrading and Modification projects are as follows:

- \* upgrade of the operating NPP units to the new, higher level of safety by implementation of hardware and administrative solutions in compliance with the requirements of modern regulatory documentation;
- \* ensuring future operation of the units of the acceptable level of safety during the design life-time taking into account strengthening of the regulations on NPP safety;

- \* preparatory of detail and comprehensive data proving future safe operation of NPP units in compliance with requirements of modern regulatory documents;
- \* elimination of safety related weaknesses identified in the course of operation, enhancement of systems and equipment reliability, replacement of the worn out systems and equipment.

Technical upgrading and modification of RBMK units as well as the activities related to construction or rearrangement of safety systems, replacement of aged or worn out equipment is envisaged to coincide with the terms of replacement of the fuel channels which is implemented following diminishing the gap between pressure tube of technological channel and the graphite cladding.

During operation shrinkage of the graphite due to neutron flux impact and radiation creep of Zr tubes occur that results in the diminishing of the gap between Zr tube of the fuel channel and the graphite cladding. When the gap is equal to zero, mechanical impact of the graphite bricks on the pressure tube of the fuel channel develops. Because of this, a decision was made to replace pressure tubes of the fuel channels and to restore the gaps for them in graphite cladding in about 20 years.

It takes a long time (about 2 years) to replace the tubes. This is why other works on technical upgrading and modifications of NPP units with RBMK's are carried out in the same time with replacement of pressure tubes of the fuel channels.

### **3. Main Activities Performed within Technical Upgrading and Modification of the NPP Units with RBMK-1000 of the First Generation**

Implementation of technical upgrading and modifications of the NPP units with RBMK-1000 of the first generation includes the following main works:

- \* replacement of the fuel channel;
- \* modification of the emergency core cooling system (ECCS);
- \* modification of the reactor protection system (RPS);
- \* modification of the centralized control system (CCS) "Scala" and diagnostics and registration system (DREG)
- \* strengthening of construction components to resist external forces;
- \* implementation of additional systems for diagnostics of metal of the equipment and pipelines of reactor primary circuit;
- \* implementation of fire protection measures etc.

By this moment, Technical upgrading including replacement of the fuel channels has been performed of units 1 and 2 of the Leningrad NPP.

Technical upgrading of the Leningrad NPP, unit 3 and Kursk NPP, unit 1 is now underway.

#### **4. Complete scope of work for technical upgrading and modification of Kursk NPP, Units 1 and 2**

Complete scope of work for technical upgrading and modification of Kursk NPP units 1 and 2 (3, 3a, 3b, 3c) includes:

- \* replacement of fuel channels and calibration of holes for them in graphite layer;
- \* application of modernized control and protection system (model (SKUZ-M));
- \* modernization of reactor emergency technological protection, (installation of redundant protection system, replacement of technological tools);
- \* application of parameters monitoring system SKALA-micro;
- \* modernization of feedwater cooling system (fitting of a check valve in distributing group header, installation of two emergency feedwater pumps);
- \* modernization of plant emergency diesel generator station for the NPP 1st stage (replacement of diesel generator);
- \* modernization of steam and gas release system;
- \* reconstruction of drum separator water leveling piping;
- \* installation of drum internal devices and long cooling system;
- \* replacement of worn-out valves (D-800, forced recirculation flow system);
- \* restoration of steam and water lines, water cooling option;
- \* assembly of a system to decrease gaseous effluents radiation level in control and protection cooling circuit;
- \* elimination of mixers in blowdown water return units in drum separators (one on each side of forced recirculation flow system);
- \* separation of gas circuits;
- \* installation of KAG-24 generator breakers and thyristor exciting;
- \* application of integrity control system of equipment and piping of forced recirculation flow system;
- \* construction of additional safety-related facilities (second train of emergency reactor cooling system, emergency diesel generator, spray pond, plant pump station and water lines, vital power supply unit, additional feedwater system "SOVA", reinforcement of structures of central hall dome of Unit 2V);
- \* construction of auxiliary technological buildings and structures: building for transportation of solid radwaste blocks, deep evaporation facility, 3 buildings for solid radwaste storage, container storage of spent fuel and other;

- \* fire protection:
- \* replacement of thermal insulation of turbine building roof for a fire-resistant one;
- \* utilization of gas fire extinguishing instead of water type;
- \* application of smoke removal and air overpressure system;
- \* installation of gas and aerosol fire extinguishers in control rooms, automated process control system compartments, etc.;
- \* replacement of 6 KV cables in the main building;
- \* application of physical protection-related measures.

#### **5. The main work performed in technical upgrading and modification of NPP units with RBMK-1000 reactors of the 2nd generation**

The following main work is to be performed in reconstruction and upgrading of Units 3, 4 of Kursk and Smolensk NPPs with RBMK-1000 reactors of the 2nd generation (4):

- \* replacement of fuel channels;
- \* reinforcement of structure of central hall dome and deaerating rack;
- \* modernization of reactor control and protection system;
- \* modernization of SKALA centralized control system, SKALA-micro and diagnostics systems;
- \* application of a redundant system of steam release from reactor space;
- \* application of additional systems of metal diagnostics of equipment and piping of reactor forced recirculation flow system;
- \* upgrading of bubble pools related to pump and heat exchanging devices of spray cooling and emergency reactor cooling systems;
- \* application of fire protection measures and others.

It should be noted that the realization of technical upgrading and modification projects will require considerable financial and material resources. In current economical situation in Russia and destruction of nuclear power-related industrial base, the realization of technical upgrading and modification of NPPs with RBMK-1000 reactors will come across major difficulties and obstacles resulting in longer period of realization divided in several phases.

## **1. Main goals of the Technical Upgrading and Modification projects are as follows:**

- \* upgrade of the operating NPP units to the new, higher level of safety by implementation of hardware and administrative solutions in compliance with the requirements of modern regulatory documentation;
- \* ensuring future operation of the units of the acceptable level of safety during the design life-time taking into account strengthening of the regulations on NPP safety;
- \* preparatory of detail and comprehensive data proving future safe operation of NPP units in compliance with requirements of modern regulatory documents;
- \* elimination of safety related weaknesses identified in the course of operation, enhancement of systems and equipment reliability, replacement of the worn out systems and equipment.

## **2. Implementation of technical upgrading and modifications of the NPP units with RBMK-1000 of the first generation includes the following main works:**

- \* replacement of the fuel channel;
- \* modification of the emergency core cooling system (ECCS);
- \* modification of the reactor protection system (RPS);
- \* modification of the centralized control system (CCS) "Scala" and diagnostics and registration system (DREG)
- \* strengthening of construction components to resist external forces;
- \* implementation of additional systems for diagnostics of metal of the equipment and pipelines of reactor primary circuit;
- \* implementation of fire protection measures etc.

### **3a. Work for technical upgrading and modification of Kursk NPP units 1 and 2**

- \* modernization of steam and gas release system;
- \* reconstruction of drum separator water leveling piping;
- \* installation of drum internal devices and long cooling system;
- \* replacement of worn-out valves (D-800, forced recirculation flow system);
- \* restoration of steam and water lines, water cooling option;
- \* assembly of a system to decrease gaseous effluents radiation level in control and protection cooling circuit;
- \* elimination of mixers in blowdown water return units in drum separators (one on each side of forced recirculation flow system);

### **3b. Work for technical upgrading and modification of Kursk NPP units 1 and 2**

- \* separation of gas circuits;
- \* installation of KAG-24 generator breakers and thyristor exciting;
- \* application of integrity control system of equipment and piping of forced recirculation flow system;
- \* construction of additional safety-related facilities (second train of emergency reactor cooling system, emergency diesel generator, spray pond, plant pump station and water lines, vital power supply unit, additional feedwater system "SOVA", reinforcement of structures of central hall dome of Unit 2V);
- \* construction of auxiliary technological buildings and structures: building for transportation of solid radwaste blocks, deep evaporation facility, 3 buildings for solid radwaste storage, container storage of spent fuel and other;

### **3c. Work for technical upgrading and modification of Kursk NPP units 1 and 2**

- \* fire protection:
- \* replacement of thermal insulation of turbine building roof for a fire-resistant one;
- \* utilization of gas fire extinguishing instead of water type;
- \* application of smoke removal and air overpressure system;
- \* installation of gas and aerosol fire extinguishers in control rooms, automated process control system compartments, etc.;
- \* replacement of 6 KV cables in the main building;
- \* application of physical protection-related measures.

#### **4. The main work is to be performed in reconstruction and upgrading of Units 3, 4 of Kursk and Smolensk NPPs with RBMK-1000 reactors of the 2nd generation:**

- \* replacement of fuel channels;
- \* reinforcement of structure of central hall dome and deaerating rack;
- \* modernization of reactor control and protection system;
- \* modernization of SKALA centralized control system, SKALA-micro and diagnostics systems;
- \* application of a redundant system of steam release from reactor space;
- \* application of additional systems of metal diagnostics of equipment and piping of reactor forced recirculation flow system;
- \* upgrading of bubble pools related to pump and heat exchanging devices of spray cooling and emergency reactor cooling systems;
- \* application of fire protection measures and others.

# ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РЕАКТОРАМИ РБМК-1000 ПУТЕМ ТЕХПЕРЕВООРУЖЕНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ

## КОНЦЕРН “РОСЭНЕРГОАТОМ”

### 1. Введение

Эксплуатируемые в настоящее время энергоблоки атомных станций с РБМК-1000 были построены по проектам 1960-1970 годов, разработанным с учетом действовавших в то время нормативно-технических документов (НТД) в области атомной энергетики. В проектах АЭС с РБМК-1000 были использованы проектные решения, системы, оборудование, арматура, кабель, материалы тех лет разработки, в том числе и общепромышленного исполнения. Ряд систем и оборудования, установленного на АЭС, имеет ограниченный проектный ресурс, который существенно меньше общего проектного срока эксплуатации АЭС, поэтому требуется их периодическая замена.

Кроме того, с учетом накопленного опыта, существенно изменились требования по обеспечению безопасности АЭС. Госатомнадзором был переработан или вновь выпущен и введен в действие ряд НТД по проектированию, строительству и эксплуатации АЭС с более жесткими требованиями по безопасности.

Дальнейший анализ показал, что для приведения действующих АЭС в соответствие с новой НТД, а также для замены оборудования и систем, выработавших свой проектный ресурс и устаревшего оборудования недостаточна только реализация “Сводных мероприятий по повышению надежности и безопасности действующих и сооружаемых атомных станций с реакторами РБМК”, выпущенных в 1986 году (СМ-86-РБМК) и перевыпускавшихся в 1988 году (СМ-88-РБМК) и в 1990 году (СМ-90-РБМК), а необходимо проведение более значительного объема работ в рамках техперевооружения и модернизации энергоблоков АЭС. Только таким образом будет обеспечена безопасная эксплуатация действующих энергоблоков атомных станций до исчерпания проектного ресурса работы и снятия с эксплуатации по мере ввода новых замещающих мощностей.

Исходя из этого, по каждому из энергоблоков были разработаны проекты техперевооружения и модернизации и графики их осуществления.

### 2. Основные цели техперевооружения и модернизации и время их осуществления

В проектах техперевооружения и модернизации осуществляются следующие основные цели (1):

- доведение действующих энергоблоков АЭС до нового, более высокого уровня безопасности путем внедрения технических и организационных решений с учетом требований современной нормативно-технической документации;
- обеспечение дальнейшей эксплуатации энергоблоков на приемлемом уровне безопасности в течение проектного срока службы в связи с ужесточением требований нормативно-технической документации по безопасности АЭС;
- разработка детальных и полных материалов по обоснованию дальнейшей безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС в соответствии с требованиями современной нормативно-технической документации;
- устранение выявленных в ходе эксплуатации замечаний, влияющих на безопасность АЭС, повышение надежности систем и оборудования, замена систем и оборудования устаревших или выработавших свой проектный ресурс.

При этом, на реакторах РБМК работы по техперевооружению и модернизации энергоблоков, сооружению или реконструкции систем безопасности, замене устаревшего или выработавшего ресурс оборудования предусматривается совмещать со сроками замены технологических каналов (ТК), которая производится по мере выработки зазора между трубой ТК и графитовой кладкой.

В процессе эксплуатации под воздействием нейтронного облучения происходит усадка графита и диаметральный текучесть циркониевых труб из-за чего происходит уменьшение зазора между циркониевой трубой ТК и графитовой кладкой. При его исчерпании возникает механическое воздействие графитового блока на трубу ТК. В связи с этим принято решение примерно через 20 лет эксплуатации производить замену труб ТК и калибровку (восстановление размеров) отверстий под них в графитовой кладке.

На замену труб ТК требуется длительное время (около двух лет). Поэтому другие работы по техпервооружению и модернизации энергоблоков АЭС с РБМК по срокам совмещаются с временем замены труб ТК.

### 3. Основные работы выполняемые при техпервооружении и модернизации энергоблоков АЭС с РБМК-1000 первого поколения

Для энергоблоков АЭС с РБМК-1000 первого поколения при осуществлении техпервооружения и модернизации предусматривается выполнение следующих основных работ (2):

- замена технологических каналов;
- модернизация системы аварийного охлаждения реактора (САОР);
- модернизация системы управления и защиты реактора (СУЗ);
- модернизация систем централизованного контроля (СЦК) "Скала" и диагностики и регистрации (ДРЕГ);
- усиление строительных конструкций от внешних воздействий;
- введение дополнительных систем по диагностике металла оборудования и трубопроводов контуров многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) реактора;
- внедрение противопожарных мероприятий и др.

К настоящему времени выполнены техпервооружение и модернизация с заменой ТК на первом и втором энергоблоках Ленинградской АЭС. Ведется техпервооружение и модернизация третьего блока Ленинградской АЭС и первого энергоблока Курской АЭС.

### 4. Полный объем работ по техпервооружению и модернизации энергоблоков 1 и 2 Курской АЭС

Более полный объем работ по техпервооружению и модернизации энергоблоков 1 и 2 Курской АЭС (3, 3а, 3б) включает в себя:

- замену технологических каналов с калибровкой отверстий под них в графитовой кладке;
- внедрение модернизированной СУЗ (СКУЗ-М);
- модернизацию АЗРТ (установка двухкомплектного АЗРТ, замена технических средств);

- внедрение Скалы-микро, ДРЕГ;
- модернизацию СОВП (врезка ОК в РГК, установка двух АПЭН);
- модернизацию общешлюзовой ДЭС 1-ой очереди (замена ДГ);
- модернизацию системы парогазовых сбросов (ПГС);
- реконструкцию водоуравнительных трубопроводов барабан-сепараторов (ВУТ БС);
- установку внутрибарабанных устройств (ВКУ БС) и системы длительного расхолаживания;
- замену арматуры (Ду-300 КМПЦ) выработавшей ресурс;
- восстановление ПВК водоохлаждаемого варианта;
- монтаж системы понижения активности газовых выбросов КО СУЗ;
- ликвидацию смесителей в узлах возврата продувочной воды в БС (по одному на каждой стороне КМПЦ);
- разделение газовых контуров;
- установку генераторных выключателей КАГ-24 и системы терристорного возбуждения;
- внедрение системы контроля герметичности оборудования и трубопроводов КМПЦ;
- сооружение дополнительных объектов систем безопасности (САОР-2, РДС, брызгальный бассейн, БНС-8 с коммуникациями, корпус надежного питания КНП, малая "Сова", усиление строительных конструкций - шатер ЦЗ, Бл. 2В");
- сооружение вспомогательных технологических зданий и сооружений : здание транспортировки блоков (УТБ), установки глубокого упаривания УГУ, ХТРО-1, 2, 3; контейнерное хранение ОЯТ и др.);
- противопожарные мероприятия:
  - замена утеплителя кровли мапзала на трудногорюемый;
  - перевод газового пожаротушения на водяное;
  - внедрение системы дымоудаления и подпора воздуха;
  - оборудование установками газоаэрозольного пожаротушения помещений щитов управления и систем АУТП и др.;
  - замена кабеля 6 кВ главного корпуса;
  - выполнение мероприятий по физической защите.

**5. Основные работы выполняемые при  
техпервооружении и модернизации  
энергблоков АЭС с РБМК-1000 второго  
поколения**

Для энергблоков 3 и 4 КАЭС и САЭС с РБМК-1000 второго поколения при осуществлении техпервооружения и модернизации предусматривается выполнение следующих основных работ (4):

- замена технологических каналов;
- усиление строительных конструкций патров центрального зала (ЦЗ) и деаэрационной этажерки (ДЭ);
- модернизация системы управления и защиты реактора (СУЗ);
- модернизация систем централизованного контроля (СЦК) "Скала" и диагностики и регистрации (ДРЕГ);
- внедрение страхующей системы паросбросов из реакторного пространства (РП);
- введение дополнительных систем по диагностике металла оборудования и трубопроводов контуров многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) реактора;
- реконструкция бассейнов-барботеров насосно-теплообменных установок спринклерно-охладительной системы (СОС) и систем аварийного охлаждения реактора (САОР);
- внедрение противопожарных мероприятий и др.

Следует отметить, что осуществление проектов реконструкции и модернизации потребует значительных финансовых затрат и материальных ресурсов. При сложившемся экономическом положении в России и развале промышленной базы атомной энергетики проведение реконструкции и модернизации энергблоков АЭС с РБМК-1000 будет проходить путем преодоления значительных трудностей и препятствий и, поэтому, в несколько этапов.

## 1. Основные цели техпереворужения и модернизации энергоблоков АЭС

---

- доведение действующих энергоблоков АЭС до нового, более высокого, уровня безопасности путем внедрения технических и организационных решений с учетом требований современной нормативно-технической документации;
- обеспечение дальнейшей эксплуатации энергоблоков на приемлемом уровне безопасности в течение проектного срока службы в связи с ужесточением требований нормативно-технической документации по безопасности АЭС;
- разработка детальных и полных материалов по обоснованию дальнейшей безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС в соответствии с требованиями современной нормативно-технической документации;
- устранение выявленных в ходе эксплуатации замечаний влияющих на безопасность АЭС, замена систем и оборудования устаревших или выработавших свой проектный ресурс.

## **2. Основные работы, выполняемые при техпервооружении и модернизации энергоблоков первого поколения АЭС с РБМК-1000**

---

- замена технологических каналов;
- модернизация системы аварийного охлаждения реактора (САОР);
- модернизация системы управления и защиты реактора (СУЗ);
- модернизация систем централизованного контроля (СЦК) “Скала” и диагностики и регистрации (ДРЕГ);
- усиление строительных конструкций от внешних воздействий;
- введение дополнительных систем по диагностике металла оборудования и трубопроводов контуров многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) реактора;
- внедрение противопожарных мероприятий и др.

### 3. Работы по техпереворужению и модернизации блоков N 1 и 2 Курской АЭС

---

- Замена технологических каналов с калибровкой отверстий под них в графитовой кладке
- Внедрение модернизированной СУЗ (СКУЗ-М)
- Модернизация АЗРТ (установка двухкомплектного АЗРТ, замена технических средств)
- Внедрение Скалы-микро, ДРЕГ
- Модернизация СОВП (врезка ОК в РГК, установка двух АПЭН)
- Модернизация общешлюзовой ДЭС 1-ой очереди (замена ДГ)
- Модернизация системы парогазовых сбросов (ПГС)
- Реконструкция водоуравнительных трубопроводов барабан-сепараторов (ВУТ БС)

**За. Работы по техпервооружению и модернизации  
блоков N 1 и 2 Курской АЭС  
(продолжение)**

---

- Установка внутрибарабанных устройств (ВКУ БС) и системы длительного расхолаживания
- Замена арматуры (Ду-800 КМПЦ) выработавшей ресурс
- Восстановление ПВК водоохлаждаемого варианта
- Монтаж системы понижения активности газовых выбросов КО СУЗ
- Ликвидация смесителей в узлах возврата продувочной воды в БС (по одному на каждой стороне КМПЦ)
- Разделение газовых контуров
- Установка генераторных выключателей КАГ-24 и системы терристорного возбуждения
- Внедрение системы контроля герметичности оборудования и трубопроводов КМПЦ

**3б. Работы по техпервооружению и модернизации  
блоков N 1 и 2 Курской АЭС  
(продолжение)**

---

- Сооружение дополнительных объектов систем безопасности (САОР-2, РДС, брызгальный бассейн, БНС-8 с коммуникациями, корпус надежного питания КНП, малая “Сова”, усиление строительных конструкций - шатер ЦЗ, Бл. 2В”)
  
- Сооружение вспомогательных технологических зданий и сооружений : здание УТБ, установка глубокого упаривания УГУ, ХТРО-1, 2, 3; контейнерное хранение ОЯТ и др.)
  
- Противопожарные мероприятия:
  - замена утеплителя кровли машзала на трудногоряемый
  - перевод газового пожаротушения на водяное
  - внедрение системы дымоудаления и подпора воздуха
  - оборудование установками газоаэрозольного пожаротушения помещений щитов управления и систем АУТП и др.
  - замена кабеля 6 кВ главного корпуса
  
- Выполнение мероприятий по физической защите

#### **4. Основные работы, выполняемые при техпереворужении и модернизации энергоблоков второго поколения АЭС с РБМК-1000**

---

- замена технологических каналов;
- усиление строительных конструкций шатров центрального зала (ЦЗ) и деаэрационной этажерки (ДЭ);
- модернизация системы управления и защиты реактора (СУЗ);
- модернизация систем централизованного контроля (СЦК) “Скала” и диагностики и регистрации (ДРЕГ);
- внедрение страхующей системы паросбросов из реакторного пространства (РП);
- введение дополнительных систем по диагностике металла оборудования и трубопроводов контуров многократной принудительной циркуляции (КМЦЦ) реактора;
- реконструкция бассейнов-барботеров, насосно-теплообменных установок спринклерно-охладительной системы (СОС) и систем аварийного охлаждения реактора (САОР);
- внедрение противопожарных мероприятий и др.