

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКА БН-600 БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

**И.И. Колтик, Н.Н. Ошканов**

*Белоярская АЭС, г. Заречный*



Основным критерием в оценке радиологической опасности при эксплуатации АЭС являются дозовые нагрузки на население. В статье отражены результаты анализа ежегодных дозовых нагрузок на население за время эксплуатации блока БН-600. Приведены данные по индивидуальным и коллективным дозам за счет газоаэрозольного и жидкого выходов радионуклидов с энергоблока БН-600 на критические группы населения. Представлены данные по нормализованным коллективным дозам для других типов реакторов. Результаты расчета индивидуальных и коллективных рисков для населения показывают, что риски для реакторов типа БН примерно на 2 порядка ниже риска от канальных реакторов и реакторов типа ВВЭР, и не превышают безусловно приемлемого риска  $1 \cdot 10^{-6}$  за год.

В проблеме радиационной безопасности важное место занимают правильная оценка и прогнозирование доз от выхода радиоактивных веществ во внешнюю среду от АЭС. Основным критерием в оценке радиологической опасности являются дозовые нагрузки на население, а не их косвенные и опосредованные показатели – выход радионуклидов, их концентраций в объектах внешней среды, уровни ионизирующих излучений и т.д., хотя контроль и нормирование их необходим.

Путь от выброшенных радиоактивных веществ во внешнюю среду до доз, создаваемых ими в организме человека, очень сложен. Первая трудность – существует большое разнообразие метеорологических, гидрологических и других природных свойств, специфики почв и производимой сельскохозяйственной продукции, характера диеты, демографических характеристик и др. Сюда же нужно добавить сложности метаболизма радионуклидов в организме человека. Вторая трудность – определение доз от выбросов объекта связана с наличием природного и антропогенного радиационного фона.

Для оценки радиологической опасности газоаэрозольного выхода радионуклидов на Белоярской АЭС, в конце 70-х годов была разработана концепция и методика совмещенного (позже он стал называться «гибридным») расчетно-измерительного мониторинга, в котором используются как непосредственные измерения, так и расчеты, основанные на математических моделях распространения радионуклидов в окружающей среде с учетом реального спектра радионуклидов, их количества, а также с учетом реальных местных метео-и гидрологических условий. Для оценки доз от газоаэрозольного выхода была использована модель Пасквилла-Гиффорда для гаус-

сового рассеяния за счет турбулентной диффузии. [1,4]. Методология расчета доз и производных характеристик включает в себя учет всех путей воздействия: поля внешнего излучения от радиоактивного облака и почвы, загрязненной радиоактивными веществами, внутреннего облучения от вдыхания радиоактивных газов, аэрозолей и поступления в организм человека с продуктами питания в результате миграции по пищевым и биологическим цепочкам. Для оценки дозовых нагрузок на население за счет выхода жидких сред были разработаны математические модели миграции радионуклидов в экосистеме «Ольховское болото – р.Ольховка – р. Пышма» (сбросы дебалансных вод Белоярской АЭС проводятся с хозяйственными стоками в Ольховское болото), основанные на результатах натурных измерений. Методология расчета доз включает в себя учет всех путей воздействия: питьевая вода, потребление рыбы, поливное земледелие, водопой скота (мясо, молоко), купание (дети, взрослые), мытье машин [3–6]. Для вычислений во ВНИИАЭС были разработаны соответствующие программы для ЭВМ. Постоянный контроль выхода радионуклидов и метеоусловий осуществляется на станции штатными методами с начала ее эксплуатации. Кроме того, использовались метеоданные государственной станции Росгидромета в В-Дуброво, в зоне наблюдения Белоярской АЭС.

Критической группой по газоаэрозольному пути облучения выбросов Белоярской АЭС является население города Заречный, как наиболее близко расположенный населенный пункт. Критической группой по пути облучения населения от выхода жидких сред Белоярской АЭС является г. Заречный, населенные пункты по направлению поверхностных вод (Ольховское болото – р. Ольховка – р. Пышма). Обобщающие данные по индивидуальным дозовым нагрузкам приведены на рис. 1.

Численность критической группы населения составляла 40000 чел.

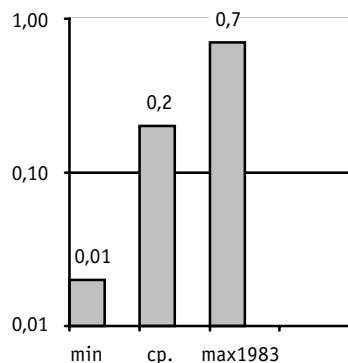
Нормализованные коллективные дозы от выхода радиоактивности в окружающую среду от энергоблока БН-600 представлены в табл. 1, там же приведены данные по коллективным дозам и для других типов реакторов.

Индивидуальные и коллективные риски для населения за счет выбросов и сбросов Белоярской АЭС ( $R_i$  и  $R_{\Sigma}$  соответственно) представлены в табл. 3.

По НРБ-99 индивидуальные и коллективные пожизненные риски возникновения стохастических эффектов определяются соответственно:

$$R_i = \int_0^{\infty} P_i(E) \cdot r_E \cdot E dE;$$

Дозы за счет газоаэрозольного выхода БН-600  
Блок № 3  
мкЗв/г



Дозы за счет жидких сред БН-600  
Блок № 3  
мкЗв/г

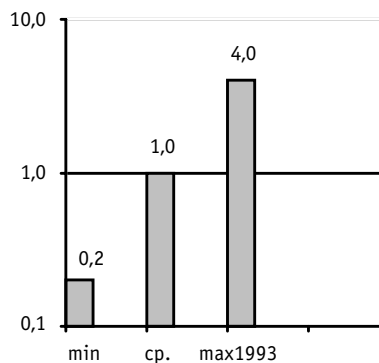


Рис. 1. Индивидуальные дозовые нагрузки на критические группы населения за счет выхода радионуклидов с энергоблока БН-600

Таблица 1

**Нормализованные коллективные дозы населения от реактора БН-600, чел.-Зв/(ГВт·год)**

Параметр	БН-600
Выбросы	0,002
Сбросы	0,005
Доза в целом	0,007

Таблица 2

**Нормализованные коллективные дозы населения от разных типов АЭС [7,8], чел.-Зв/(ГВт·год)**

Параметр	PWR	BWR	GCR	HWR	РБМК	ВВЭР	БН-600
Газоаэрозольный выход	0,27	0,97	1,13	13,9	2,6	0,276	0,002
Выход с жидкими средами	0,02	0,0006	0,097	0,30	0,002	0,024	0,005
Доза в целом	0,29	0,97	1,23	14,22	2,6	0,3	0,007

Таблица 3

**Индивидуальные и коллективные риски**

Риски	БН-600
$R_i$ ср.	$8,8 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
$R_i \text{ max}$	$3,45 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$
$R_{\Sigma}$ коллективный	$1,3 \cdot 10^{-4} \text{ чел./год}$

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N R_i,$$

где  $r$ ,  $R$  – индивидуальный и коллективный пожизненный риск соответственно;  $E$  – индивидуальная эффективная доза  $P_i(E)dE$  – вероятность для  $i$ -го индивидуума получить дозу от  $E$  до  $E+dE$ ;  $r_E$  – коэффициент пожизненного риска сокращения длительности периода полноценной жизни в среднем на 15 лет на один стохастический эффект (от смертельного рака, серьезных наследственных эффектов и несмертельного рака, приведенного по вреду к последствиям от смертельного рака), равный  $R_{\Sigma} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ 1/чел.-Зв}$  – для производственного облучения и  $R_{\Sigma} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ 1/чел.-Зв}$  – для облучения населения.

Для сравнения – оцененная величина максимального индивидуального риска по регионам АЭС с ВВЭР, составляет  $R_i \text{ max } 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  [9].

В заключение необходимо сделать следующие выводы.

1. За счет выбросов и сбросов радиоактивных веществ с БН-600 средние индивидуальные дозы составили 0,2 и 0,6 мкЗв/год соответственно, что почти на 2 порядка ниже, чем от водографитовых реакторов первой очереди Белоярской АЭС (АМБ-100, 200) и на 2-3 порядка ниже допустимых.

2. Коллективная нормализованная доза на население от выбросов и сбросов БН-600 составляет  $7 \cdot 10^{-3} \text{ чел.-Зв/(ГВт·год)}$ , что на три порядка ниже нормализован-

ных коллективных доз от энергоблоков РБМК, и на два порядка ниже, чем у энергоблоков ВВЭР (на которых в основном базируется атомная энергетика России).

3. Средние индивидуальные риски для населения от энергоблока БН-600  $8,8 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>, максимальный  $3,45 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, что во всех случаях не превышает предел индивидуального риска для населения, по НРБ-99 равный  $5 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>. Максимальный индивидуальный риск определялся выбросами и сбросами реакторов АМБ-100,200 и составлял  $3 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>. Осредненный по всем регионам АЭС с ВВЭР максимальный индивидуальный риск составляет  $1,6 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>. Индивидуальные риски для реакторов типа БН примерно на два порядка ниже рисков от канальных реакторов и реакторов типа ВВЭР, и не превышают уровня пренебрежимого (безусловно приемлемого) риска, равного  $1 \cdot 10^{-6}$  за год.

4. Приведенный анализ индивидуальных и коллективных доз облучения населения, а также индивидуального и коллективного радиационных рисков от АЭС создают необходимые предпосылки для объективной комплексной оценки потенциальной опасности эксплуатации АЭС с различными типами реакторов.

### Литература

1. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Бадяев В.В., Егоров Ю.А., Казаков С.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Кононович А.Л., Колтик И.И., Кушнаренко Н.И., Рычкова Т.Н., Трапезников А.В., Трапезников В.И. Оценка вклада радиоактивных стоков БАЭС в дозовую нагрузку на население: Отчет ВНИИАЭС и ИЭРиЖ УроАН. – Москва, 1991.
4. Колтик И.И. Разработка методических основ контроля радиационного состояния внешней среды в районе расположения АЭС (на примере БАЭС). Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1997.
5. Абабян А.А., Кононович А.Л., Колтик И.И. и др. Анализ защитных свойств Ольховского болота: Отчет ВНИИАЭС. – М., 1992.
6. Кононович А.Л., Маковский В.И., Колтик И.И. и др. Обстановка в районе расположения БАЭС // Атомная энергия. – 1991. – Т. 71. – Вып. 3.
7. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Оценка риска радиоактивного загрязнения окружающей среды при эксплуатации АЭС // Атомная энергия. – 1998. – Т. 85. – Вып. 2.
8. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: 1993 Report to the Assembly. E.94.IX.2. N4.1993,1988r.
9. Иванов Е.А., Хамьянов Л.П. Оценка влияния организационно-технических мероприятий на снижение радиационного риска для населения регион АЭС: Сб. рефератов, 8-я Научно-техническая конференция ЯО России. – Екатеринбург, 1997.

Поступила в редакцию 22.02.2005

**УДК 621.039.526**

*Evaluation of the Radiation Risks Related to the Beloyarsk NPP BN600 Power Unit Operation on General Public* | I.I. Koltik, N.N. Oshkanov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 3 tables, 1 illustration. – References, 9 titles.

The basic criterion used to evaluate the radiological danger related to an NPP operation is general public exposure to radiation. The article presents the results of the analysis of the annual doses taken by general public for the period of the BN600 unit operation. The data on the individual and collective doses received by the critical groups of general public due to the atmospheric and liquid discharges from the BN600 power unit are given. The data on the standardized collective doses for other reactor types are presented. The results of the calculation of the individual and collective risks on general public show that the risks for the fast reactors are lower by about two orders than the risk for the graphite-moderated water-cooled reactors and PWR's and beyond an absolutely acceptable risk of  $1 \cdot 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ .

**УДК 621.039.526**

*Justification of the Tritium Radiation Safety of the Beloyarsk NPP BN600 Power Unit Personnel* | N.N. Oshkanov, M.V. Bakanov, E.M. Rafikov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 5 pages, 5 tables. – References, 6 titles.

On the basis of the conducted measurements of the volume tritium concentration in Beloyarsk NPP BN600 power unit room air the personnel tritium radiation safety has been justified. The method of the personnel dose calculation is presented.

**УДК 621.039.526**

*Assessment of the Partial Errors of the Beloyarsk NPP BN600 Reactor Relative Power Measurements* | M.V. Bakanov, V.A. Zhyoltyshev, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov, A.L. Kochetkov, Yu.S. Khomyakov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 9 pages, 3 tables, 3 illustrations. – References, 3 titles.

In this article the composite and partial errors of the Beloyarsk NPP BN600 reactor relative power measurements are considered and justified.

**УДК 621.039.526**

*Assessment of the Minimum Possible Worth of the BN600 Reactor Control Rods* | M.V. Bakanov, V.A. Zhyoltyshev, A.A. Lyzhin, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 7 pages, 2 illustrations. – References, 6 titles.

In this article the estimates of the minimum possible worth of the BN600 reactor control rods are reported and the criteria of the ultimate condition of the control rods as well as the indications of the achievement of the ultimate condition in terms of physical worth are considered and justified.

**УДК 621.059.526**

*Computational Support to the BN600 Reactor Operation* | V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov, Kh.F. Gizzatuln; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 6 pages, 2 tables. – References, 4 titles.

The article presents the main features of the core modifications implemented during the BN600 reactor operation. The neutron physics calculations of the BN600 reactor using the software packages named Uran and Hephaestus are analyzed. The effect of the BN600 reactor calculation method using the Hephaestus software package on the results of the calculation of the fuel characteristics has been evaluated.

**УДК 621.039.526**

*The Influence of Change of the BN-600 Core Composition on Value of Sodium Void Reactivity Effect* | E.V. Balahnin, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 4 tables. – References, 7 titles.

The influence of change of the BN-600 core composition on value of Sodium Void Reactivity Effect (SVRE) is presented in this article. The procedure of the design models preparation and calculation results of the SVRE for different of the BN-600 core composition's are presented.

**УДК 621.039.526**

*Research into BN600 Reactor Irradiated Fuel Decay Heat Released in the Irradiated Fuel Cooling Pond* | A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum, V.P. Zabegaev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 8 pages, 1 table, 5 illustrations.