

## **ОБОСНОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ЭНЕРГОБЛОКА БН-600 БЕЛОЯРСКОЙ АЭС ОТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРИТИЯ**

**Н.Н. Ошканов, М.В. Баканов, Е.М. Рафиков**

*Белоярская АЭС, г. Заречный*



На основании проведенных измерений объемной концентрации трития в воздухе производственных помещений энергоблока БН-600 Белоярской АЭС выполнено обоснование безопасности персонала от радиационного воздействия трития. Приведена методика расчета дозовых нагрузок на персонал.

Ввод в действие новых нормативных документов по индивидуальному дозиметрическому контролю персонала, а, в частности – методических указаний МУ 2.6.1.15-02 «Тритий и его соединения. Контроль величины индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении в организм человека» [1] потребовал выполнения оценки уровня радиационного воздействия на персонал за счет трития.

Ранее нами для исследования всех возможных путей поступления трития и определения их вклада первично было проведено детальное измерение активности трития в технологических средах, производственных помещениях и во внешней среде [2].

Конечной целью настоящей работы являлась оценка уровня радиационного воздействия на персонал от трития на основе полученных измерений.

### **ОБРАЗОВАНИЕ И ПУТИ МИГРАЦИИ ТРИТИЯ НА ЭНЕРГОБЛОКЕ БН-600**

Источниками образования трития являются ядерные реакции тройного деления топливного материала (плутоний, уран) и реакции радиационного взаимодействия нейтронов с ядрами многих элементов, присутствующих в конструкционных материалах, органах СУЗ и присутствующих в виде примесей в натриевом теплоносителе. Количественная оценка образования трития по различным путям приведена в табл. 1 [3].

Тритий, в силу его высокой подвижности и проникающей способности, мигрирует по всем технологическим системам реакторной установки с частичным выходом в окружающую среду.

Тритий, образующийся в топливных сборках, стержнях СУЗ диффундирует в натриевый теплоноситель первого контура, причем большая его часть удерживается в фильтрах-ловушках системы очистки натрия. Проведенные ранее измерения и расчетные

© Н.Н. Ошканов, М.В. Баканов, Е.М. Рафиков, 2005

Таблица 1

**Образование трития на БН-600**

№ п/п	Источник образования	Активность, Бк/сут
1.	Тройное деление	$1,4 \cdot 10^{12}$
2.	Стержни СУЗ	$1,2 \cdot 10^{11}$
3.	Конструкционные материалы	$8,4 \cdot 10^{10}$
4.	Примеси лития и бора	$5,5 \cdot 10^{10}$

оценки [3] указывают на то, что около 85–90 % образовавшегося трития локализуется в холодных фильтрах-ловушках. Частично тритий выходит в газовую полость реактора, диффундирует в через стенки корпуса реактора в помещения первого контура и через стенки трубок теплообменников проникает в натрий второго контура. Из помещений первого контура вместе с воздухом тритий через венттрубу выбрасывается в атмосферу. Во втором контуре тритий осаждается в фильтрах-ловушках, а часть его через парогенераторы проникает в третий контур. Тритий, находящийся в воздухе помещений, где расположены циркуляционные насосы, фильтры-ловушки второго контура, и в воздухе помещений парогенераторов через вентиляционные системы поступает в атмосферу. Диффундирующий тритий из третьего контура (пароводяного) через вентсистемы помещений также поступает в атмосферу, а с протечками воды, из приемков машзала поступает в водохранилище.

Результаты расчетных оценок распределения трития по данным [3] приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Распределение трития по технологическим системам**

№ п/п	Наименование	Активность, Бк/сут
1.	1 контур	$1,4 \cdot 10^{12}$
2.	2 контур	$9,3 \cdot 10^{10}$
3.	3 контур	$1,6 \cdot 10^{10}$
4.	Газовая полость реактора	$2,8 \cdot 10^9$
5.	Утечка через корпус реактора	$3,0 \cdot 10^9$
6.	Утечка через трубопроводы 2 контура	$8,1 \cdot 10^8$
	<i>Всего:</i>	$1,5 \cdot 10^{12}$

**АКТИВНОСТЬ ТРИТИЯ В ВОЗДУХЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Измерение активности трития в воздухе было выполнено путем отбора проб с помощью тритиевых пробоотборников MARC 7000 и последующим измерением на бета-спектрометре WALLACE 1414-001 WinSpectral. Пробоотборник MARC 7000 предназначен для улавливания из газообразной среды как газовой фазы трития, так и паровой, с разделением его по фазам, при этом гарантированно улавливается 99,9% содержащегося в воздухе трития. Суть отбора проб заключается в улавливании из воздуха трития на основе принципа барботирования его через воду (водяная фаза трития). После чего газообразный тритий доокисляется в катализационной печи до тритиевой воды, и затем улавливается также с помощью барботирования. В барботеры анализируемая среда (воздух) поступает через измеритель объема пробы.

Измерения активности трития в воздухе рабочих помещений производилось в помещениях, в которых предполагается выход трития из технологических контуров

(это помещения, с расположенным поблизости оборудованием 1, 2, 3 контуров). Результаты измерения активности трития в производственных помещениях энергоблока БН-600 приведены в табл. 3. Все измерения проведены при нормальном режиме эксплуатации БН-600 с работающими системами очистки 1, 2 контура.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ

Таблица 3

#### Результаты измерения активности трития в воздухе помещений энергоблока БН-600

№ п/п	Место отбора пробы	Дата установки пробоотборника	Объем прокачанного воздуха, л	Объемная активность воздуха, Бк/м <sup>3</sup>
1.	Центральный зал	17.02.00	2887	1,8
2.	Блочный щит БЩУ-3	17.02.00	2916	6,8
3.	Машинный зал	21.02.00	1866	14
4.	Парогенератор ЗПГ-4	23.02.00	1452	19
5.	Парогенератор ЗПГ-5	28.02.00	739	28
6.	Парогенератор ЗПГ-6	01.03.00	3600	13

### БЕЗОПАСНОСТИ

Индивидуальный дозиметрический контроль персонала является одной из мер контроля безопасного состояния источника воздействия. Превышение установленного дозового предела следует рассматривать как показатель ослабления контроля над источником, ухудшение параметров его безопасности.

Проведение мероприятий для ограничения величин индивидуальной годовой дозы облучения персонала является мерой обеспечения условий безопасности эксплуатации источника [1].

В соответствии с Методическими указаниями для организации контроля внутреннего облучения персонала предприятий Министерства РФ по атомной энергии вводятся следующие критерии (контрольные уровни) величины эффективной годовой дозы внутреннего облучения тритием и его соединениями, которые с учетом того, что при работе с тритием возможно воздействие на персонал других радиационно опасных факторов, составляют:

- 1) уровень регистрации УР, равный 1,0 мЗв в год;
- 2) уровень исследования УИ, равный 5,0 мЗв в год;
- 3) уровень вмешательства УВ, равный 10 мЗв в год.

Для женщин в возрасте до 45 лет соответствующие уровни должны быть уменьшены в 20 раз.

Оценка воздействия на персонал нами была сделана с использованием стандартных параметров (консервативно), установленных НРБ-99. На самом деле фактическое время пребывания персонала в условиях, указанных выше (кроме БЩУ), значительно меньше.

При индивидуальном контроле доз внутреннего облучения персонала группы А тритием величину индивидуальной годовой эффективной дозы  $E$  принимают равной:

$$E = \begin{cases} 0 & \text{при } E < УР \\ E \geq УР. \end{cases} \quad (1)$$

Дозовые характеристики трития представлены в табл. 4.

Для оценки использовались следующие соотношения:

$$E = \sum_i \Pi_i \epsilon_i, \quad (2)$$

Таблица 4

**Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и допустимой среднегодовой объемной активностью в воздухе для соединений трития**

Радионуклид	Период полураспада	Тип соединения при ингаляции	Дозовый коэффициент при поступлении с воздухом $E_{\text{перс.}}, \text{Зв/Бк}$	Предел годового поступления $\text{ПГП}_{\text{перс.}}, \text{Бк/год}$	Контрольный уровень $K_u$ содержания НТО в организме, объемное содержание в жидкой фазе организма, $\text{Бк/л}^*$	Допустимая среднегодовая активность в воздухе $\text{ДОА}_{\text{перс.}}, \text{Бк/м}^3$
H-3	12,3 лет	1. Пары тритированной воды (НТО, DTO, T <sub>2</sub> O)	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{+09}$	$2,6 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^{+5}$
		2. Тритированный метан (CH <sub>3</sub> T)	$1,8 \cdot 10^{-13}$	$1,1 \cdot 10^{+11}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{+7}$
		3. Газообразный тритий (HT, DT, T <sub>2</sub> )	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{+13}$		$4,4 \cdot 10^{+9}$

\* Приведен для содержания трития в жидкой фазе организма.

где  $E$  – суммарная эффективная доза от поступления соединений трития в организм, Зв;  $\Pi_i$  – величина активности  $i$ -го соединения трития, поступившего в организм человека в течение года, Бк/год;  $\varepsilon_i$  – дозовый коэффициент для  $i$ -го соединения трития.

Для оценки внутреннего облучения персонала (исключая прямой метод), допускается расчетный метод. В этом случае поступление радионуклидов в организм ( $\Pi_i$ ) определяется активностью соединения трития в воздухе на рабочем месте ( $C_i$ ), а эффективная доза при этом равна произведению поступления на дозовый коэффициент:

$$\Pi_i = C_i V, \quad (3)$$

$$E_i = \Pi_i \varepsilon_i, \quad (4)$$

$$E = \sum_i E_i, \quad (5)$$

где  $V$  – стандартный параметр (по НРБ-99) годового объема вдыхаемого воздуха  $2,4 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ .

В результате анализа получены данные табл. 5, из которых следует, что индивидуальный контроль персонала по внутреннему облучению тритием нецелесообразен. Годовые эффективные дозы персонала энергоблока БН-600, полученные расчетно-измерительным путем, в тысячи раз меньше установленного уровня регистрации УР.

## ВЫВОДЫ

1. Конструктивные особенности энергоблока БН-600 с натриевым теплоносителем (использование фильтров-ловушек 1, 2 контура для очистки теплоносителя) обеспечивают высокую степень улавливания и удержания трития, тем самым, обеспечивая безопасность персонала.

2. Годовые эффективные дозы персонала за счет воздействия трития в тысячи раз меньше уровня регистрации и подтверждают безопасное состояние источника воздействия.

3. Проведение индивидуального дозиметрического контроля персонала в отношении трития нецелесообразно. Достаточно ограничиться подтверждающим контролем среднегодовой объемной концентрации трития в воздухе производственных помещений в соответствии с установленным регламентом контроля.

Таблица 5

**Расчетные значения величины годовой эффективной дозы**

Место отбора проб	Вид соединения трития	Годовое поступление, Бк/год	Дозовый коэффициент, Зв/Бк	Годовая эффективная доза, мЗв
Центральный зал-3	Тритированная вода	$3,49 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$6,28 \cdot 10^{-5}$
	Газообразный тритий	$8,87 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
Машинный зал -3	Тритированная вода	$3,43 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$6,17 \cdot 10^{-4}$
	Газообразный тритий	—	$1,8 \cdot 10^{-15}$	—
Бокс ЗПГ-4	Тритированная вода	$3,65 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$6,57 \cdot 10^{-4}$
	Газообразный тритий	$8,15 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$1,47 \cdot 10^{-8}$
Бокс ЗПГ-5	Тритированная вода	$5,2 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$9,35 \cdot 10^{-4}$
	Газообразный тритий	$1,6 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$2,88 \cdot 10^{-8}$
Бокс ЗПГ-6	Тритированная вода	$2,85 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$5,13 \cdot 10^{-4}$
	Газообразный тритий	—	$1,8 \cdot 10^{-15}$	—
БЦУ-3	Тритированная вода	$1,62 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$2,92 \cdot 10^{-4}$
	Газообразный тритий	—	$1,8 \cdot 10^{-15}$	—

**Литература**

1. Методические указания МУ 2.6.1.15-02 «Тритий и его соединения. Контроль величины индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении в организм человека». — М.: Минатом и Минздрав России, 2002.
2. Рафигов Е.М., Ладейщиков А.В. Отчет по результатам радиационных исследований содержания трития на бл. №3 Белоярской АЭС. — Белоярская АЭС, 2002.
3. Зыбин В.А., Прохоров С.С., Цикунов А.Г., Шагалин Н.М. и др. Исследование образования и миграции трития на БН-600/Сб. науч. трудов «Безопасность эксплуатации БАЭС». — Екатеринбург: УрО РАН, 1994.

Поступила в редакцию 14.02.2005

**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. Gizzatulin; 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.