



УДК: 504.054; 504.3.054; 504.4.054; 539.16.04; 629.039.58

DOI: 10.26277/SECNRS.2024.114.4.005

© 2024. Все права защищены.

## УЧЕТ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПОВЫШЕННЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ НОРМИРОВАНИИ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Курындин А. В.\* , канд. техн. наук (kuryndin@secnrs.ru),  
Шаповалов А. С.\* (shapovalov@secnrs.ru),  
Иванов Е. А.\* , канд. техн. наук (ivanov@secnrs.ru),  
Тимофеев Н. Б.\* (ntimofeev@secnrs.ru),  
Поляков Р. М.\* (rpolyakov@secnrs.ru)

Статья поступила в редакцию 28 ноября 2024 г.

### Аннотация

Современная парадигма нормирования выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух рассматривает источники выбросов как непрерывные, с характеристиками, практически не изменяющимися в течение года. На практике на ряде объектов использования атомной энергии в отдельные периоды времени в течение года, кроме непрерывных выбросов, могут происходить один или даже несколько случаев кратковременного повышенного выброса (например, при останове реактора с последующим его разуплотнением для ремонта и (или) перегрузки ядерного топлива). Допустимость таких выбросов в рамках принятой парадигмы не очевидна. В настоящей статье предложено и обосновано определение термина «кратковременный повышенный выброс» применительно к решаемой задаче, и сформулированы необходимые и достаточные условия для обеспечения учета кратковременных выбросов при установлении нормативов допустимых выбросов. Предложен подход к учету кратковременных повышенных выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух путем надлежащей корректировки годового выброса.

► **Ключевые слова:** радиоактивные вещества, выбросы радиоактивных веществ, кратковременный повышенный выброс, непрерывный выброс, нормативы допустимых выбросов, атмосферный воздух.

**Статья публикуется в порядке дискуссии.**

Редакция журнала будет признательна авторам статей с альтернативными мнениями по данному вопросу.

\* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия.

## ACCOUNTING FOR SHORT-TERM INCREASED AIRBORNE DISCHARGES IN THE LIMITATION OF DISCHARGES OF RADIOACTIVE SUBSTANCES INTO THE ATMOSPHERIC AIR

Kuryndin A. V.\*, Ph. D.,  
Shapovalov A. S.\*,  
Ivanov E. A.\*, Ph. D.,  
Timofeev N. B.\*,  
Polyakov R. M.\*

The article was received by the editors' crew on November 28<sup>th</sup> 2024.

### *Abstract*

*The modern paradigm of limitation of airborne discharges of radioactive substances considers sources of airborne discharges as continuous, with characteristics that remain virtually unchanged throughout the year. In practice, at some nuclear facilities, in addition to continuous airborne discharges, one or even several cases of short-term increased airborne discharges may occur at certain periods of time during the year (for example, when a reactor is shut down and then decompressed for repairs and/or reloading a nuclear fuel). The admissibility of such airborne discharges of radioactive substances within the accepted paradigm is not obvious. This article proposes and substantiates the definition of a "short-term increased airborne discharge" in relation to the problem being solved and formulates the necessary and sufficient conditions to ensure that short-term airborne discharges are considered when establishing the authorized limits of airborne discharges of radioactive substances. An approach to accounting for short-term increased airborne discharges by properly adjusting the continuous annual airborne discharges is proposed.*

► **Keywords:** *radioactive substances, airborne discharges of radioactive substances, short-time increased airborne discharges of radioactive substances, continuous airborne discharges of radioactive substances, authorized limits of airborne discharges of radioactive substances, atmospheric air.*

### **The article is being published for the discussion.**

The editors' crew of the journal would be grateful to the authors of articles with alternative opinions on this topic.

---

\* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia.

### Введение и постановка задачи

Выбросы радиоактивных веществ (РВ) во многом определяют радиационное воздействие объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) в условиях нормальной эксплуатации (НЭ) на население и окружающую среду (ОС). Основным регулирующим механизмом ограничения этого воздействия, принятым как в Российской Федерации [1, 2], так и за рубежом [3, 4], является установление нормативов выбросов РВ.

В настоящее время система нормативных требований в части разработки и установления нормативов выбросов РВ в ОС, сформированная в Российской Федерации в соответствии с [5–7], успешно выполняет свои функции. Так, Ростехнадзором утверждена Методика [8], а в развитие ее требований действует ряд концептуальных методических документов [9–12], что коренным образом изменило подходы к разработке и установлению нормативов выбросов РВ в ОС, как это показано в [13].

Вместе с тем, в соответствии с [14], к актуальным направлениям реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности отнесены вопросы дальнейшего совершенствования системы нормирования выбросов РВ в атмосферный воздух. Данное требование вполне обоснованно, поскольку наряду с достигнутыми успехами в рассматриваемой области существуют и нерешенные задачи. В режиме нормальной эксплуатации ОИАЭ к числу таких задач относится регулирование кратковременных выбросов РВ, производимых всего несколько раз в год, и совокупного воздействия кратковременных и непрерывных выбросов РВ на население и ОС.

Современная парадигма нормирования выбросов РВ в атмосферный воздух [8–12] преимущественно рассматривает источники выбросов как непрерывные, с характеристиками, практически не изменяющимися в течение года.

В ряде случаев отклонение от принципа стационарности (постоянства во времени) позволяет использовать современные методы расчета и обоснования нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) РВ в атмосферный воздух для подтверждения не превышения соответствующей дозовой квоты [15] (обязательность соблюдения этого критерия установлена в [8]). В частности, это возможно, когда мощность выброса радионуклидов в любой момент времени не превышает верхнюю границу среднегодовой мощности выброса РВ.

В случае одиночного источника это условие можно записать в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^N \frac{\dot{Q}_{T,i}(t)}{\bar{Q}_{T,i}} \leq 1, \quad \bar{Q}_{T,i} = \frac{\text{ПДВ}_i}{T}, \quad i = \overline{1, N}, \quad \forall t \in (0, T], \quad (1)$$

где:  $\dot{Q}_{T,i}(t)$  – мощность непрерывного выброса радионуклида  $i$  в момент времени  $t$ , Бк/с;

$\bar{Q}_{T,i}$  – верхняя граница среднегодовой мощности непрерывного выброса радионуклида  $i$ , Бк/с;

ПДВ $_i$  – ПДВ для радионуклида  $i$ , Бк/год;

$N$  – число радионуклидов в выбросе;

$T$  – период времени, равный одному году ( $3,15 \cdot 10^7$  с).

Исходя из указанного условия (1) можно дать определение кратковременного повышенного выброса – это выброс, мощность которого значительно превосходит верхнюю границу среднегодовой мощности выброса РВ, то есть:

$$I_{MD} = \sum_{i=1}^N \frac{\dot{Q}_{\tau,i}}{\bar{Q}_{T,i}} \geq k, \quad k \gg 1 \quad \text{при } \tau \ll T, \quad (2)$$

где:  $\tau$  – время действия (длительность) кратковременного выброса, с;

$\dot{Q}_{\tau,i}$  – мощность кратковременного выброса радионуклида  $i$ , Бк/с;

$k$  – безразмерный параметр.

Допустимость кратковременных повышенных выбросов в рамках принятой парадигмы нормирования неочевидна. В любом случае необходимо их ограничение сверху. В соответствии с [16, 17] кратковременный выброс РВ в течение суток не должен превышать 1 % максимальной годовой мощности источника ( $k = 3,65$ ), рассчитанной с учетом постоянной скорости выброса. Аналогичное требование в отношении кратковременных выбросов длительностью не более нескольких часов установлено в [8]. С учетом сказанного предлагается принять  $k = 3$ .

Вопрос об ограничении количества, общей длительности и активности кратковременных повышенных выбросов РВ в атмосферный воздух в течение года обсуждается ниже.

На практике, когда в отдельные периоды времени происходит один или даже несколько случаев кратковременного повышенного выброса (например, при останове реактора с последующим его разуплотнением для ремонта и (или) перегрузки ядерного топлива), условие (1) может нарушаться. Даже если ремонтные работы, потенциально способные привести к кратковременным повышенным выбросам, предусмотрены регламентом, время их осуществления обычно определяется производственной необходимостью, а не погодными и сезонными

условиями, что, как правило, не позволяет минимизировать их влияние на дозу облучения населения.

При этом необходимо, чтобы годовая эффективная доза облучения лиц из критической группы населения (группа лиц из населения не менее 10 чел., однородная по одному или нескольким признакам – полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника облучения [15]), с учетом выбросов обоих типов, не превышала установленную квоту  $E_{\delta}$  на облучение населения от выбросов РВ [8, 15].

Как уже отмечалось, в общем случае в рамках [8–12] решить такую задачу не представляется возможным. Для ее решения целесообразно адаптировать существующий подход к нормированию выбросов РВ в атмосферный воздух в условиях, когда фактический выброс состоит только из кратковременных выбросов или из непрерывного и кратковременного повышенного выбросов.

Таким образом, требуется подтверждение, что доза от кратковременных выбросов и от совокупного воздействия непрерывного и кратковременного повышенного выбросов РВ в атмосферный воздух не превысит квоту  $E_{\delta}$ . При этом вклад в дозу облучения населения от кратковременного выброса следует учесть путем надлежащей корректировки годового непрерывного выброса на основе применения [8–12, 18].

### Метод решения

Рассмотрим одиночный организованный источник, который основную часть (свыше 95 %) времени  $T$  ( $T = 1$  год) является непрерывным и небольшую часть времени  $\tau$  ( $\tau \ll T$ ) – кратковременным (такое условие позволяет рассмотреть и ситуацию с наличием исключительно только кратковременных выбросов), а в выбросе присутствует только один радионуклид. Изолированную группу близкорасположенных источников с похожим радионуклидным составом выбросов (типичным примером такой группы является атомная станция (АС), в состав которой входит несколько энергоблоков с отдельными выбросами РВ в атмосферу) также можно рассматривать как один источник [8]. В этом случае годовая эффективная доза облучения населения  $E$  за счет выброса исследуемого радионуклида из рассматриваемого источника в атмосферный воздух определяется как [12, 18]:

$$E = E_T + E_{\tau} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} E_T &= \psi_T \cdot Q_T = A_T \cdot \mathfrak{Z}_T, \\ \psi_T &= \mathfrak{Z}_T \cdot \bar{G}_T, \quad A_T = Q_T \cdot \bar{G}_T. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} E_{\tau} &= \psi_{\tau} \cdot Q_{\tau} = A_{\tau} \cdot \mathfrak{Z}_{\tau}, \\ \psi_{\tau} &= \mathfrak{Z}_{\tau} \cdot \bar{G}_{\tau}, \quad A_{\tau} = Q_{\tau} \cdot \bar{G}_{\tau}, \end{aligned} \quad (5)$$

где:  $E_T$  – годовая эффективная доза облучения критической группы населения за счет непрерывного выброса радионуклида в атмосферный воздух, Зв;

$E_{\tau}$  – эффективная доза облучения критической группы населения за счет кратковременного выброса (время действия источника  $\tau$ ) радионуклида в атмосферный воздух в течение года, Зв;

$Q_T$  – активность годового непрерывного выброса радионуклида, Бк;

$Q_{\tau}$  – активность кратковременного выброса радионуклида в течение года, Бк;

$\psi_T$  – функция перехода, связывающая величины  $E_T$  и  $Q_T$ , Зв/Бк;

$\psi_{\tau}$  – функция перехода, связывающая величины  $E_{\tau}$  и  $Q_{\tau}$ , Зв/Бк;

$\bar{G}_T$  – среднегодовой метеорологический фактор разбавления в приземном слое атмосферы,  $\text{с/м}^3$ ;

$\bar{G}_{\tau}$  – кратковременный метеорологический фактор разбавления в приземном слое атмосферы, осредненный за период времени  $\tau$ ,  $\text{с/м}^3$ ;

$A_T$  – временной интеграл (за время  $T$ ) приземной объемной активности радионуклида, обусловленной непрерывным выбросом,  $(\text{Бк}\cdot\text{с})/\text{м}^3$ ;

$A_{\tau}$  – временной интеграл (за время  $\tau$ ) приземной объемной активности радионуклида, обусловленной кратковременным выбросом,  $(\text{Бк}\cdot\text{с})/\text{м}^3$ ;

$\mathfrak{Z}_T$  – функция перехода, связывающая величины  $E_T$  и  $A_T$ ,  $(\text{Зв}\cdot\text{м}^3)/(\text{Бк}\cdot\text{с})$ ;

$\mathfrak{Z}_{\tau}$  – функция перехода, связывающая величины  $E_{\tau}$  и  $A_{\tau}$ ,  $(\text{Зв}\cdot\text{м}^3)/(\text{Бк}\cdot\text{с})$ .

Расчет величин  $\psi_T$ ,  $\mathfrak{Z}_T$  и  $\bar{G}_T$  проводится в соответствии с РБ-106-21 [12], а величины  $\psi_{\tau}$  и  $\mathfrak{Z}_{\tau}$  – в соответствии с РБ-134-17 [18]. Расчет величин  $\psi_T$  ( $\mathfrak{Z}_T$ ) и  $\psi_{\tau}$  ( $\mathfrak{Z}_{\tau}$ ) должен проводиться для одинаковых условий проживания населения (включая пищевой рацион). Следует отметить, что в [18] проводится расчет кратковременного метеорологического фактора разбавления в приземном слое атмосферы  $\bar{G}_{\tau_0}$ , осредненного за некий период времени  $\tau_0$ , и функции перехода  $\psi_{\tau_0}$ . Поэтому возникает дилемма: принять  $\bar{G}_{\tau_0}$  в качестве консервативной оценки  $\bar{G}_{\tau}$ , если  $\tau > \tau_0$ , или установить функциональную связь между этими величинами. Этот вопрос обсуждается ниже.

Из соотношений (3–5), с учетом [12, 18], получим критерий соблюдения квоты:

$$I = \frac{\bar{Q}}{\text{ПДВ}} \leq 1, \quad \bar{Q} = Q_T + \xi \cdot Q_\tau, \quad (6)$$

$$\xi = \frac{\Psi_{\tau, \max}}{\Psi_{T, \max}} = \frac{\bar{G}_{\tau, \max}}{\bar{G}_{T, \max}} \cdot \frac{\bar{S}_\tau}{\bar{S}_T}$$

В (6) консервативно принято, что несмотря на то, что критические точки на местности величин  $\bar{G}_{T, \max}$  и  $\bar{G}_{\tau, \max}$  могут не совпадать, при подсчете годовой дозы облучения критической группы населения суммируются максимальные дозы от непрерывного и кратковременного выбросов. Из анализа выражения (6) следует, что если активности кратковременного и годового непрерывного выбросов равны, то доза облучения от первого выброса будет в  $\xi$  раз больше, чем от второго. Из (3–6) можно получить верхнюю оценку кратковременного выброса:

$$\bar{Q}_\tau = \text{ПДВ} \cdot \xi^{-1}. \quad (7)$$

В [18] принята Гауссова модель атмосферной диффузии, в которой для коэффициентов дисперсии в вертикальном и горизонтальном направлениях распространения радиоактивного облака используются дисперсионные  $\sigma$ -кривые ( $\sigma_y$  и  $\sigma_z$ ). При расчетах по таким моделям, как правило, определяются концентрации, относящиеся к интервалу осреднения  $\tau_0 = 10$  мин [19], тогда как фактическая длительность  $\tau$  кратковременного повышенного выброса может находиться в диапазоне от нескольких часов до нескольких суток. В условиях, когда  $\tau \gg \tau_0$ , использование в соотношении (6) величины  $\bar{G}_{\tau_0, \max}$  [18] вместо  $\bar{G}_{\tau, \max}$  представляется чрезмерно консервативным.

При сравнении расчетных и измеренных (фактических) концентраций важное значение приобретает вопрос о влиянии продолжительности интервала времени, к которому относятся рассчитанные концентрации.

В [20–24] сделан вывод о том, что с возрастанием периода осреднения, в соответствии с расчетно-теоретическими и экспериментальными исследованиями, концентрации уменьшаются. При этом в [20] влияние периода осреднения исследовалось на основе решения уравнения атмосферной диффузии с одновременным учетом осреднения его коэффициентов. Численные оценки показали, что поле концентрации, описываемое принятым уравнением атмосферной диффузии, в предположении логарифмического представления вертикального профиля скорости ветра определяется действием вихрей сравнительно малого масштаба во временном интервале примерно (2–3) мин. Тогда решения

уравнения атмосферной диффузии будут находиться в определенном согласии с экспериментальными данными в случаях, когда пробы воздуха отбираются в течение нескольких минут и на сравнительно небольших расстояниях от источника, то есть при малом времени переноса примеси. В случае более высоких источников и при продолжительности забора проб в течение (20–30)-минутного интервала опытные данные оказываются значительно ниже расчетных.

В [21] приведены значения величин  $\sigma_z$  и  $\sigma_y$ , полученные для равнинной местности при времени отбора проб, равном 3 и 10 мин. Для расчета на основе этих величин концентраций, осредненных за больший период времени, рекомендуется использовать следующие поправочные коэффициенты [21]:

$$\left(\frac{3}{T_s}\right)^{0,5} \text{ для } 15 < T_s < 60 \text{ или}$$

$$\left(\frac{3}{T_s}\right)^{0,4} \text{ для } 60 < T_s < 240, \quad (8)$$

где  $T_s$  – время, требующееся для отбора проб, мин.

Указанные в соотношении (8) показатели степени основаны на результатах натуральных измерений.

В [21, 22] указывается на степенную зависимость концентрации от времени осреднения для высотных и наземных источников:

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{T_{s1}}{T_{s2}}\right)^{-n}, \quad (9)$$

где:  $A_1$  и  $A_2$  – концентрации, измеренные, соответственно, за время  $T_{s1}$  и  $T_{s2}$ ;

$n$  – показатель степени,  $n \in [0,2; 0,5]$  для наземных источников и  $n \in [0,12; 0,7]$  для высотных источников.

При изучении условий на одной из АЭС получено, что  $n$  менялось от 0,4 до 0,9 для периодов времени до двух недель и до одного года, соответственно [23].

Степенная зависимость между концентрациями  $q_T$  и  $q_\tau$ , осредненными, соответственно, за длинные и короткие периоды времени  $T$  и  $\tau$ , установлена в [24]. На основе экспериментальных значений отношений концентраций при различных периодах осреднения (таблица 3.7 [24]) обосновывается достоверность степенной зависимости при  $n = 0,2$  для длительных периодов осреднения (сутки, месяц, год).

Принимая во внимание сказанное, получим:

$$\frac{\bar{G}_{\tau, \max}}{\bar{G}_{\tau_0, \max}} = \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^{-n}, \quad \tau_0 < \tau \ll T. \quad (10)$$

Тогда выражение для величины  $\xi$  в (6) принимает вид:

$$\xi = \xi_0 \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^{-n}, \quad \xi_0 = \frac{\Psi_{\tau_0, max}}{\Psi_{T, max}} = \frac{\bar{G}_{\tau_0, max}}{\bar{G}_{T, max}} \cdot \frac{\bar{S}_{\tau}}{\bar{S}_T},$$

$$\tau_0 < \tau \ll T, \quad (11)$$

где расчет величин  $\bar{G}_{\tau_0, max}$  и  $\Psi_{\tau_0, max}$  проводится в соответствии с РБ-134-17 [18].

В предположении, что степенная зависимость между концентрациями сохраняется для длительных периодов осреднения (до года), оценка параметра  $n$  для конкретного района расположения ОИАЭ, осуществляющего выброс РВ, может быть выполнена по формуле:

$$n = - \frac{\ln\left(\frac{\bar{G}_{\tau_0, max}}{\bar{G}_{T, max}}\right)}{\ln\left(\frac{\tau_0}{T}\right)}. \quad (12)$$

Оценка параметра  $n$  может быть получена в рамках исследований, как это сделано в [24]. В общем случае в отсутствие априорной информации показатель степени  $n$  может быть принят равным 0,2 по нижней, наиболее жесткой, границе диапазона изменения его значений [25].

Рассмотрим ситуацию, когда в условиях одного источника и одного радионуклида возможно несколько кратковременных выбросов в течение года. В этом случае соотношение (6) можно записать в виде:

$$I = \frac{Q_T + Q_{\tau} \cdot \sum_{l=1}^L \xi_l \cdot \varepsilon_l^l}{\text{ПДВ}} \leq 1, \quad \xi_l = \xi_0 \cdot \left(\frac{\tau_l}{\tau_0}\right)^{-n},$$

$$\varepsilon_l^l = \frac{Q_l^l}{Q_{\tau}}, \quad \tau = \sum_{l=1}^L \tau_l, \quad Q_{\tau} = \sum_{l=1}^L Q_l^l, \quad \sum_{l=1}^L \varepsilon_l^l = 1, \quad (13)$$

где:  $Q_l^l$  – кратковременный выброс, Бк;  
 $\tau_l$  – длительность кратковременного выброса  $l$ , с;  
 $L$  – общее число кратковременных выбросов в течение года;

$Q_{\tau}$  – суммарная активность всех кратковременных выбросов в течение года, Бк;

$\tau$  – суммарная длительность всех кратковременных выбросов в течение года, с.

В соотношении (13) предполагается, что во время всех случаев кратковременных выбросов реализуются одинаковые наихудшие условия. Поэтому соотношение (13) представляется чрезмерно консервативным. Можно проиллюстрировать это на следующем примере.

Пусть  $\tau_l = \tau/L$ ;  $Q_l^l = Q_{\tau}/L$ . Тогда соотношение (13) можно записать в виде:

$$I = \frac{Q_T + Q_{\tau} \cdot \xi \cdot L^n}{\text{ПДВ}} \leq 1. \quad (14)$$

Из соотношения (13), например, следует, что доза облучения за счет трех кратковременных выбросов, суммарная активность и длительность которых одинакова и равна, соответственно, активности и длительности одного кратковременного выброса, примерно на 25 % больше (при  $n = 0,2$ ), чем в последнем случае.

С учетом того факта, что при расчете вклада в дозу от нескольких кратковременных выбросов принимается ряд очень консервативных предположений (все они происходят при наиболее опасном направлении ветра, в сезон вегетации и (или) сбора урожая и др.), можно для проверки соблюдения квоты в соотношении (6) в качестве  $Q_{\tau}$  и  $\tau$  принимать, соответственно, общую активность и длительность кратковременных выбросов в течение года.

Для учета реального перечня радионуклидов в выбросе критерий (6) следует записать в виде:

$$I = \sum_{i=1}^N \frac{\bar{Q}_i}{\text{ПДВ}_i} = I_T + I_{\tau} \leq 1, \quad \bar{Q}_i = Q_{T,i} + \xi_i \cdot Q_{\tau,i}. \quad (15)$$

$$I_T = \sum_{i=1}^N \frac{Q_{T,i}}{\text{ПДВ}_i}, \quad I_{\tau} = \sum_{i=1}^N \frac{\xi_i Q_{\tau,i}}{\text{ПДВ}_i}, \quad \xi_i = \xi_{0i} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^{-n},$$

$$\xi_{0i} = \frac{\Psi_{\tau_0, i, max}}{\Psi_{T, i, max}}, \quad \tau_0 < \tau \ll T. \quad (16)$$

Из соотношений (15 и 16) можно оценить влияние фактора осреднения на дозу облучения и вклад кратковременного выброса в годовую эффективную дозу:

$$\gamma = I_{\tau}/I. \quad (17)$$

Таким образом, возможность включения кратковременного повышенного выброса в существующую систему нормирования выбросов РВ в атмосферный воздух зависит от одновременного соблюдения двух критериев – необходимого и достаточного условий:

$$I_{\tau} \leq 1 - I_T \text{ и } I_{MD} \gg 1. \quad (18)$$

На практике, как правило, кратковременный повышенный выброс на ОИАЭ касается отдельных радионуклидов из числа контролируемых в выбросе. При остановках ядерного реактора и снижении давления создаются условия для выхода радиоизотопов йода из-под оболочек негерметичных твэлов в теплоноситель реактора. Из-за пульсаций давления теплоноситель попадает под оболочки негерметичных твэлов и испаряется, йод растворяется в паре и от пульсаций давления под оболочкой выталакивается в теплоноситель реактора. В результате “spike”-эффекта активность радиоизотопов йода в теплоносителе, например реактора ВК-50, может

вырасти на два-три порядка, по сравнению с уровнем на работающем реакторе: в 500–800 раз при 100 %-ном выходе из-под оболочек твэлов [26]. Значительный «всплеск» активности продуктов коррозии (ПК) в теплоносителе первого контура АС с реакторами типа ВВЭР возможен также при снижении мощности реактора и изменении концентрации борной кислоты. В этом случае активность ПК ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ) в теплоносителе первого контура возрастает в (20–50) раз [27, 28]. К кратковременному повышенному выбросу РВ могут приводить разгерметизация оболочек твэлов в активной зоне ядерного реактора, нарушения в работе вентиляционных систем, систем очистки технологических сред от продуктов деления (ПД) и ПК. При эксплуатации АС с ВВЭР существует вероятность нарушения плотности парогенераторов (повреждение теплообменных трубок и (или) коллекторов) по первому контуру, приводящая к поступлению (протечке) теплоносителя первого контура в воду парогенератора (ПГ) и рабочие среды второго контура. В случае превышения предела безопасной эксплуатации по протечке теплоносителя первого контура и по допустимой удельной активности  $^{131}\text{I}$  в продувочной воде ПГ возможно повышенное поступление РВ в помещения второго контура и в ОС [29].

Рассмотрим гипотетический (консервативный) случай, когда радиоизотопный состав ПД и ПК непрерывного и кратковременного выбросов стабилен и одинаков. Тогда активность кратковременного выброса можно представить в виде:

$$Q_{\tau,i} = \varepsilon_i \cdot Q_{\tau}, \quad Q_{\tau} = \sum_{i=1}^N Q_{\tau,i},$$

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = 1, \quad i = \overline{1, N}, \quad (19)$$

где:  $Q_{\tau,i}$  – кратковременный выброс радионуклида  $i$ , Бк;  
 $\varepsilon_i$  – относительный вклад радионуклида  $i$  в суммарный радиоактивный выброс, Бк;

$Q_{\tau}$  – кратковременный суммарный выброс радионуклидов, Бк.

С учетом (19) выражение для индекса кратковременного выброса в (16) приобретает вид:

$$I_{\tau} = Q_{\tau} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\xi_i \cdot \varepsilon_i}{\text{ПДВ}_i} = Q_{\tau} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\Psi_{\tau,i,max} \cdot \varepsilon_i}{\text{ПДВ}_i \cdot \Psi_{T,i,max}} =$$

$$= \frac{Q_{\tau}}{E_{\delta}} \cdot \sum_{i=1}^N \Psi_{\tau,i,max} \cdot \varepsilon_i \leq 1 - I_T. \quad (20)$$

Из (20) получим верхнюю оценку величины  $\bar{Q}_{\tau}$ :

$$\bar{Q}_{\tau} = E_{\delta} \cdot \Omega, \quad \Omega = \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^n \cdot \Omega_0,$$

$$\Omega_0 = \left[ \sum_{i=1}^N \Psi_{\tau_0,i,max} \cdot \varepsilon_i \right]^{-1}, \quad \bar{Q}_{\tau} \rightarrow E_{\delta}. \quad (21)$$

Тогда из (19) с учетом (21) можно получить верхние оценки величин  $\{Q_{\tau,i}\}$ :

$$\bar{Q}_{\tau,i} = \varepsilon_i \cdot E_{\delta} \cdot \Omega = \varepsilon_i \cdot \text{ПДВ}_i \cdot \Psi_{T,i,max} \cdot \Omega, \quad i = \overline{1, N}. \quad (22)$$

Из соотношения (22) можно получить:

$$\bar{k}_{i,\tau,T} = \frac{\bar{Q}_{\tau,i}}{\bar{Q}_{T,i}} = \varepsilon_i \cdot \Psi_{T,i,max} \cdot \Omega \cdot \frac{T}{\tau},$$

$$\bar{Q}_{T,i} = \frac{\text{ПДВ}_i}{T}, \quad \bar{Q}_{\tau,i} = \frac{\bar{Q}_{\tau,i}}{\tau}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (23)$$

или:

$$\bar{k}_{i,\tau,T} = E_{\delta} \cdot \frac{\varepsilon_i}{\text{ПДВ}_i} \cdot \Omega \cdot \frac{T}{\tau}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (24)$$

где  $\bar{Q}_{\tau,i}$  – верхняя граница мощности кратковременного выброса радионуклида  $i$ .

Величина  $\bar{k}_{i,\tau,T}$  в соотношениях (23, 24) показывает, во сколько раз мощность кратковременного (длительностью  $\tau$ ) выброса радионуклида  $i$  может превысить верхнюю границу среднегодовой мощности непрерывного выброса этого радионуклида в атмосферный воздух при соблюдении квоты.

Исходя из (24) верхняя граница критерия для кратковременного повышенного выброса (2) принимает вид:

$$\bar{I}_{MD} = \frac{T}{\tau} \cdot E_{\delta} \cdot \Omega \cdot \theta \gg 1, \quad \theta = \sum_{i=1}^N \frac{\varepsilon_i}{\text{ПДВ}_i}. \quad (25)$$

В качестве примера рассмотрим допустимость кратковременного повышенного выброса ПД и ПК для Калининской АЭС ( $E_{\delta} = 2 \cdot 10^{-4} \text{Зв} \cdot \text{год}^{-1}$ ) с учетом сделанных предположений о подобии радиоизотопных составов обоих типов выбросов в атмосферный воздух. На Калининской АЭС эксплуатируется несколько близкорасположенных источников с похожими по составу выбросами ПД и ПК в атмосферу, поэтому их можно рассматривать как один источник [8]. По указанной причине в таблице 7.2.1 [30] приведены годовые выбросы нормированных радионуклидов в целом по станции, без разбивки на отдельные источники.

По данным, приведенным в [30], оценки входящих в (25) величин составляют:

$$\Omega_0 = 8,43 \cdot 10^{17} \text{Бк} \cdot \text{Зв}^{-1},$$

$$\theta = 5,48 \cdot 10^{-16} \text{год} \cdot \text{Бк}^{-1}. \quad (26)$$

Следует особо отметить, что указанная в (26) оценка величины  $\theta$  значительно (в несколько раз) завышена, ввиду того, что в [30] в качестве нормативов выбросов ПД и ПК используются значения, приведенные в таблице 5.3 (ДВ<sub>СП АС-03</sub>) и п. 5.15 (ПДВ<sub>СП АС-03</sub>) СП АС-03 [31], а не рассчитанные исходя из [9–12]. По исторически сложившейся практике (до вступления в силу [5]) нормативы ПДВ для АС устанавливались в соответствующих санитарных правилах (например, в [31]). В настоящее время в отсутствие пересмотра [31] при установлении нормативов ПДВ учитываются как требования этого документа, так и результаты, полученные с использованием методик [9–12]. Это не только не логично (принципы нормирования и принятые допущения в этих документах существенно различны (несовместимы друг с другом), но и приводит в ряде случаев к неоправданно консервативным (заниженным) оценкам величин ПДВ.

Выбросу отдельного радионуклида на уровне ПДВ<sub>СП АС-03</sub> соответствует доза значительно меньше  $E_8$ . Это связано с тем, что дозовая квота, согласно [31], может быть достигнута при одновременном выбросе смеси радионуклидов, указанных в таблице 5.3 [31], а не отдельного радионуклида, как в [9, 10].

Из (21 и 25), с учетом (26), получим:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{MD} &= 0,0924 \cdot \frac{T}{\tau} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^n, \\ \bar{Q}_\tau &= 1,69 \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^n \cdot 10^{14} \text{ Бк}. \end{aligned} \quad (27)$$

При  $\tau = 1$  сут,  $T = 365$  сут без учета фактора осреднения ( $n = 0$ ) получим:

$$\bar{I}_{MD} \approx 34 \gg 1, \quad \bar{Q}_\tau = 1,69 \cdot 10^{14} \text{ Бк}, \quad (28)$$

а с учетом фактора осреднения (при  $n = 0,2$  и  $\tau_0 = 10$  мин) будем иметь:

$$\bar{I}_{MD} = 91 \gg 1, \quad \bar{Q}_\tau = 4,57 \cdot 10^{14} \text{ Бк}. \quad (29)$$

При указанном кратковременном (в течение одних суток) выбросе  $\bar{Q}_\tau$  и принятых предположениях может быть достигнута квота  $E_8$ .

Для сравнения заметим, что в 2023 г. годовой суммарный выброс ПД и ПК с Калининской АЭС составил  $3,44 \cdot 10^{12}$  Бк [30] (такому выбросу ПД и ПК источниками Калининской АЭС в атмосферу соответствует верхняя оценка годовой эффективной дозы облучения населения, равная нескольким

долям микрозиверта [30]; сделать более точную оценку на основе [30] не представляется возможным), что без учета фактора осреднения примерно в 49 раз, а с учетом этого фактора – в 132 раза меньше, чем  $\bar{Q}_\tau$ .

Таким образом, при сделанном выше гипотетическом (консервативном) предположении о подобии радиоизотопных составов обоих типов выбросов ПД и ПК показана принципиальная допустимость кратковременного повышенного выброса ПД и ПК с Калининской АЭС в атмосферный воздух при соблюдении критериев (18).

Следует отметить, что ввиду того, что оценка величины  $\theta$  завышена, завышенной в несколько раз оказывается и оценка величины  $\bar{I}_{MD}$ . Это обстоятельство качественно не влияет на сделанный вывод.

Как было отмечено, ОИАЭ, в состав которого входит несколько близкорасположенных источников (в отсутствие неорганизованных источников) с похожими по составу выбросами РВ в атмосферу, можно рассматривать как один источник [8]. В этом случае можно использовать метод объединения источников [9–11]. В тех случаях, когда это невозможно или нецелесообразно, обобщение предложенного подхода на случай нескольких источников не представляет принципиальных затруднений.

## Заключение

Показана принципиальная возможность распространить современную парадигму нормирования выбросов РВ в атмосферный воздух на случай, когда наряду с непрерывным выбросом возможен кратковременный повышенный выброс или производятся только кратковременные выбросы.

Дано определение кратковременного повышенного выброса РВ в атмосферный воздух применительно к решаемой задаче. Сформулированы необходимые и достаточные условия включения кратковременного выброса в существующую систему нормирования выбросов РВ в атмосферный воздух.

Предложен подход к учету кратковременных повышенных выбросов РВ в атмосферный воздух путем надлежащей корректировки годового выброса в методике расчета и обоснования нормативов ПДВ.

Представляется целесообразным использовать разработанный подход при совершенствовании системы нормирования выбросов РВ в атмосферный воздух.

## Литература

1. Об охране окружающей среды: Федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
2. Об охране атмосферного воздуха: Федер. закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ.
3. Радиационная защита и безопасность радиационных источников. Основные требования безопасности GSR Part 3. – МАГАТЭ, Вена, 2015.
4. Регулирующий контроль радиоактивных сбросов в окружающую среду. Специальное руководство по безопасности № GSG-9. – МАГАТЭ, Вена, 2018.
5. О внесении изменений в некоторые постановления Правительства Российской Федерации по вопросам полномочий Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования и Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 13.09.2010 № 717.
6. Об утверждении Правил разработки и установления нормативов допустимых выбросов радиоактивных веществ, нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ, а также выдачи разрешений на выбросы радиоактивных веществ, разрешений на сбросы радиоактивных веществ: постановление Правительства Российской Федерации от 02.02.2024 № 99.
7. О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 № 401.
8. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (ПДВ-2012): утв. приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639.
9. МТ 1.2.5.05.0161-2013. Методика расчета предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ с атомных станций в атмосферу (ПДВ АС-2013): введ. в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 16.07.2013 № 9/656-П.
10. МТ 1.2.1.15.1176-2016. Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух (ПДВ АС-2016): введ. в действие приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 29.12.2016 № 9/1786-П.
11. Методические рекомендации по расчету нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций Госкорпорации «Росатом»: утв. распоряжением Госкорпорации «Росатом» от 15.07.2014 № 1-1/310-р.
12. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (РБ-106-21): утв. приказом Ростехнадзора от 30.08.2021 № 288.
13. Курындин А. В., Шаповалов А. С., Орлов М. Ю., Иванов Е. А., Строганов А. А., Тимофеев Н. Б. Соответствие между размерами санитарно-защитной зоны и предельно допустимыми выбросами радиоактивных веществ атомных станций в атмосферу // Ядерная и радиационная безопасность. 2024. № 2 (112). С. 5–16. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.112.2.001.
14. Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 № 585.
15. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (с Изм. № 1 от 16.09.2013 № 43).
16. Общие модели для использования при оценках воздействия выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. Серия отчетов по безопасности SRS № 19. – МАГАТЭ, Вена, 2001.
17. Heinemann K., Vogt K. J. (1980). Statistical studies on the limitation of short-time releases from nuclear facilities / Congress of the International Radiation Protection Association (Proc. 5th Congr. Jerusalem, 1980), Vol. 2. IRPA, Washington, DC, pp. 67–70.
18. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы оценки и прогнозирования радиационных последствий аварий на объектах ядерного топливного цикла (РБ-134-17): утв. приказом Ростехнадзора от 16.11.2017 № 479.

19. Руководящий документ. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ при аварийных выбросах. РД 52.18.717-2009: утв. заместителем руководителя Роскомгидромета 30.07.2009.
20. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1985.
21. Brun J., Hugon J., Le Quinio R. (1974). Influence de la durée d'exposition sur l'évaluation des coefficients de diffusion atmosphérique / On Physical Behaviour of radioactive contaminants in the atmosphere (Proc. Symp. Vienna, 1973). IAEA, Vienna.
22. Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций. Руководство по безопасности № 50-SG-S3. – МАГАТЭ, Вена, 1980.
23. Sphirvaikar V. V., Patel P. R. (1977). Long term statistics of peak/mean concentrations from a point source. Atmos. Environ. V. 11.
24. Теверовский Е. Н., Артемова Н. Е., Бондарев А. А. и др. Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в атмосферу. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
25. Методы расчета распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и доз облучения населения. – М.: НТД МХО Интератомэнерго, 1992.
26. Курский А. С., Калыгин В. В., Семидоцкий И. И. Методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов на корпусном кипящем реакторе ВК-50 // Вестник ИГЭУ, вып. 1, 2014.
27. Тяпков В. Ф., Мальков С. Е. и др. Анализ ведения водно-химических режимов АЭС с ВВЭР и основные направления их совершенствования / Сб. докладов Международного научно-технического совещания «Водно-химический режим АЭС». – М., 2005.
28. Шарафутдинов Р. Б., Кавун О. Ю., Харитонов Н. Л., Репников Н. Ф. Расчетная оценка накопления радионуклидов на фильтрах системы обессоливания турбинного конденсата для установления допустимой протечки теплоносителя в парогенераторах АЭС с ВВЭР-1000 // Ядерная и радиационная безопасность. 2012. № 1 (63). С. 19–22.
29. Иванов Е. А., Пырклов И. В., Шестаков Ю. М. Основные направления повышения радиационной безопасности на атомных станциях ФГУП «Концерн «Росэнергоатом» / Атомные электростанции России / Сборник Концерна «Росэнергоатом», 2007.
30. Отчет по экологической безопасности Калининской АЭС за 2023 г. – URL: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/5b6/5b68864ed255439774e0fb2126b3eea0.pdf> (дата обращения: 02.12.2024).
31. СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03): утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.04.2003.

## References

1. Feder. zakon ot 10.01.2002 No. 7-FZ “Ob okhrane okruzhayushchei sredy” [Federal law of 10.01.2002 No.7-FZ “On environmental protection”]. 2002.
2. Feder. zakon ot 04.05.1999 No. 96-FZ “Ob okhrane atmosfernogo vozdukha” [Federal law of 04.05.1999 No. 96-FZ “On atmospheric air protection”]. 1999.
3. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. General safety requirements Part 3. IAEA, Vienna, 2015.
4. Regulatory control of radioactive discharges to the environment. General safety guide No. GSG-9. IAEA, Vienna, 2018.
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 13.09.2010 No. 717 “O vnesenii izmeneniy v nekotoriye postanovleniya Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii po voprosam Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii, Federal'noy sluzhby po nadzoru v sfere prirodopolzovaniya i Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru” [The Russian Federation Government decree of 13.09.2010 No. 717 “On amendments to certain decrees of the Russian Federation Government on the powers of the Ministry of natural resources and ecology of Russian Federation, the Federal Service for supervision of natural resources and the Federal environmental, industrial and nuclear supervision service”]. 2010.
6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 02.02.2024 No. 99 “Ob utverzhdenii Pravil razrabotki i ustanovleniya normativov dopustimyykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv, normativov dopustimyykh sbrosov radioaktivnykh veshchestv, a takzhe o vydache razreshenii na vybrosoy radioaktivnykh veshchestv, razreshenii na sbrosy radioaktivnykh veshchestv” [The Russian Federation Government Decree of 02.02.2024 No. 99 “On the approval

of Rules for the development and establishment of limits for radioactive airborne effluents, limits for radioactive liquid effluents, as well as the issuance of authorizations for radioactive discharges”]. 2024.

7. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 30.07.2004 No. 401 “O Federal'noy sluzhbe po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru” [The Russian Federation Government Decree of 30.07.2004 No. 401 “On the Federal environmental, industrial and nuclear supervision service”]. 2004.

8. Metodika razrabotki i ustanovleniya normativov predel'no dopustimykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosferyni vozdukh [Methodology for developing and setting limits for radioactive airborne effluents]. 2012.

9. MT 1.2.5.05.0161-2013 “Metodika rascheta predel'no dopustimykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv s atomnykh stanciy v atmosferu” (PDV AS-2013) [MT 1.2.5.05.0161-2013 “Methodology for calculating of airborne discharge limits of radioactive substances from nuclear power plants to atmosphere” (PDV AS-2013)]. 2013.

10. MT 1.2.1.15.1176-2016 “Razrabotka i ustanovleniye normativov predel'no dopustimykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv atomnykh stanciy v atmosferyni vozdukh”. Metodika [MT 1.2.1.15.1176-2016 “Development and establishment of airborne discharge limits of radioactive substances from nuclear power plants into the atmospheric air”. Methodology]. 2016.

11. Metodicheskiye rekomendacii po raschetu normativov predel'no dopustimykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv iz organizovannykh istochnikov v atmosferniy vozdukh primenitel'no dlya organizatsiy Goskorporatsii “Rosatom” [Methodological recommendations for calculating of airborne discharge limits of radioactive substances from organized sources into the atmospheric air in relation to organizations of the State Corporation “Rosatom”]. 2014.

12. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomenduemye metody rascheta parametrov, neobkhodimyykh dlya razrabotki i ustanovleniya normativov predel'no dopustimykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosferyni vozdukh” (RB-106-21) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommended methods for calculation of parameters necessary to develop and establish limits for discharges of radioactive substances into atmosphere” (RB-106-21)]. 2021.

13. Kuryndin A. V, Shapovalov A. S., Orlov M. Yu., Ivanov E. A., Stroganov A. A., Timofeev N. B. (2024). Sootvetstviye mezhdru razmerami sanitarno-zashitnoy zony i predel'no dopustimymi vybrosami radioaktivnykh veshchestv atomnykh stanciy v atmosferu [Conforming between the size of the buffer zone and airborne discharge limits]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal*, No. 2 (112), pp. 5–16. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.112.2.001.

14. Osnovy gosudarstvennoi politiki v oblasti obespecheniya yadernoi i radiatsionnoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii na period do 2025 goda i dal'neishuyu perspektivu: utverzhdeny ukazom Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 13.10.2018 No. 585 [Decree of the President of Russian Federation of 13.10.2018 No. 585 “On the endorsement of the Fundamentals of the state policy in the sphere of ensuring nuclear and radiation safety of the Russian Federation for the period up to 2025 and further perspective”]. 2018.

15. Sanitarniye pravila SP 2.6.1.2612-10 “Osnovniye sanitarniye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti” (OSPORB-99/2010) [Sanitary rules and regulations SP 2.6.1.2612-10 “Basic sanitary rules for ensuring radiation safety” (OSPORB-99/2010)]. 2010.

16. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety reports series No. 19. – IAEA, Vienna, 2001.

17. Heinemann K., Vogt K. J. (1980). Statistical studies on the limitation of short-time releases from nuclear facilities / Congress of the International Radiation Protection Association (Proc. 5th Congr. Jerusalem, 1980), Vol. 2. IRPA, Washington, DC, pp. 67–70.

18. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomenduemye metody ocenki i prognozirovaniya radiatsionnykh posledstviy avariyn na objektah yadernogo toplivnogo cikla” (RB-134-17) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommended methods for assessing and predicting radiation consequences of accidents at nuclear fuel cycle facilities” (RB-134-17)]. 2017.

19. RD.52.18.717-2009 “Metodika rascheta rasseyniya zagryaznyaushikh veshchestv pri avariynnykh vybrosakh” [Methodology for calculating the dispersion of pollutants during emergency airborne discharges]. 2009.

20. Berlyand M. E. (1985). Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery [Forecast and regulation of air pollution]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].

21. Brun J., Hugon J., Le Quinio R. (1974). Influence de la durée d'exposition sur l'évaluation des coefficients de diffusion atmosphérique / On Physical Behaviour of radioactive contaminants in the atmosphere (Proc. Symp. Vienna, 1973). IAEA, Vienna.
22. Atmospheric dispersion in nuclear power plant siting. A safety guide. Safety series No. 50-SG-S3, IAEA, Vienna, 1980.
23. Sphirvaikar V. V., Patel P. R. (1977). Long term statistics of peak/mean concentrations from a point source. Atmos. Environ. V. 11.
24. Teverovsky E. N., Artemova N. E., Bondarev A. A., et al. (1985). Dopustimiye vybrosy radioaktivnykh i khimicheskikh veshestv v atmosphere [Permissible discharges of radioactive and chemical substances into the atmosphere]. Moscow: Energoatomizdat. [in Russian].
25. (1992). Metody rascheta rasprostraneniya radioaktivnykh veshestv v okruzhayushey srede i doz oblucheniya naseleniya [Methods for calculating the spread of radioactive substances in the environment and population radiation doses]. Moscow: MHO Interatomenergo. [in Russian].
26. Kurskiy A. S., Kalygin V. V., Semidockiy I. I. (2014). Metody kontrolya germetichnosti obolochek teplovydelyaushikh elementov na korpusnom kipiyashem reaktore VK-50 [Methods for control the tightness of the fuel element shells in the VK-50 boiling water reactor]. Vestnik IGEU, No. 1. [in Russian].
27. Tyapkov V. F., Mal'kov S. E. et al. (2005). Analiz vedeniya vodno-khimicheskikh rezhimov AES s VVER i osnovniye napravleniya ih sovershenstvovaniya [Analysis of water chemistry regimes management at NPPs with WWER and main directions for their improvement]. Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo soveshchaniya "Vodno-khimicheskii rezhim AEHS" – Digest of reports of the international scientific and technical conference "Water chemical regime of NPP". Moscow. [in Russian].
28. Sharafutdinov R. B., Kavun O. Yu, Kharitonova N. L., Repnikov N. F. (2012). Raschetnaya ocenka nakoleniya radionuclidov na filtrakh sistemy obessolivaniya turbinnogo kondensata dlya ustanovleniya dopustimoy protechki teplonositelya v parogeneratorakh AES s VVER-1000 [Estimated assessment of radionuclide accumulation on filters of turbine condensate desalination system to establish permissible coolant leakage in steam generators of NPPs with WWER-1000]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 1 (63), pp. 19–22. [in Russian].
29. Ivanov E. A., Pyrkov I. V., Shestakov Yu. M. (2007). Osnovniye napravleniya povysheniya radiacionnoy bezopasnosti na atomnykh stanciyakh FGUP "Koncern Rosenergoatom" / Atomnye electrostancii Rossii [Main directions of increasing radiation safety at nuclear power plants of FSUE "Concern Rosenergoatom" / Nuclear power plants of Russia]. Sbornik Koncerna "Rosenergoatom" – Digest of "Concern Rosenergoatom". [in Russian].
30. Report on ecological safety of Kalinin NPP for 2023. – URL: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/5b6/5b68864ed255439774e0fb2126b3eea0.pdf> (reference date: 02.12.2024).
31. SanPiN 2.6.1.24-03 "Sanitarniye pravila proektirovaniya i ekspluatatsii atomnykh stanciy" (SP AS-03) [Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.24-03 "Sanitary rules for the design and operation of nuclear power plants" (SP AS-03)]. 2003.

### Сведения об авторах

*Курындин Антон Владимирович*, руководитель отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Шапалов Альберт Сергеевич*, начальник отдела аварийной готовности и радиационной защиты отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Иванов Евгений Анатольевич*, главный научный сотрудник отдела аварийной готовности и радиационной защиты отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Тимофеев Николай Борисович*, начальник лаборатории радиационной защиты отдела аварийной готовности и радиационной защиты отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Поляков Роман Максимович*, научный сотрудник лаборатории аварийной готовности и реагирования отдела аварийной готовности и радиационной защиты отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

#### Authors credentials

*Kuryndin Anton Vladimirovich*, Head of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: kuryndin@secnrs.ru.

*Shapovalov Albert Sergeevich*, Head of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: shapovalov@secnrs.ru.

*Ivanov Evgeny Anatolievich*, Chief Scientific Researcher of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: ivanov@secnrs.ru.

*Timofeev Nikolay Borisovich*, Head of Laboratory of Radiation Protection of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: ntimofeev@secnrs.ru.

*Polyakov Roman Maksimovich*, Researcher of Laboratory of Emergency Preparedness and Response of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: rpolyakov@secnrs.ru.

#### Для цитирования

*Курындин А. В., Шаповалов А. С., Иванов Е. А., Тимофеев Н. Б., Поляков Р. М.* Учет кратковременных повышенных выбросов при нормировании выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух // Ядерная и радиационная безопасность. 2024. № 4 (114). С. 67–79. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.114.4.005.

#### For citation

*Kuryndin A. V., Shapovalov A. S., Ivanov E. A., Timofeev N. B., Polyakov R. M.* (2024). Uchet kratkovremennykh povyshennykh vybrosov pri normirovanii vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosfernyi vozdukh [Accounting for short-term increased airborne discharges in the limitation of discharges of radioactive substances into the atmospheric air]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 4 (114), pp. 67–79. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.114.4.005.

