

общая радиотоксичность за первые 50 лет трансмутации снижается в 50 раз (главным образом за счет трансмутации ^{244}Cm). В следующие периоды она определяется, в основном, ^{252}Cf , ^{246}Cm и ^{250}Cf . Суммарная радиотоксичность долгоживущих нуклидов снижается медленно, она уменьшается в 3,2 раза через каждые 50 лет трансмутации.

Использование высокопоточных трансмутационных реакторов на стадии стационарной трансмутации обеспечивает более низкую стационарную массу актиноидов. Это облегчает трансмутацию на заключительной стадии. Если высокопоточные трансмутационные реакторы применяются на заключительной стадии трансмутации, то сокращается время трансмутации. Применение высокопоточных трансмутационных реакторов на стационарной и заключительной стадиях обеспечивает наиболее эффективную трансмутацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Киселев Г.В., Мырцымова Л.А. Циклический режим трансмутации младших актиноидов в тяжеловодном реакторе. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2001, вып. 3, с. 3—10.
2. Колобашкин В.М., Рубцов П.М., Ружанский П.А., Сидоренко В.Д. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). М., Минздрав России, 1999.

Поступила в Редакцию 16.10.02

УДК 621.039.7

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ СБРОСОВ РАДИОНУКЛИДОВ В ОТКРЫТЫЙ ВОДОЕМ

*Лобачева Н.А., Соболев И.А., Турлак Е.А. (ГУП МосНПО «Радон»),
Полуэктов П.П. (ФГУП ВНИИНМ им. А.А. Бочвара)*

Совершенствование экономического механизма охраны окружающей природной среды определено в качестве одной из первостепенных задач устойчивого развития страны [1, 2]. Основным принципом устойчивого развития является соблюдение баланса между темпами экономического развития и охраной окружающей среды и, как следствие, внедрение экологически надежных, сберегающих ресурсы и минимально загрязняющих окружающую среду технологических процессов. Решением этой проблемы является создание универсального механизма определения оценки ущерба природным ресурсам и сравнительного анализа соотношения между наносимым и предотвращенным в результате хозяйственной деятельности предприятия ущербом.

В настоящей статье приведены методология оценки ущерба от сбросов радиоактивных веществ в открытый водоем в результате производственной деятельности МосНПО «Радон» в 1999 г. и результаты анализа соотношения фактического и потенциального ущерба в случае сброса сточных вод с разрешенной и максимально разрешенной активностью, а также сравнительного анализа наносимого и предотвращенного ущерба.

Экономический ущерб от сбросов радионуклидов в проточное озеро в русле р. Куньи оценен на основе методик [3, 4]. Первая из них была разработана на основе [5] и учитывала распространение радионуклидов в водной среде, их радиотоксичность и другие факторы воздействия радиоактивных веществ на население и окружающую среду, в том числе их поступление в организм по пищевым цепочкам, пребывание населения на слабозагрязненной территории. В соответствии с указанными методиками в качестве реперного радионуклида выбран тритий (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Экономический ущерб на единицу активности сбросов радионуклидов [3, 4]

Радионуклид	Показатель относительной активности радионуклида, усл. Ки/Ки	Условный удельный ущерб, руб./усл. Ки (на 1.01.1987 г.)	Удельный ущерб от сброса радионуклида, руб./Ки (на 1.01.1998 г.)
^3H	$\equiv 1$	0,09	2,18
^{60}Co	$9,2 \cdot 10^2$	0,09	$2,01 \cdot 10^3$
^{90}Sr	$2,14 \cdot 10^4$	0,09	$4,67 \cdot 10^4$
^{137}Cs	$1,22 \cdot 10^4$	0,09	$2,66 \cdot 10^4$
^{125}I	$1,7 \cdot 10^3$	0,09	$3,71 \cdot 10^3$
^{131}I	$2,55 \cdot 10^2$	0,09	$5,57 \cdot 10^2$

Ущерб рассчитывали по формулам

$$U_{cl} = \sigma_k \gamma_c a_{cl} q_{cl};$$

$$U_c = \sigma_k \gamma_c Q_c,$$

где U_{cl} — экономический ущерб от сброса радионуклида l в водные объекты, руб.; σ_k — константа, характеризующая k -й водохозяйственный участок, отн.ед.; γ_c — условный удельный ущерб сброса радионуклида, руб./усл. МБк; a_{cl} — показатель относительной активности сброса l -го радионуклида, усл. МБк/МБк; q_{cl} — фактическая активность годового сброса МосНПО «Радон» l -го радионуклида, МБк/год; U_c — суммарная оценка экономического ущерба от сброса сточных вод, руб.; Q_c — приведенная активность годового сброса радионуклидов в k -й водохозяйственный участок в связи с деятельностью предприятия, усл. МБк/год.

Принимая во внимание, что $Q_c = \sum_l a_{cl} q_{cl}$, получаем $U_c = \sigma_k \gamma_c \sum_l a_{cl} q_{cl} = \sigma_k \sum_l (\gamma_c a_{cl}) q_{cl}$.

Используем замену

$$P_{cl} = \gamma_c a_{cl},$$

где P_{cl} — удельный ущерб от сброса МосНПО «Радон» l -го радионуклида в открытый водоем, руб./МБк. Тогда

$$U_{cl} = \sigma_k P_{cl} q_{cl}; \quad (1)$$

$$U_c = \sum_l U_{cl} = \sigma_k \sum_l P_{cl} q_{cl}. \quad (2)$$

Таким образом, для оценки ущерба от сбросов радиоактивных веществ в водоем в результате производственной деятельности любого предприятия необходимо иметь следующие данные: константу, характеризующую k -й водохозяйственный участок, удельный ущерб от сброса l -го радионуклида в открытый водоем и фактическую активность годового сброса l -го радионуклида. В соответствии с методикой [5] константа соответствует максимальному значению для центрального региона, т.е. $\sigma_k = 0,91$. Радионуклидный состав и активность сточных вод, сброшенных предприятием, взяты из радиационно-гигиенического паспорта предприятия [6] (табл. 2). Условный удельный и удельный ущерб рассчитаны на основе методик [3, 4] (табл. 3). Коэффициент деминации k для пересчета удельного ущерба в цены на 1 января 1998 г. получен из методики [3], в цены на 1.01.1999 г. — исходя из курса доллара США на дату проведения расчета ($k = 20/6 \sim 3,3$). Таким образом, условный удельный ущерб от сброса на 1 января 1987, 1998 и 1999 гг. составляет $2,4 \cdot 10^{-6}$, $5,9 \cdot 10^{-5}$ и $1,95 \cdot 10^{-4}$ руб./усл. МБк соответственно.

Т а б л и ц а 2. Радионуклидный состав сточных вод МосНПО «Радон»

Радионуклид	Показатель относительной активности радионуклида (токсичность), усл. МБк/МБк	Содержание, %	Фактический годовой сброс [6]		Доля допустимого сброса в предельно допустимом
			В долях предельно допустимого сброса	В долях допустимого сброса	
^3H	$\equiv 1$	—	—	—	—
^{90}Sr	$2,14 \cdot 10^4$	10,6	0,06	0,37	0,16
^{137}Cs	$1,22 \cdot 10^4$	20	0,14	0,96	0,16
Прочие	$2,14 \cdot 10^4$	69,4	0,08	0,54	0,16

Т а б л и ц а 3. Оценка ущерба от сбросов радионуклидов МосНПО «Радон» в открытый водоем

Радионуклид	Содержание, %	Условный удельный ущерб на 1.01.1987 г., руб./усл. МБк	Удельный ущерб, руб./МБк		Фактический ущерб за 1999 г., руб.	Потенциальный ущерб, руб.	
			на 1.01.1998 г.	на 1.01.1999 г.		от допустимого сброса радионуклида	от предельно допустимого сброса радионуклида
^3H	0	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-4}$	0	0	0
^{90}Sr	10,6	$2,4 \cdot 10^{-6}$	1,26	4,158	229,4	624,3	3897,3
^{137}Cs	20	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,72	2,376	249	259,5	1621
Прочие	69,4	$2,4 \cdot 10^{-6}$	1,26	4,158	1508,8	2781,1	17 329,7

Расчет фактического ущерба по каждому радионуклиду (см. уравнение (1)) с подстановкой необходимых коэффициентов из табл. 1—3 дает следующие результаты: $^{90}\text{Sr} \sim 230$ руб., $^{137}\text{Cs} \sim 249$ руб., прочие ~ 1508 руб. При расчете ущерба от прочих нуклидов использовали максимальный удельный ущерб от ^{90}Sr (4,158 руб./МБк). В соответствии с уравнением (2) суммарный ущерб составляет

1987 руб. Данная оценка составляет всего лишь $2,56 \cdot 10^{-8}$ часть размера предотвращенного ущерба в результате деятельности МосНПО «Радон» в 1999 г.

Для сравнительного анализа размера фактического и потенциального ущерба рассчитаем суммарный потенциальный ущерб от деятельности предприятия в случае сброса сточных вод с данным радионуклидным составом и разрешенной активностью. Подставляя необходимые данные из табл. 1—3, получим следующие результаты: потенциальный ущерб от сброса ^{90}Sr , ^{137}Cs , прочих радионуклидов составляет 624, 260, 2781 руб. соответственно, суммарный потенциальный и фактический ущерб составляет 3665 руб. и 54% потенциального ущерба в случае сброса сточных вод с разрешенной активностью соответственно.

По уравнениям (1), (2) рассчитаем потенциальный ущерб в случае сброса сточных вод с максимально разрешенной активностью. Потенциальный предельно допустимый ущерб от сброса ^{90}Sr составляет 3987 руб., ^{137}Cs — 1622 руб., прочих радионуклидов — 17 330 руб., суммарный потенциальный предельно допустимый — 22848 руб. Фактический ущерб составляет 8,7% потенциального ущерба в случае сброса сточных вод с максимально разрешенной активностью.

Полученные данные позволили сделать следующие выводы:

фактический годовой сброс ^{90}Sr , ^{137}Cs , прочих нуклидов относительно допустимого составил 37, 96, 54% соответственно, относительно предельно допустимого — 6, 14, 8% соответственно. Фактический ущерб от сброса сточных вод составил 1987 руб., или $2,56 \cdot 10^{-6}\%$ предотвращенного ущерба в результате обезвреживания предприятием радиоактивных отходов;

потенциальный ущерб от сброса сточных вод с разрешенной активностью, соответствующей допустимому сбросу, составил 3665 руб., с максимально разрешенной, соответствующей предельно допустимому сбросу, — 22 848 руб.;

фактический ущерб не превысил 54% потенциального ущерба в случае сброса сточных вод с разрешенной активностью и 8,7% потенциального ущерба в случае сброса сточных вод с максимально разрешенной активностью;

рассматриваемая методология применима к любому предприятию, сбрасывающему радиоактивные вещества в открытые водоемы. Область применения предлагаемой методологии — на стадиях проектирования и эксплуатации предприятия, находящегося на территории нашей страны.

Авторы выражают признательность за оказанную методическую помощь Л.М. Проказовой, В.И. Пантелееву, М.И. Ожовану.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. — Собрание законодательства РФ, 1996, № 15, статья 1572.
2. Национальный план действий по охране окружающей среды Российской Федерации на 1999—2001 годы. — Российская газ., 15 декабря 1998.
3. Методика оценки экономического ущерба от выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. Разраб. ИБФ МЗ СССР и ВНИИХТ. М., 1987.
4. Межотраслевая методика расчета экономического ущерба от радиационных аварий при использовании радиоактивных веществ в народном хозяйстве. РЭС центр ядерной и радиационной безопасности, СПб, 1998.

5. **Временная** типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. Утв. 28.10.83 г. пост. Госплана СССР, Госстроя СССР и Президиума Академии наук СССР.
6. **Радиационно-гигиенический** паспорт предприятия МосНПО «Радон», 1999.
7. **Разрешение** на сбросы радионуклидов в водные объекты. Выдано МосНПО «Радон» Гос. комитетом РФ по охране окружающей среды, № 29 от 19.10.98 г.

Поступила в Редакцию 9.12.02

УДК 621.039.31

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ПОДХОДОВ АНАЛИЗА РАЗДЕЛЕНИЯ В ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГЕ МЕТОДОМ УСРЕДНЕНИЯ ПО РАДИУСУ

Александров О.Е. (Уральский гос. технический ун-т — УПИ)

Работа посвящена двум проблемам: объяснению некоторых аспектов метода усреднения по радиусу на основе вихревого потенциала [1—3], которые, как показали недавние публикации [4], не нашли достаточного понимания, и обсуждению фундаментальной роли вихревого потенциала в описании конвективной диффузии.

Далее всюду будет использоваться цилиндрическая система координат (r, ϕ, z) , ось OZ которой совпадает с осью вращения ротора центрифуги, плоскость $z = 0$ проходит через точку подачи питания в разделительную камеру ротора. Всюду, где не оговорено иное, предполагается, что от угловой координаты ϕ ничего не зависит. Рассматривается изотопное приближение, когда в силу малой разницы массы компонентов можно не различать массовую и числовую концентрацию.

Основным методом аналитического описания разделения в газовой центрифуге по настоящее время остается метод усреднения по радиусу [5]. В классической теории Козна при выводе одномерного уравнения диффузии в роторе центрифуги [5, 6] использовали приближенный подход, основанный на использовании функции тока как основной характеристики внутрироторного течения. При выводе уравнения были сделаны некоторые приближения и допущения, ограничивающие применение теории областью однородных вдоль оси ротора циркуляционных потоков и малых потоков питания. Уравнение хорошо описывает основные закономерности процесса разделения, но приводит к некоторым противоречиям при рассмотрении предела отсутствия циркуляционного потока в роторе и оставляет открытым вопрос о применении теории к случаю неоднородного потока циркуляции в роторе и случаю не малой концентрации.

В работах [1—3] обобщен метод усреднения по радиусу на основе разложения поля плотности потока массы внутри ротора газовой центрифуги ρV на вихревую ρV_ψ и потенциальную составляющую ρV_ϕ :

$$\rho V = \rho V_\psi + \rho V_\phi = \rho D \operatorname{rot}(\Psi) + \operatorname{grad}(\phi), \quad (1)$$

где ρ — плотность газа; D — коэффициент диффузии, множитель ρD введен для удобства — обеспечивается безразмерность Ψ и предполагается, что ρD не зависит от координат, единственный отличный от нуля компонент Ψ обусловлен двумер-