

Оценка консервативности предположений об условиях облучения населения, принятых при установлении нормативов предельно допустимых выбросов

А.И. Крышев¹, А.А. Бурякова¹, М.Е. Васянович², А.А. Екидин²

¹ Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

² Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Нормативы предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух устанавливаются из условия непревышения годовой дозовой квоты облучения населения. При расчетах годовой дозы в методиках установления предельно допустимых выбросов принимаются консервативные предположения об условиях облучения населения: возможно проживание человека в любой точке местности за пределами санитарно-защитной зоны; доза по всем путям воздействия, включая потребление продуктов питания, определяется местом проживания. Для количественной оценки консервативности этих предположений проведены расчеты годовой дозы облучения взрослого населения, проживающего в районе расположения Смоленской, Ростовской и Билибинской АЭС. Оценки выполнены для 3 сценариев: постоянное проживание в критической точке местности с потреблением всех продуктов питания, выращенных в этой точке (сценарий 1) или определенной части привозных продуктов (сценарий 2); постоянное проживание в населенном пункте в районе расположения АЭС с учётом реалистичных характеристик ведения хозяйственной деятельности (сценарий 3). Исходными данными являлись уровни поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух, оцененные в рамках радиационно-технического обследования источников выбросов АЭС (2017–2019 гг.). Показано, что предположения об условиях облучения существенно влияют на консервативность оценки годовой дозы от выбросов АЭС. Оценки, выполненные способом, принятым в методиках установления предельно допустимых выбросов, выше расчетной годовой дозы при реалистичных характеристиках хозяйственной деятельности для Смоленской АЭС в 6,3 раза, для Ростовской – в 8,4 раза, для Билибинской АЭС – в 883 раза. Наибольшая степень консервативности характерна для оценок дозы внутреннего облучения. Результаты расчета годовой дозы от выбросов АЭС сильно зависят от выбора метода оценки дозы от ^3H и ^{14}C . Учет региональных значений доли продуктов местного производства в рационе населения позволяет обоснованно снизить консервативность расчетов годовой дозы от постоянных выбросов АЭС.

Ключевые слова: доза, выброс, население, продукты питания, тритий, углерод-14, атомная электростанция.

Введение

Нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) радиоактивных веществ в атмосферный воздух устанавливаются,

исходя из условия соблюдения годовой дозовой квоты для населения¹. Действующие методики определения ПДВ^{2,3,4} содержат метод расчета годовой дозы от постоянных выбросов радионуклидов. Годовая доза

¹ Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Утверждена приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639. [Methodology for development and establishment of radioactive substances maximum permissible atmospheric discharge limits approved by the order of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service No.639 of 07.11.2012. (In Russ.)]

² РБ-106-15 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуются методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. [RB-106-15. Safety guide on nuclear energy use. Recommended methods of parameters calculation which are necessary to prepare and establish permissible limits of radioactive substances discharges into atmosphere. (In Russ.)]

Крышев Александр Иванович

Научно-производственное объединение «Тайфун»

Адрес для переписки: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4; E-mail: ecomod@yandex.ru

для населения рассчитывается как сумма доз внешнего облучения от радиоактивного облака и выпадений на поверхность почвы, внутреннего облучения от вдыхания радионуклидов и их поступления с продуктами питания. Метод содержит следующие консервативные предположения об условиях облучения населения:

- возможно проживание человека в любой точке местности за пределами санитарно-защитной зоны предприятия;

- годовая доза рассчитывается в точке наибольшей приземной концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе и наибольших радиоактивных выпадений за пределами санитарно-защитной зоны (далее – критическая точка местности);

- весь спектр сельскохозяйственной продукции (молоко, мясо, хлеб, картофель, овощи, фрукты) выращивается в критической точке местности и потребляется местными жителями.

Консервативные методы рекомендуется применять в случае отсутствия необходимой информации об условиях формирования дозы и уровнях воздействия на население, что соответствует принципу ALARA. Для действующих АЭС систематический мониторинг и периодические комплексные радиационно-технические обследования дают представление об источниках выбросов и содержании радионуклидов в окружающей среде при нормальной эксплуатации станции. Условия формирования облучения во многом определяются местом проживания и хозяйственной деятельностью человека, особенностями его питания.

Цель исследования – количественная оценка консервативности предположений об условиях облучения, принятых при расчетах годовой дозы при установлении нормативов ПДВ радиоактивных веществ АЭС. Для этого выполнен расчет годовой дозы облучения взрослого человека от постоянных выбросов для 3 различных сценариев проживания и ведения хозяйственной деятельности.

Задачи исследования

Задачей исследования является оценка консервативности метода расчета годовой дозы при установлении нормативов ПДВ и рекомендации по возможности ее обоснованного снижения.

Объект исследования

Объектом исследования являются условия формирования годовых доз облучения населения в результате штатных газоаэрозольных выбросов 3-атомных станций,

различающихся как по типу реакторных установок, так и по климатическим характеристикам и образу жизни населения – Смоленской, Ростовской, Билибинской.

Смоленская АЭС расположена в европейской части России, на юге Смоленской области, в 35 км от г. Рославля. Санитарно-защитная зона Смоленской АЭС определена окружностью радиусом 3 км. Населенные пункты в зоне наблюдения, в основном, составляют села и поселки городского типа. Ближайшим к станции является г. Десногорск (3 км). На Смоленской АЭС эксплуатируются 3 энергоблока (№ 1 и 2 – первая очередь, № 3 – вторая очередь), введенные в эксплуатацию в 1982, 1985 и 1990 гг. соответственно, с реакторами РБМК-1000 одноконтурного типа общей мощностью 3000 МВт. Выброс радионуклидов осуществляется из двух вентиляционных труб высотой 150 м.

Ростовская АЭС расположена в южной степной части Русской равнины, в Ростовской области, в 13,5 км восточнее г. Волгодонска на южном берегу Цимлянского водохранилища, созданного в нижнем течении р. Дон. Вокруг Ростовской АЭС установлена санитарно-защитная зона радиусом 3 км. Проект Ростовской АЭС относится к серии унифицированных проектов с реакторами ВВЭР-1000 (В-320) третьего поколения. Каждый из четырех энергоблоков электрической мощностью по 1 ГВт размещается в отдельно стоящем главном корпусе. Газоаэрозольные выбросы Ростовской АЭС удаляются в атмосферу через 5 вентиляционных труб, высотой 100 м каждая.

На Ростовской АЭС, как и на многих АЭС с ВВЭР, функционируют брызгальные бассейны, применяющиеся для непрерывного охлаждения технологического оборудования реакторного отделения. Особенностью проектов АЭС, подобных Ростовской, является то, что их технический регламент предусматривает сброс дебалансных вод, содержащих тритий в форме НТО, в брызгальные бассейны. Присутствие трития в воде системы технического водоснабжения ответственных потребителей реакторного отделения создает условия для поступления трития в атмосферу в процессе функционирования брызгальных бассейнов [1]. Этот источник поступления трития в атмосферный воздух учитывается при расчете годовой дозы облучения населения от выбросов Ростовской АЭС.

Билибинская АЭС расположена в Билибинском районе Чукотского АО, на северо-востоке России, за Полярным кругом, в зоне вечной мерзлоты. Билибинская АЭС включает в себя 4 однотипных энергоблока, установленная электрическая мощность станции составляет 48 МВт. Все 4 энергоблока Билибинской АЭС используют реакторную установку ЭГП-6. Источником выброса радиоактивных

³ Методические рекомендации по расчету нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций Госкорпорации «Росатом». Утверждены 15.07.2014 г. № 1-1/310-Р. Госкорпорация «Росатом». [Methodological guidelines for calculating the maximum permissible emissions of radioactive substances from organized sources into the atmosphere for organizations of the State Atomic Energy Corporation «Rosatom». Approved by the State Atomic Energy Corporation «Rosatom» No 1-1/310-P of 15.07.2014. (In Russ.)]

⁴ Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух. Методика. МТ 1.2.1.15.1176-2016. АО «Концерн Росэнергоатом». [Guidance MT 1.2.1.15.1176-2016. Development and approval of the standards for maximum permissible air emissions of radioactive substances by nuclear power plants. Moscow, AO «Concern Rosenergoatom», 2016. (In Russ.)]

веществ Билибинской АЭС являются 2 вентиляционные трубы высотой 50 м.

Материалы и методы

В 2017–2019 гг. было проведено радиационно-техническое обследование источников выбросов радионуклидов АЭС России [2, 3]. Обследование выполнялось в рамках работ по установлению нормативов предельно допустимых выбросов с целью определения источников и перечня радионуклидов, подлежащих нормированию и контролю в соответствии с требованиями Ростехнадзора. Обследование позволило оценить уровни поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух, в том числе тех радионуклидов, для которых регламентный контроль выбросов станциями не проводился, поскольку они не входили в перечень нормируемых по СП АС-03⁵. Годовые выбросы радионуклидов Смоленской, Ростовской и Билибинской АЭС, оцененные по результатам радиационно-технического обследования, используются как исходные данные для расчета доз (табл. 1).

Среднегодовые объемные активности радионуклидов в приземном воздухе и атмосферные выпадения вычислялись с помощью модели рассеивания примеси, изложенной в методике разработки и установления нормативов ПДВ радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух⁴. Годовые дозы внешнего облучения населения от радиоактивного облака и поверхности почвы, внутреннего облучения от вдыхания радионуклидов и потребления продуктов питания рассчитывались по методике⁴.

При оценке дозы облучения населения от выбросов ³H и ¹⁴C все действующие методики расчета ПДВ делают консервативное предположение об установлении равновесия в распределении радионуклидов между организмом человека и атмосферным воздухом. При этом годовая доза от ³H определяется по формуле^{2,4}:

$$D_{3H} = DCF_{3H} \cdot C_{3H} / H_a, \quad (1)$$

где $DCF_{3H} = 2,6 \times 10^{-8} \frac{\text{Зв}}{\text{год}} / \frac{\text{Бк}}{\text{л}}$ – дозовый коэффициент для ³H; C_{3H} – объемная активность ³H в воздухе, Бк/м³; H_a – абсолютная влажность воздуха, л/м³.

Годовая доза от ¹⁴C при условии равновесия^{2,4}:

$$D_{14C} = DCF_{14C} \cdot C_{14C} / C_{12C}, \quad (2)$$

где $DCF_{14C} = 5,6 \times 10^{-5} \frac{\text{Зв}}{\text{год}} / \frac{\text{Бк}}{\text{г}}$ – фактор конверсии, связывающий годовую дозу внутреннего облучения от ¹⁴C (Зв/год) с его концентрацией в тканях человека в расчете на 1 г стабильного углерода; C_{14C} – объемная активность ¹⁴C в воздухе, Бк/м³; $C_{12C} = 0,18 \text{ г/м}^3$ концентрация стабильного углерода в воздухе.

Предположение об установлении равновесия ³H и ¹⁴C между организмом человека и атмосферным воздухом, принятое в методиках расчета ПДВ, не учитывает того, что значительная часть потребляемой населением продукции является привозной. Чтобы учесть этот фактор, будем считать, что равновесие в распределении ³H и ¹⁴C устанавливается между атмосферным воздухом и местной растительной и животной продукцией, тогда как равновесие между атмосферным воздухом и организмом человека может отсутствовать [4].

Тогда доза облучения взрослого человека от ³H, Зв/год, вместо (1) вычисляется по формуле:

$$D_{3H} = C_{3H} \cdot (2 \cdot U \varepsilon_{инг,3H} + \varepsilon_{пищ,3H} \cdot \sum_k f_{w,k} \cdot R_k \cdot \alpha_k / H_{возд}), \quad (3)$$

где принято, что поступление ³H через кожу равно его поступлению ингаляционным путем⁶, $\varepsilon_{инг,3H} = 1,8 \times 10^{-11} \text{ Зв/Бк}$ – дозовый коэффициент при ингаляции ³H в форме НТО [5]; $\varepsilon_{пищ,3H} = 1,8 \times 10^{-11} \text{ Зв/Бк}$ – дозовый коэффициент при пищевом поступлении ³H в форме НТО [5]; $f_{w,k}$ – доля воды в k -м продукте питания. Значение $f_{w,i} = 0,87$ для молока, 0,69 – мяса, 0,87 – картофеля и корнеплодов, 0,84 – овощей, 0,85 – фруктов; 0,12 – зерновых культур [6]. Среднегодовая абсолютная влажность воздуха для района расположения Смоленской АЭС $H_{возд} = 6,57 \text{ г/м}^3$, Ростовской АЭС – 7,27 г/м³, Билибинской АЭС – 2,82 г/м³.

Выброс техногенных радионуклидов по данным радиационно-технического обследования, Бк/год

Таблица 1

[Table 1

Release of technogenic radionuclides according to radiation and technical survey data, Bq/year

АЭС [NPP]	³ H	¹⁴ C	⁶⁰ Co	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	ИРГ [RIG]
Смоленская [Smolensk]	2,4·10 ¹²	1,2·10 ¹³	8,5·10 ⁷	6,6·10 ⁷	1,1·10 ⁷	4,7·10 ¹⁴
Ростовская [Rostov]	6,4·10 ¹²	7,4·10 ¹⁰	1,3·10 ⁶	1,3·10 ⁶	5,9·10 ⁶	1,1·10 ¹³
Билибинская [Bilibino]	2,9·10 ¹²	2,5·10 ¹²	5,8·10 ⁷	1,1·10 ⁴	1,2·10 ⁵	2,7·10 ¹²

⁵ СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 22.04.2003. М., Минздрав РФ, 2003. [SanPiN 2.6.1.24-03. Sanitary rules for design and operation of nuclear plants (SP AS-03). Approved by the Chief State Health Officer of the Russian Federation, First Deputy Minister of Health of the Russian Federation G.G. Onishchenko on 22.04.2003. Moscow, RF Minzdrav, 2003. (In Russ.)]

⁶ МУ 2.6.5.010-2016. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. Утв. главным государственным санитарным врачом ФМБА России 22.04.2016 г. [MU 2.6.5.010-2016. Justification of borders and operating conditions of sanitary protection zones and radiation monitoring zones. Approved by the chief state sanitary doctor of the FMBA (Russia) of 22.04.2016. (In Russ.)]

Доза облучения взрослого человека от ^{14}C , Зв/год, при отсутствии равновесия между атмосферным воздухом и организмом человека вместо (2) рассчитывается по формуле:

$$D_{14\text{C}} = \varepsilon_{\text{инг},14\text{C}} U C_{14\text{C}} + \varepsilon_{\text{пищ},14\text{C}} \cdot \sum_k (\alpha_{k,v} \cdot R_{k,v} \cdot f_{k,v} + \alpha_{k,a} \cdot R_{k,a} \cdot f_{k,a} \cdot f_{\text{смм}}) \cdot C_{14\text{C}} / C_{12\text{C}}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\text{инг},14\text{C}} = 6,2 \times 10^{-12}$ Зв/Бк – дозовый коэффициент при ингаляции ^{14}C в форме CO_2 [5]; $U = 8,1 \cdot 10^3$ м³/год – объем вдыхаемого воздуха; индекс v относится к продуктам питания растительного происхождения, индекс a – животного; $\varepsilon_{\text{пищ},14\text{C}} = 5,8 \times 10^{-10}$ Зв/Бк – дозовый коэффициент при пищевом поступлении ^{14}C ; $f_{k,v}$ – доля углерода в k -й растительной продукции, кг С/кг продукции: 0,059 – овощи, 0,046 – корнеплоды и картофель, 0,062 – фрукты, 0,39 зерновые культуры [7]; $f_{k,a}$ – доля углерода в k -й животной продукции, кг С/кг продукции: 0,065 – молоко, 0,2 – мясо [7]; $f_{\text{смм}}$ – доля загрязненных кормов животного.

Для оценки консервативности предположений об условиях облучения, принятых в методиках установления ПДВ, для каждого объекта исследований выполнены расчеты годовой дозы для трех сценариев.

Сценарий 1

Взрослый человек постоянно проживает в критической точке местности и потребляет 100% продуктов пита-

ния, выращенных в этой же точке. Расположение критической точки местности относительно геометрического центра источников выбросов, с учетом размеров санитарно-защитных зон: для Смоленской АЭС – 3 км к востоку, Ростовской – 3 км к востоку, Билибинской – 1,6 км к юго-юго-западу.

Сценарий 2

Аналогично сценарию 1, но учитывается, что часть продуктов питания – местные (выращиваются и производятся в критической точке местности), часть – привозные. Годовое потребление продуктов питания населением в районах расположения АЭС, включая долю продуктов местного производства (далее – локальная доля), определено Федеральным исследовательским центром питания и биотехнологии в 2016 г. как часть работ по подготовке методики разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ АЭС в атмосферный воздух⁴ (табл. 2, 3). Локальная доля для хлеба в методике⁴ не оценена, поэтому в расчетах этот параметр принят равным 0,5 для района расположения Смоленской и Ростовской АЭС и 0 для района расположения Билибинской АЭС.

Годовое потребление продуктов питания взрослым человеком в районе расположения АЭС⁴, кг

Таблица 2

[Table 2]

Annual food consumption by an adult in the nuclear power plant location area⁴, kg]

Продукт [Product]	АЭС, городское/сельское население [NPP, urban/ rural population]		
	Смоленская [Smolensk]	Ростовская [Rostov]	Билибинская [Bilibino]
Молоко [Milk]	292/361	262/245	274/217
Мясо [Meat]	96/87	91/97	102/85
Хлеб [Bread]	82/110	84/106	80/106
Картофель [Potato]	67/90	56/70	62/60
Овощи [Vegetables]	100/84	105/100	82/63
Фрукты [Fruit]	91/83	79/63	77/52

Доля местных продуктов в рационе взрослого человека в районе расположения АЭС⁴, %

Таблица 3

[Table 3]

Percentage of local food products in the adult diet in the nuclear power plant location area⁴, %]

Продукт [Product]	АЭС, городское/сельское население [NPP, urban/ rural population]		
	Смоленская [Smolensk]	Ростовская [Rostov]	Билибинская [Bilibino]
Молоко [Milk]	1/9	1/7	0,4/0
Мясо [Meat]	1/2	0,4/19	0,4/0,8

Продукт [Product]	АЭС, городское/сельское население [NPP, urban/ rural population]		
	Смоленская [Smolensk]	Ростовская [Rostov]	Билибинская [Bilibino]
Картофель [Potato]	24/61	4/33	0/0,8
Овощи [Vegetables]	48/59	44/75	0,8/5
Фрукты [Fruit]	48/70	49/79	1,7/0,8

Сценарий 3

Годовая доза рассчитывается для взрослого человека с учетом реалистичных характеристик его проживания и ведения хозяйственной деятельности (далее – резидент).

Для оценки дозы от выбросов Смоленской АЭС в качестве резидента рассматривается житель г. Десногорска, проживающий в части города с наибольшей расчетной среднегодовой объемной активностью радионуклидов в воздухе (3,5 км к юго-востоку от геометрического центра источников выбросов АЭС) и имеющий дачный участок в местном садовом товариществе (3 км к северо-востоку). Резидент проводит 80% времени в городе, 20% – в доме на дачном участке, где выращивает растительную продукцию для личного потребления. Предполагается, что всю локальную долю потребляемого картофеля, овощей и фруктов резидент получает со своего участка, остальные продукты являются привозными.

Для оценки дозы от выбросов Ростовской АЭС в качестве резидента рассматривается житель ст. Подгоренской – ближайшего населенного пункта, расположенного в 4 км к югу от геометрического центра источника выбросов АЭС. Это сельскохозяйственный регион, поэтому предполагается, что всю локальную долю потребляемой продукции жители ст. Подгоренской производят сами.

Для оценки дозы от выбросов Билибинской АЭС в качестве резидента рассматривается житель г. Билибино, проживающий в части города с наибольшей расчетной среднегодовой объемной активностью радионуклидов в воздухе (3,8 км к юго-западу от геометрического центра источников выбросов АЭС). Все продукты питания в районе расположения Билибинской АЭС считаются привозными.

Результаты и обсуждение

В таблице 4 представлены результаты расчетов годовых доз облучения населения от штатных выбросов Смоленской, Ростовской и Билибинской АЭС, полученные по трем сценариям.

Как видно из таблицы 4, предположения об условиях облучения, принятые в методиках установления ПДВ, существенно влияют на консервативность оценок годовой дозы от выбросов АЭС. Учет только одного фактора (доли потребления продуктов питания местного производства) снижает консервативность расчетов годовой дозы для Смоленской АЭС в 2,4 раза, Ростовской АЭС – в 3,2 раза, Билибинской АЭС – в 74 раза.

Оценки, выполненные наиболее консервативным способом (сценарий 1), оказались выше расчетной годовой дозы при реалистичных характеристиках хозяйственной деятельности (сценарий 3) для Смоленской АЭС в 6,3 раза, Ростовской АЭС – в 8,4 раза, Билибинской АЭС – в 883 раза. Оценки годовой дозы, полученные с учетом локальной доли потребления продуктов питания (сценарий 2), достаточно консервативны по сравнению со сценарием 3: для Смоленской и Ростовской АЭС в 2,6 раза, Билибинской АЭС – в 12 раз.

Результаты расчета годовой дозы от выбросов АЭС очень чувствительны к выбору метода оценки дозы от ³H и ¹⁴C. Например, если для Смоленской АЭС в рамках сценария 2 рассчитать дозу от ¹⁴C по формуле (2) вместо (4), то суммарные годовые дозы, вычисленные по сценариям 1 и 2, будут различаться менее чем на 1%. В методике⁴ при наличии региональных данных допускается учет долей потребляемой местной продукции в расчетах годовой дозы от поступления всех радионуклидов с продуктами питания, за исключением ³H и ¹⁴C. На практике

Доза облучения населения от штатных выбросов АЭС, рассчитанная по разным сценариям, 10⁻⁷ Зв/год

Таблица 4

Radiation dose of the population from regular NPP emissions, calculated for different scenarios, 10⁻⁷ Sv/year

[Table 4

АЭС [NPP]	Сценарий 1 [Scenario 1]	Сценарий 2 [Scenario 2]	Сценарий 3 [Scenario 3]
Смоленская [Smolensk]	76,6	32,1	12,2
Ростовская [Rostov]	4,2	1,3	0,5
Билибинская [Bilibino]	88,3	1,2	0,1

это означает, что при установлении нормативов ПДВ АЭС расчеты годовой дозы допускается проводить по сценарию 2, однако вклад в дозу от выбросов ^3H и ^{14}C вместо (3), (4) все равно необходимо вычислять по формулам (1), (2). Такое исключение, по нашему мнению, является необоснованным.

В таблице 5 представлены результаты расчетов вклада в годовую дозу внутреннего и внешнего облучения при штатных выбросах АЭС, полученные для разных сценариев.

Таблица 5 показывает, что предположения, принятые в методиках установления ПДВ, в большей степени влияют на консерватизм оценок дозы внутреннего облучения. Годовая доза внутреннего облучения от выбросов Смоленской АЭС, рассчитанная по наиболее консервативному сценарию, в 17 раз выше, чем по реалистичному, Ростовской АЭС – в 11 раз, Билибинской АЭС – в 8750 раз. При этом расчетная годовая доза внешнего облучения от выбросов Смоленской АЭС по консервативному сценарию всего в 1,1 раза выше, чем по реалистичному, Ростовской АЭС – в 2,3 раза, Билибинской АЭС – в 9 раз, что обусловлено различием среднегодовой объемной активности радионуклидов в воздухе в месте проживания человека относительно критической точки местности.

В таблице 6 представлен относительный вклад ^3H , ^{14}C , ИРГ, суммы радиоактивных аэрозолей и изотопов йода в годовую дозу облучения населения от штатных выбросов АЭС для разных сценариев.

Таблица 6 показывает, что предположения об условиях облучения населения, принятые в методиках установ-

ления ПДВ, могут существенно влиять на расчетные значения относительного вклада радионуклидов в годовую дозу от постоянных выбросов. При оценках наиболее консервативным способом почти 90% дозы для населения от выбросов Смоленской АЭС формирует ^{14}C , тогда как при расчетах по реалистичному сценарию 2/3 годовой дозы создает внешнее облучение от инертных радиоактивных газов (ИРГ). Для штатных выбросов Ростовской АЭС вклад ^3H в годовую дозу при расчетах по реалистичному сценарию снижается с 74 до 44%, вклад ИРГ повышается с 8 до 27%.

Для штатных выбросов Билибинской АЭС относительный вклад радионуклидов в дозу при расчетах по реалистичному сценарию противоположен консервативным оценкам. В рамках консервативного сценария 96% годовой дозы формирует ^{14}C , тогда как при реалистичном его вклад около 2%, а 88% годовой дозы формируют выбросы ИРГ и ^{60}Co .

При оценке полученных результатов необходимо иметь в виду, что даже наиболее консервативный подход приводит к расчетному значению годовой дозы от штатных выбросов АЭС на уровне существенно ниже основного предела дозы для населения 1 мЗв/год. Однако нормативы ПДВ и ДВ рассчитываются не по критерию недопустимости превышения основного предела дозы, а по критерию недопустимости превышения установленной дозовой квоты. В России для выбросов АЭС санитарными правилами⁵ установлена двухуровневая система квот. Значения предельно допустимых выбросов (ПДВ) рассчитываются, исходя из дозовой квоты 50 или 250 мкЗв/

Таблица 5

Вклад внутреннего и внешнего облучения от штатных выбросов АЭС, рассчитанный по разным сценариям, 10^{-7} Зв/год

[Table 5]

Contribution of internal and external radiation from regular NPP emissions, calculated for different scenarios, 10^{-7} Sv/year

АЭС [NPP]	Внутреннее облучение [Internal exposure]			Внешнее облучение [External exposure]		
	Сценарий 1 [Scenario 1]	Сценарий 2 [Scenario 2]	Сценарий 3 [Scenario 3]	Сценарий 1, 2 [Scenario 1, 2]	Сценарий 3 [Scenario 3]	
Смоленская [Smolensk]	67,4	22,9	3,9	9,2	8,3	
Ростовская [Rostov]	3,9	1,0	0,37	0,3	0,13	
Билибинская [Bilibino]	87,5	0,4	0,01	0,8	0,09	

Таблица 6

Относительный вклад компонентов штатных выбросов АЭС в годовую дозу облучения населения, %

[Table 6]

Relative contribution of components from regular NPP emissions to the annual radiation dose of the population, %

АЭС [NPP]	^3H			^{14}C			ИРГ [IRG]			Аэрозоли и йод [Aerosols and iodine]		
	Сценарий [Scenario]											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Смоленская [Smolensk]	0,5	0,2	0,4	87	71	32	12	28	67	0,3	0,5	0,9
Ростовская [Rostov]	74	47	44	17	26	28	7,9	25	27	1	1,7	1,9
Билибинская [Bilibino]	3,2	8,3	11	96	29	1,6	0,5	40	56	0,4	23	31

год, в зависимости от года ввода энергоблока в эксплуатацию. Превышение ПДВ недопустимо в режиме нормальной эксплуатации АЭС и может служить основанием для приостановки эксплуатации АЭС (п. 5.22 СП АС-03⁵).

В соответствии с п. 5.11 СП АС-03⁵ значения допустимых выбросов (ДВ) АЭС рассчитываются, исходя из критерия не превышения дозы облучения населения 10 мкЗв/год. Если фактический выброс АЭС превышает ДВ, но ниже ПДВ, то «радиационное воздействие АЭС на население и окружающую среду не соответствует принципу оптимизации, что свидетельствует о нарушении культуры производства и подлежит анализу с целью устранения выявленного превышения ДВ» (п. 5.21 СП АС-03⁵).

Как видно из таблицы 4, годовая доза от выбросов АЭС с реакторами РБМК-1000 и ЭГП-6, вычисленная с учетом вклада ³H и ¹⁴C наиболее консервативным способом, составляет 80–90% от дозовой квоты, установленной для расчета нормативов ДВ АЭС. Таким образом, избыточная консервативность оценок дозы снижает «запас» между фактическими и допустимыми выбросами АЭС, необходимый с учетом того, что годовые выбросы радионуклидов могут варьировать в зависимости от выполняемых плановых работ.

Можно сделать вывод о желательности учета региональных значений доли продуктов местного производства в рационе населения при разработке нормативов ПДВ радиоактивных веществ АЭС и других объектов использования атомной энергии. Это позволит обоснованно снизить консерватизм расчетов годовой дозы от постоянных выбросов, а также избежать искажений при оценке относительного вклада радионуклидов в дозу и определении перечня радиоактивных веществ, подлежащих регламентному контролю.

Заключение

Предположения об условиях облучения населения, принятые в методиках установления ПДВ, существенно влияют на консервативность оценки годовой дозы от постоянных выбросов. При учете этих предположений расчетная годовая доза от выбросов АЭС для взрослого

населения выше оцененной для реалистичных условий хозяйственной деятельности в 6,3–883 раза. Наибольшая степень консервативности характерна для оценок доз внутреннего облучения от продуктов питания и связана с предположением, что вся сельскохозяйственная продукция производится в критической точке местности и потребляется местными жителями. Расчетное значение годовой дозы от выбросов АЭС сильно зависит от выбора метода определения дозы от ³H и ¹⁴C. Консервативность оценки годовой дозы при разработке нормативов ПДВ может быть обоснованно снижена путем учета доли местных продуктов питания в рационе населения, особенно для тех регионов России, где потребляется преимущественно привозная продукция.

Литература

1. Vasilyev A., Ekidin A., Vasyanovich M., et al. Conservative tritium exposure assessment in the atmosphere from the spray ponds of the Balakovo NPP // *Fusion Science and Technology*. 2020. Vol. 76, № 4. P. 526–535.
2. Vasyanovich M., Vasilyev A., Ekidin A., et al. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases // *Nuclear Engineering and Technology*. 2019. Vol. 51, № 4. P. 1176–1179.
3. Vasyanovich M.E., Ekidin A.A., Vasilyev A.V., et al. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019. Vol. 208–209. P. 106006.
4. Крышев А.И., Крышев И.И., Васянович М.Е., и др. Оценка дозы облучения населения от выброса ¹⁴C АЭС с РБМК-1000 и ЭГП-6 // *Атомная энергия*. 2020. Т. 128, № 1. С. 46–52.
5. Compendium of Dose Coefficients Based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP. 2012. Vol. 41, suppl. 1. P. 1–130.
6. Tritium and the environment. IRSN Radionuclide Fact Sheet. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire. France, 2010. 26 p.
7. Carbon-14 and the environment. IRSN Radionuclide Fact Sheet. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire. France, 2010. 19 p.

Поступила: 18.08.2020 г.

Крышев Александр Иванович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией эколого-геофизического моделирования и анализа риска Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия. **Адрес для переписки:** 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4; E-mail: ecomod@yandex.ru

Бурякова Анна Александровна – младший научный сотрудник лаборатории эколого-геофизического моделирования и анализа риска Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

Васянович Максим Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник радиационной лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук», Екатеринбург, Россия

Екидин Алексей Акимович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник радиационной лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук», Екатеринбург, Россия

Для цитирования: Крышев А.И., Бурякова А.А., Васянович М.Е., Екидин А.А. Оценка консервативности предположений об условиях облучения населения, принятых при установлении нормативов предельно допустимых выбросов // *Радиационная гигиена*. 2021. Т. 14, № 1. С. 60–67. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-60-67

Assessment of conservatism of assumptions on the population exposure conditions applied for establishing the permissible atmospheric release levels

Alexander I. Kryshev¹, Anna A. Buryakova¹, Maksim E. Vasyanovich², Aleksey A. Ekidin²

¹ Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet, Obninsk, Russia

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

The annual permissible atmospheric release levels of radionuclides are established with the condition that the population annual dose should not exceed the dose quota. Two conservative assumptions on the population exposure are applied in handbooks for calculation of the permissible release levels: a person can reside in any point outside the sanitary protection zone of nuclear facility; all exposure pathways, including food consumption, are determined by the place of residence. Calculation of the annual dose for adults living near the Smolensk, Rostov and Bilibino NPP was performed for three scenarios to evaluate the degree of conservatism of these assumptions. Scenario 1 assumed permanent residence in a critical point of the area with production of all food in this point and consumption only local food by the population. Scenario 2 assumed that a certain part of food is imported. In scenario 3 dose assessment was made for a permanent resident of the closest settlement near NPP, taking into consideration realistic characteristics of the exposure conditions. Atmospheric release levels of radionuclides assessed during the radiation and technical surveys of the NPP's emission sources in 2017–2019 were used as the initial data. It is shown that the assumptions on the conditions of population exposure significantly affect the conservatism of the annual dose assessment. The calculated annual dose for the most conservative scenario is higher than for realistic scenario by 6,3 times (for the Smolensk NPP), 8,4 times (Rostov NPP), 883 times (Bilibino NPP). The highest degree of conservatism was shown for the internal radiation dose estimates. The results of calculation of the annual dose from NPP's emissions strongly depend on the method for dose assessment from releases of ³H and ¹⁴C. Use of the regional values of consumption of locally produced food allows reasonable reducing the conservatism of the annual dose estimates from the NPP's permanent radionuclide releases.

Key words: dose, release, population, food, tritium, carbon-14, nuclear power plant.

References

1. Vasilyev A, Ekidin A, Vasyanovich M, Pyshkina M, Antonov K, Antushevsky A, et al. Conservative tritium exposure assessment in the atmosphere from the spray ponds of the Balakovo NPP. *Fusion Science and Technology*. 2020(4): 526-535.
2. Vasyanovich M, Vasilyev A, Ekidin A, Kapustin I, Kryshev A. Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases. *Nuclear Engineering and Technology*. 2019;(4): 1176-1179.
3. Vasyanovich ME, Ekidin AA, Vasilyev AV, Kryshev AI, Sazykina TG, Kosykh IV, et al. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019;208-209: 106006.
4. Kryshev AI, Kryshev II, Vasyanovich ME, Ekidin AA, Kapustin IA, Murashova EL. Assessment of doses to population caused by ¹⁴C releases from the Nuclear Power Plants with RBMK-1000 and EGP-6. *Atomnaya Energiya = Atomic Energy*. 2020;128(1): 46-52 (In Russian).
5. Compendium of Dose Coefficients Based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP; 2012. Vol. 41, suppl. 1, P. 1–130.
6. Tritium and the environment. IRSN Radionuclide Fact Sheet. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire. France; 2010. 26 p.
7. Carbon-14 and the environment. IRSN Radionuclide Fact Sheet. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire. France; 2010. 19 p.

Received: 18 August, 2020

For correspondence: Alexander I. Kryshev – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Ecological and Geophysical Modeling and Risk Analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet. (Pobedy str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249038, Russia; E-mail: ecomod@yandex.ru)

Anna A. Buryakova – Researcher of the Laboratory of Ecological and Geophysical Modeling and Risk Analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet, Obninsk, Russia.

Maksim E. Vasyanovich – PhD in Physics and Mathematics, Researcher of Radiation Laboratory of the Institute of Industrial Ecology Ural Branch of Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia

Aleksey A. Ekidin – PhD in Physics and Mathematics, Leading Researcher of Radiation Laboratory of the Institute of Industrial Ecology Ural Branch of Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia

For citation: Kryshev A.I., Buryakova A.A., Vasyanovich M.E., Ekidin A.A. Assessment of conservatism of assumptions on the population exposure conditions applied for establishing the permissible atmospheric release levels. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No 1. P. 60-67. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-60-67

Alexander I. Kryshev

Research and Production Association «Typhoon»

Address for correspondence: Pobedy str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249038, Russia; E-mail: ecomod@yandex.ru