

Секционные заседания

Секция №2 «Теория, методы, программы и результаты расчетов распространения и миграции радиоактивных веществ в элементах ядерных установок, на промышленной площадке и в окружающей среде».

Председатель секции: Дата проведения заседания: Место проведения заседания:

к.ф.-м.н. **Семенов Владимир Николаевич** 23 сентября 2015 года ИБРАЭ РАН (г.Москва, ул. Большая Тульская, д. 52)

Список презентаций

Докладчик	Название доклада	Организация, должность	№ стр.
Анохина Кристина Андреевна	Автомодельные режимы миграции примеси в модели пологого растекания бугра технологических растворов в насыщенных пористых средах.	МФТИ (ГУ), студентка	3
Благодатских Дмитрий Владимирович	Программный комплекс для моделирования динамики радиоактивного приповерхностного загрязнения больших водных акваторий.	ИБРАЭ РАН, м.н.с.	12
Болдырев Кирилл Александрович, к.т.н.	Геохимические аспекты моделирования поведения стронция-90 и цезия-137 в задачах обоснования радиационной безопасности водных объектов.	ИБРАЭ РАН, н.с.	33
Гончар Наталья Ивановна	Миграция полония по первому контуру реакторных установок с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем.	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», с.н.с.	50
Дзама Дмитрий Владимирович	Методология и программный код расчета радиационной обстановки при длительных аварийных выбросах в атмосферу с учетом реальных метеорологических стандартных данных с измерительной сети ВМО. Трехмерная дозиметрическая модель.	ИБРАЭ РАН, м.н.с.	70
Доильницына Вера Владимировна, к.т.н.	Деградация защитных барьеров и ее роль в оценке безопасности ПЗРО в постэксплуатационный период.	ОАО «РАОПРОЕКТ», главный инж. проекта	94
Иванов Валерий Андрианович	Расчетный комплекс Геополис для обоснования безопасности пункта захоронения ЖРО.	ИБРАЭ РАН, м.н.с.	112
Капырин Иван Викторович, к.фм.н.	Новые подходы к гидрогеологическому моделированию в расчетном коде GeRa	ИБРАЭ РАН, зав. лаб.	124
Кондратенко Петр Сергеевич, д.фм.н.	Асимптотический подход к описанию неклассических процессов переноса радионуклидов в неоднородных геологических средах.	ИБРАЭ РАН, зав. лаб.	139
Крылов Алексей Лазаревич	Программный код Сибилла для расчета содержания радионуклидов в водных объектах и дозы облучения населения от водопользования.	ИБРАЭ РАН, н.с.	155
Кузнецов Михаил Александрович	Влияние диффузионного барьера на перенос примеси в статистически однородных трещиновато-пористых средах.	МФТИ (ГУ), студент	171
Моргунова Т.С. / Припачкин Д.А.	Система оперативного прогнозирования радиационной обстановки на базе прогностических полей метеопараметров (модель wrf-arw) и лагранжевой стохастической модели переноса радиоактивных веществ в атмосфере.	ИБРАЭ РАН	186
Наливайко Андрей Витальевич	Оценка загрязнённости атмосферного воздуха радионуклидами по их содержанию в снежном покрове в окрестностях АО «УЭХК».	АО «УЭХК», нач. отдела	206
Нужный Антон Сергеевич, к.фм.н.	Создание программы подготовки георадарных данных для проведения геомиграционных расчетов.	ИБРАЭ РАН, н.с.	217
Свительман Валентина Семеновна, к.фм.н.	Учет неопределенностей в задачах геомиграционного моделирования при анализе и обосновании безопасности пунктов захоронения РАО.	ИБРАЭ РАН, м.н.с.	226
Сороковикова Ольга Спартаковна, д.фм.н.	Применение CFD подхода к переносу примесей в условиях городской застройки.	ИБРАЭ РАН, зав. лаб.	236
Филиппов Михаил Федорович	Разработка методики расчета массопереноса летучих продуктов деления в контурах быстрых натриевых реакторов.	ИБРАЭ РАН м.н.с.	272
Харченко Евгения Владиславовна	Обоснование размеров и границ зоны планирования защитных мероприятий в проекте АЭС-2006 (ВВЭР-1200).	АО «АТОМПРОЕКТ», инженер 1-ой категории	289
Шаповалов Альберт Сергеевич	Результаты оценки радиационного воздействия выбросов брызгальных бассейнов российских атомных станций.	ФБУ «НТЦ ЯРБ», начальник лаборатории	307

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Автомодельные режимы миграции примеси в модели пологого растекания бугра технологических растворов в насыщенных пористых средах

Анохина К. А. к.ф.-м.н. Матвеев Л. В.

Введение



- Построение математической модели, описывающей характеристики растекания бугра технологических растворов с повышенной плотностью в насыщенной пористой геологической среде
- Построение решения для одномерного и аксиально-симметричного двумерного случаев с помощью метода анализа размерностей
- Оценка справедливости приближений данной модели, связанная с наличием перемешивания технологических растворов с грунтовыми водами в некоторой граничной области

Постановка задачи 1



Напоры в областях 1 и 2:

 $H_{1} = \rho_{1}gh_{1} + \rho_{0}g(h_{0} - h_{1}) + \delta H = \Delta\rho gh_{1} + \rho_{0}gh_{0} + \delta H = H_{10} + \delta H$

 $H_2 = \rho_0 g h_0 + \delta H$

Потоки в областях 1 и 2:

$$Q_1 = -\frac{k}{\mu_1} h_1 (\partial_x H_{10} + \partial_x \delta H)$$
$$Q_2 = -\frac{k}{\mu_0} (h_0 - h_1) (\partial_x \delta H)$$

Бугор технологического раствора в пористой среде

При
$$\frac{\mu_0}{\mu_1} \frac{h_1}{h_0 - h_1} = 1$$

$$Q_1 \approx -\frac{k}{\mu_1} h_1 \partial_x H_{10}$$



Постановка задачи 2

3CM:
$$m\partial_t h_1 = -\partial_x Q_1 = \frac{k}{\mu} \partial_x h_1 \partial_x H_{10}$$
 (1)
 $H = H_{10} - \rho_0 g h_0$
 $\left\{ \begin{array}{c} \partial_t H = \kappa \partial_{xx}^2 (H)^2, \quad \kappa = \frac{k}{2m\mu} \\ H \Big|_{x=\pm\infty} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0 \\ H (x, t=0) = H_0(x) \end{array} \right.$
(1)
 $\left\{ \begin{array}{c} \sigma_t h(x, t) = 0 \\ \sigma_t h(x, t) = 0 \\ H (x, t=0) = H_0(x) \end{array} \right\}$
(2)
 $\left\{ \begin{array}{c} \sigma_t h(x, t) = 0 \\ \sigma_t h(x, t) = 0 \\ H (x, t=0) = H_0(x) \end{array} \right\}$
(3)
 $\left\{ \begin{array}{c} \sigma_t h(x, t) = 0 \\ \sigma_t h(x, t) = 0 \\ H (x, t=0) = H_0(x) \end{array} \right\}$
(1)
 $\left\{ \begin{array}{c} \sigma_t h(x, t) = 0 \\ \sigma_t h(x,$

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} H(x,0) dx = \int_{-l}^{l} H(x,0) dx$$

Анализ размерностей



$$\overset{\circ}{H} = f(x, t, I, l, \kappa)$$
 (2)

Размерности:

- независимые [t] = T, $[I] = \frac{M}{T^2},$ $[\kappa] = \frac{L^3 T}{M}$
- -комбинации $[H] = \frac{M}{LT^2} = [(I^2 / \kappa t)^{1/3}], \quad [l] = [x] = L = [(I \kappa t)^{1/3}]$

Тогда

$$H = \frac{I^{2/3}}{(\kappa t)^{1/3}} \Phi\left(\frac{x}{(I\kappa t)^{1/3}}, \frac{l}{(I\kappa t)^{1/3}}\right)$$

$$H = \frac{I^{2/3}}{(\kappa t)^{1/3}} \Phi\left(\frac{x}{(I\kappa t)^{1/3}}, 0\right) = \frac{I^{2/3}}{(\kappa t)^{1/3}} F(\xi), \qquad \xi = \frac{x}{(I\kappa t)^{1/3}}$$

Решение задачи



Подстановка в $\partial_t H = \kappa \partial_{xx}^2 (H)^2$ дает $\frac{d^2 (F^2)}{d\xi^2} + \frac{\xi}{3} \frac{dF}{d\xi} + \frac{F}{3} = 0$

Решение:

$$H = \begin{cases} \frac{\sqrt[3]{3}}{4} \frac{I^{2/3}}{(\kappa t)^{1/3}} (1 - \frac{x^2}{(9I\kappa t)^{2/3}}), 0 \le |x| \le x_f = (9I\kappa t)^{1/3} \\ 0, |x| > x_f = (9I\kappa t)^{1/3} \end{cases}$$

Также представимо в виде

r

$$\overset{\text{\tiny H}}{H} = \overset{\text{\tiny H}}{H}_0(t) f\left(\frac{x}{x_f(t)}\right)$$

$$x_f = (9I\kappa t)^{1/3} ? l \qquad t ? \frac{l^3}{I\kappa} : 10^5 ce\kappa$$

www.ibrae.ac.ru





Уравнение

$$\partial_t \dot{H} = \kappa (\partial_{rr}^2 (\dot{H})^2 + \frac{1}{r} \partial_r \dot{H}^2) \qquad r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$I = \int_{0}^{l} H(r,0) \cdot 2\pi r dr, \quad [I] = \frac{ML}{T^{2}} \quad \Rightarrow \quad H = \left(\frac{I}{\kappa t}\right)^{1/2} F(\xi), \quad \xi = \frac{r}{(I\kappa t)^{1/4}}$$

Решение:
$$M = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{8\pi}} \left(\frac{I}{\kappa t}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{r^2}{(32I\kappa t/\pi)^{1/2}}\right), 0 \le r \le r_f = \left(\frac{32I\kappa t}{\pi}\right)^{1/2} \\ 0, r > r_f = \left(\frac{32I\kappa t}{\pi}\right)^{1/4} \end{cases}$$

$$r_f = \left(\frac{32I\kappa t}{\pi}\right)^{1/4} ? l \qquad t ? \frac{l^4}{I\kappa} : 10^8 ce\kappa$$

www.ibrae.ac.ru

www.ibrae.ac.ru

Расплывание фронта за счет дисперсии

Дисперсия:

- Молекулярная диффузия d_{mol} : $10^{-6} c M^2$ / c
- Гидродинамическая дисперсия

 $d_{hydr} \approx ub \approx 2 \cdot 10^{-3} cM^2 / c ? d_{mol}$

$$\boldsymbol{\delta}: \sqrt{dt} \qquad d = \left\{ d_{mol}, d_{hydr} \right\}$$

1D:
$$\delta \ll x_f = (9I\kappa t)^{1/3}$$
 $t \ll d^{-3}(Ik)^2 : 10^{15} cek$

2D:
$$\delta \ll r_f = \left(\frac{32I\kappa t}{\pi}\right)^{1/4}$$
 $t \ll t \ll d^{-2}Ik : 10^9 ce\kappa$



Заключение



Решение:

$$\tilde{H} = \tilde{H}_0(t) f\left(\frac{R}{R_f(t)}\right)$$

$$R_f : t^{\gamma}, \quad H_0 : t^{\beta}$$

1D:
$$\gamma = 1/3$$

2D:
$$\gamma = 1/4$$

$$\beta = -1/3$$
 $\beta = -1/2$

$$\frac{l^3}{I\kappa} = t = d^{-3}(Ik)^2$$

$$\frac{l^4}{I\kappa} = t = d^{-2}Ik$$

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАДИОАКТИВНОГО ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БОЛЬШИХ ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ.

> Д.В. Благодатских, Д.В. Дзама, О.С. Сороковикова

www.ibrae.ac.ru

Особенности дисперсии примеси в океане

- величины коэффициентов горизонтальной диффузии на расстояниях от сотен до тысячи километров в атмосфере изменяются в пределах 10⁵ – 10⁷ м/с², а в океане 10 – 10⁴ м/с²
- возможен длительный дрейф пятна загрязнения, при котором концентрация сохраняется выше допустимых контрольных значений
- отсутствуют надежные базы данных описывающих дисперсию пассивной примеси в океанических течениях (необходимы для верификации)





создание программного комплекса для моделирования распространения приповерхностного загрязнения радиоактивными веществами в больших водных акваториях.





- перенос примеси учитывается только в верхнем квазиоднородном слое (ВКС), выше сезонного термоклина
- предполагается, что примесь равномерно перемешана в ВКС
- примесь может опускаться в глубинные слои в результате даунвеллинга

Математическая модель





Н – глубина слоя перемешивания (м)

(u, v) – зональная и меридиональная компоненты скорости в верхнем слое океана (м/с)

Q – интенсивность источника (Бк/м2с)

с – концентрация примеси (Бк/м3)

создана база данных по океаническим течениям и глубинам слоя перемешивания для периода с 13 марта 2006 год по 12 марта 2013 года и скважностью 0,04 градуса по долготе и 0,03 градуса по широте в регионе с координатами *110.5° – 179.5° в.д.*, *30.5° – 64.5° с.ш.*



Численный алгоритм



- система уравнений адвекции-диффузии решается в лагранжевых переменных методом Монте-Карло
- в каждый момент времени вся примесь рассматривается как совокупность лагранжевых частиц конечных размеров
- гауссовы лагранжевы частицы плоские (по глубине с переменными размерами в зависимости от размеров слоя перемешивания)
- учитывается отражение от береговой линии



Движение лагранжевых частиц

1 этап
$$a \cdot \cos \varphi^n \cdot \Theta^n = a \cdot \cos \varphi^n \cdot \Theta^n + u^n (\Theta, \varphi) \cdot \tau$$

 $a \cdot \Theta^n = a \cdot \varphi^n + v^n (\Theta, \varphi) \cdot \tau$

2 этап

$$a \cdot \cos \varphi^{n} \cdot \theta^{n+1} = a \cdot \cos \varphi^{n} \cdot \theta^{n} + \sqrt{2K^{n}\tau}b_{\theta}$$
$$a\varphi^{n+1} = a\varphi^{n} + \sqrt{2K^{n}\tau}b_{\varphi}$$
$$K^{n} = 0.9K^{n}$$

Рост размеров частиц

$$\left(R^{n+1}\right)^{2} = \left(R^{n}\right)^{2} + 2\cdot\left(K^{n} - K^{n}\right)\tau$$

Размер каждой частицы ограничен, так называемым, законом трех сигм

ИБРАЭ

Учет даунвеллинга



Масса (радиоактивность) лагранжевой частицы за счет потока в нижние слои уменьшается по закону:

11 1/

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{w(\theta, \varphi)}{H(\theta, \varphi)}m$$

Здесь m – масса (Бк), H – глубина слоя перемешивания (м), w – скорость течения в глубинные слои.



- в результате аварии на АЭС Фукусима-1 произошел крупнейший за всю историю выброс радионуклидов в водную среду
- возникла потребность оперативной оценки последствий такого выброса с точки зрения гипотетического радиоактивного загрязнения на больших расстояниях от источника



Линии тока на широте Фукусимы у западного и восточного побережья в марте 2011 года



23



Проинтегрированные по времени концентрации ¹³⁷Сs через 40 дней на западном и восточном побережье.







- французским институтом радиологической защиты и ядерной безопасности (IRSN) были собраны и обработаны результаты измерений в радиусе 50 км от аварийного реактора
- в результате были получены 2D мерные поля концентраций ¹³⁷Cs в период с 11 по 18 апреля, который является ближайшим к моменту основного выброса

Осреднённое за период с 11 по 18 апреля восстановленное из данных мониторинга поле концентрации ¹³⁷Сs, Бк/л.



ИБРАЭ







- В результате анализа, проведенного с помощью нашего кода, выход ¹³⁷Cs составил 6.2E+16Бк. (консервативная оценка)
- Оценка Института Радиологической защиты и ядерной безопасности (Франция) составила 2.7E+16 Бк.



Проинтегрированная по времени концентрация ¹³⁷Сs в расчётной области с источником вблизи береговой линии





- На основе данного программного комплекса был создан тренажер для Дальневосточного государственного университета для моделирования распространения примеси в акватории Дальневосточного региона
- Создан набор карт разного масштаба для различных участков акватории.
- Имеется данные о береговой линии с разной степенью детализации





7.943e+04 1.585e+05 3.162e+05 6.310e+05 1.259e+06 2.512e+06 5.012e+06 1.000e+07 1.995e+07 3.981e+07 7.943e+07 1.585e+08 3.162e+08 6.310e+08 1.259e+09 2.512e+09

Заключение



 Несколько лет назад в ИБРАЭ РАН была разработана модель распространения радионуклидов при гипотетических авариях для всего Тихоокеанского региона на большие расстояния при наиболее неблагоприятных условиях.

• Создана программа-тренажер для экспресс оценки выбросов на большие расстояния в акватории Тихого океана, прилегающей к береговой линии Дальневосточного региона России.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Геохимические аспекты моделирования поведения стронция-90 и цезия-137 в задачах обоснования радиационной безопасности водных объектов

Болдырев К.А., к.т.н., н.с. Уткин С.С., к.т.н., зав. отд.





Зависимость изменения концентрации радионуклида в воде от времени:

$$W(t) = W_0 e^{-(\lambda + K_1)t} \longrightarrow K_1 = \frac{V}{h_1} \frac{SK_d}{1 + SK_d}$$

V (м/с) – скорость седиментации;

*h*₁, (м) – глубина водоема

S (кг/м³) – мутность воды,

 K_d (м³/кг) – коэффициент распределения в системе водная «фаза – взвесь»

Аспекты применения табличных значений K_d



Достоинства

Простота и удобство Наглядность

Соотношение между *K_d* Sr и ЕКО почвогрунтов



Недостатки

Высокий уровень неопределенности, из-за вариаций химсостава, формирования ВВ и ДО и пр.

> Соотношение между *K_d* Sr и рН почвогрунтов





1. Создание методики применения геохимического моделирования для оценки фиксирования ДО радионуклидов ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs;

2. Построение геохимической модели сорбции ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs материалом ДО в системе «Вода-ДО»;

3. Апробация модели при решении задачи долгосрочного прогнозирования значений коэффициента распределения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в системе «Вода-ДО» водоемов 10 и 11 Теченского каскада водоёмов.

$$W(t) = W_0 e^{-(\lambda + K_1)t} \longrightarrow K_1 = \frac{V}{h_1} \frac{SK_d}{1 + SK_d}$$
$$K_1 = \frac{V}{h_1} \frac{S \times K_d(t)}{1 + K_d(t)}$$
Методика проведения расчетов



• Сбор и анализ имеющихся данных:

- Измеренные значения К_d;
- Строение и свойства материала ВВ и ДО;
- Химический состав раствора в процессе наблюдений.
- Создание геохимической модели в ПК PhreeqC 2.18:
 - Выбор моделей сорбции, оптимальной для описания сорбции рассматриваемого радионуклидов – ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs;
 - Расчет количества сорбционных участков и пр. параметров в принятых моделях сорбции.

• Геохимическое моделирование:

- Создание прогноза изменения условий среды (разработка сценариев).
 - Расчет динамики изменения К_а для сценариев.

Объект исследования - В-10 и В-11 ТКВ





Этапы трансформации статуса ТКВ как ОИАЭ



Основные этапы вывода из эксплуатации водоемов ТКВ:

- сокращение и прекращение сбросов ЖРО в водоемы ТКВ с целью скорейшего (в течение 20-30 лет) самоочищения воды водоемов ниже уровня ЖРО.

- длительное (100-150 лет) безопасное содержание водоемов для самоочищения основной массы донных отложений ниже уровня отнесения к РАО.





Расчет *K_d* для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs для водоёма 10 ТКВ

K_d на 1995 г ⁹⁰Sr – **230,8** л/кг, для ¹³⁷Cs – 6771,2 л/кг.

Расчет *К_d* для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs для водоёма 11 ТКВ *K_d* на 1995 г ⁹⁰Sr – 401,6 л/кг, для ¹³⁷Cs – 12720,2 л/кг.

NB!!! Табличные значения K_d^{Sr} [*Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты (ДС-2010)*] для взвесей в более-менее стандартных условиях лежат в интервале **1000-2000** л/кг



А) Механизм сорбции Sr и Cs описывается как ионный обмен;

Б) Сорбционная фаза представлена <u>4-мя типами участков;</u>

В) расчет параметров сорбционной модели по алгоритму:

1. Расчет ёмкости катионного обмена, ЕКО, на основе значений К_d для ⁹⁰Sr.

2. Расчет числа иллитоподобных участков, на основе К_d для ¹³⁷Cs

Г) Моделирование проводится в коде PhreeqC 2.18



Параметры модели в расчетном коде PhreeqC 2.18

Таблица 1 – Реакции ионного обмена на иллите и подобным глинистым фазам (Plan - соответствует планарным, Туреіі участкам типа Тип 2, Fes – участкам типа FES)

Реакция	logK
Планарные участки	
Plan⁻ + Na⁺ → NaPlan	0,0
Plan⁻ + K⁺ → KPlan	1,1
Plan⁻ + Cs⁺ → CsPlan	1,6
2Plan⁻ + Sr⁺² → SrPlan₂	1,13
2Plan⁻ + Ca ⁺² → CaPlan ₂	1,13
2Plan⁻ + Mg ⁺² → MgPlan ₂	1,13
Тип 2	
Typeii⁻ + Na⁺ → NaTypeii	0,0
Typeii⁻ + K⁺ → KTypeii	2,1
Typeii⁻ + Cs⁺ → CsTypeii	3,6
FES	
Fes⁻ + Na⁺ → NaFes	0,0
Fes⁻ + K⁺ → KFes	2,4
Fes⁻ + Cs⁺ → CsFes	7

Таблица 2 – Реакции стандартной модели ионного обмена программного пакета PhreegC 2.18

Реакция	logK
$K^+ + X^- \rightarrow KX$	0,7
Ca^{+2} + 2X ⁻ \rightarrow CaX ₂	0,8
$Mg^{+2} + 2X^- \rightarrow MgX_2$	0,6
$Sr^{+2} + 2X^- \rightarrow SrX_2$	1,08
$Cs^+ + X^- \rightarrow CsX$	1,1

Таблица 3 – Рассчитанные в модели количества ионообменных участков разного типа для слоя ДО В-10 и В-11

	Количество, моль/100 г			
Тип участка	Тип участка <u>осушенных при 100-105° (</u>			
	B-10	B-11		
Тип Х	3,05×10⁻¹	1,87×10⁻¹		
Тип Plan	2,75×10⁻³	2,67×10 ⁻³		
Тип Туреіі	6,88×10-4	6,68×10 ⁻⁴		
Тип Fes	8,60×10⁻ ⁶	8,32×10⁻ ⁶		





Сценарии эволюции химсостава вод В-10 и В-11

1. Экстраполяционный прогноз изменения химсостава вод В-10 и В-11

2. «Приближения» химических свойств воды В-10 к воде о. Иртяш

3. Расчет *K_d* для ⁹⁰Sr в модели разбавления вод водоёмов 10 и 11 дождевой водой с учетом растворения атмосферного CO₂ и CaCO_{3(тв.)}.



Описание модели разбавления вод В-10 и 11 дождевой водой с учетом растворения атмосферного СО₂ и СаСО_{3(тв.)}

В модели:

- разрешены переходы минеральных фаз в раствор кальцита и углекислого газа атмосферы.
- разбавление вод водоёмов будет производиться дождевой водой.



www.ibrae.ac.ru

ИБРАЭ

Параметры модели, используемые составы вод



Экстраполированные концентрации химических макрокомпонентов

в воде водоёмов 10 и 11

	рН	SO ₄ -2	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Na⁺	HCO ₃ -	Cl-	K ⁺
год		мг/дм ³						
			Вс	одоём 1	0			
2005	8,15	436	49	94	153	238	83	11
2015	8,15	290	42	62	115	330	70	11
2020	8,15	270	40	55	115	300	60	11
2030	8.15	250	30	45	135	260	50	11
Водоём 11								
2005	8,2	608	64	106	155	216	81	9
2015	8,2	430	60	82	150	230	88	9
2020	8,2	410	56	77	140	235	60	9
2030	8,2	360	50	68	100	235	70	9

• • •	-		Жесткость	SO₄-²	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Na⁺	К+		Cl-
воды о. Иртяш	Дата	рН	мг-экв/л			МГ	/л			
	2005	7,9	3	24,2	15,6	34,4	10,3	8	163	22,1
Усредненный состав		SO₄ ⁻²	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Na⁺	K+	ŀ	ICO ₃ -		CI-
дождевой воды	Η				мг/л					
5	5,6	9	0,5	3	2,8	1,5		7		2,1

Результаты прогнозных расчетов значений K_d



----Кd 90Sr. Прогноз с растворением CO2 и CaCO3. Водоём 10 (ось справа)

- ---Кd 90Sr. Прогноз с растворением CO2 и CaCO3. Водоём 11 (ось справа)
- Kd 90Sr. Экстраполяционный прогноз. Водоём 11 (ось справа)
- —Kd 90Sr. Экстраполяционный прогноз. Водоём 10 (ось справа)
- ----Кd 90Sr. Виртуальное замещение воды В-10 водой о. Иртяш,

Результаты прогнозных расчетов значений К_d



Результаты прогнозных расчетов значений К_d



Водоём		Значение <i>К_d,</i> л/кг				
		Модель на основе	Модель виртуального	Модель разбавления вод		
		экстраполяции	«замещения» вод	водоёмов 10 и 11 дождевой		
		значений	водоёмов 10 и 11	водой с учетом растворения		
		параметров вод	водой о. Иртяш атмосферного CO ₂ и Ca			
		В-10 и В-11				
Водоём 10	⁹⁰ Sr	1,00×10 ³	1,64×10 ³	1,02×10 ³		
	¹³⁷ Cs	1,23×10 ⁴	1,81×10 ⁴	1,68×10 ⁴		
Водоём 11	⁹⁰ Sr	6,43×10 ²	1,01×10 ³	7,21×10 ²		
	¹³⁷ Cs	1,51×104	1,73×10 ⁴	1,49×10 ⁴		



Рекомендуемые значения параметров в уравнении зависимости K_d ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs для водоёмов 10 и 11 в уравнении:

$$K_d(t) = A \times ln(t) + C$$

Водоём	Значение коэффициентов					
	А	С				
⁹⁰ Sr						
Водоём 10	17959	-135892				
Водоём 11	24358	-184998				
¹³⁷ Cs						
Водоём 10	54075	39547				
Водоём 11	67263	497968				

выводы



- Успользование табличного (не рассчитанного в процессе геохимических расчетов) К_d уже не может быть признано оптимальной практикой.
- § Предложен новый подход к прогнозированию коэффициентов распределения РН в системе «вода – ДО» на основе геохимического моделирования.
- § Впервые получена аналитическая зависимость K_d ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs от химсостава вод ТКВ (в модели учтено более 50 химических реакций).
- § Подготовлена публикация.



Государственная корпорация «Росатом»

Государственный научный центр РФ – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского

МИГРАЦИЯ ПОЛОНИЯ ПО ПЕРВОМУ КОНТУРУ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ТЯЖЁЛЫМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Н.И. Гончар, Д.В. Панкратов

Для РУ с ТЖМТ характерна наработка альфа-излучателей Bi-210m, Po-209 и Po-210, образующихся в результате активации Pb и Bi. Из них наиболее радиотоксичен Po-210 Т1/2 =138,4 сут, Еα=5,3 МэВ Ро-210 имеет слабое гамма-излучение и как внешний излучатель не представляет особой опасности. Он безопасен при сохранении герметичности первого контура. Но при проектировании газовой системы и систем перегрузки ТВС необходимо учитывать наличие в первом контуре альфа-активности с высокой энергией. Наибольшее поражение организма вызывает поступление Ро-210 перроральным и ингаляционным путём, опасно попадание на слизистые оболочки и кожу.

При моделировании миграции полониевой активности и разработке мер и средств защиты особое внимание уделяют аэрозолям, парам и ГСП – РоН₂ Ключевое звено модели миграции полониевой активности – выход полония из ТЖМТ в газовую фазу.

В результате аварий, связанных с разгерметизацией ГС или проливом ТЖМТ возможно образование альфа-активных аэрозолей в воздухе РП и высокоактивных поверхностных загрязнений после их осаждения. Для разработки мер и средств защиты персонала нужна проверенная по экспериментальным данным модель миграции Ро-210 в нормальных условиях эксплуатации и в условиях, приводящих к аварии.

Схема наработки альфа-излучателей в ТЖМТ



Гончар Н.И. и др.

Удельная активность Ро-210 в свинцовом теплоносителе в зависимости от степени очистки



Гончар Н.И. и др.

Скорость испарения полониевой активности

Скорость испарения, Бк/с, активности і-го изотопа можно вывести из уравнения Ленгмюра и закона Рауля

$$Q_{i}^{ucn} = 4,38 \cdot 10^{-3} a_{i} M_{0} S \beta \cdot \sum_{j} \frac{P_{ij}^{sul}(T) \xi_{j}}{\sqrt{M_{ij} T}}$$

 В ТЖМТ полоний может присутствовать в нескольких химических формах: Ро, Ро₂, РbРо, BiPo и PoO₂. Надо знать долевое распределение его химических форм в зависимости от температуры или КТА(Т)

$$p_i^{\flat \phi \phi} = p_i^{\mathrm{sat}} \cdot \gamma \cdot \mathbf{X}$$

Давление насыщенных паров в зависимости от температуры



Давление насыщенных паров полония по различным источникам



Коэффициент термодинамической активности полония в ТЖМТ

Зависимость от температуры КТА Ро в расплаве ТЖМТ выражается формулой Аррениуса $Lg(\gamma_{Po}) = A - B/T$

Численное выражение такой зависимости для системы Po-Pb-Li (Po+CЛЭ) определено Фойерштайном

$$Ln\gamma_{Po-Pb-Li17}(T) = -4,77 - 1329/T$$

для системы Po-Pb-Bi (Po+CBЭ) это сделал Оно

$$Lg\gamma_{Po-Pb-Bi} = 1,079 - 2908/T$$

для полония в расплаве висмута коэффициенты определил Джой

$$Lg\gamma_{Po-Bi} = 1,1176 - 2728,3/T$$

Свинец оказался наименее исследованным теплоносителем в вопросе испарения содержащегося в нём полония.

Гончар Н.И. и др.

Исследования выхода Ро210 из облучённых образцов ТЖМТ. ГНЦ РФ-ФЭИ, 1995 г.

- Образцы: СВЭ, свинец, СЛЭ
- Температура 300, 500 и 800С
- Среда испарения: вакуум (10⁻³÷10⁻² мм рт.ст.) и Ar (100 и 650 мм рт.ст.)
- Экспозиция: 8 часов
- Измерялось количество испарившейся из образца активности Ро-210, Бк
- В отчётах ФЭИ приведены исходные данные: масса и активность образца, площадь испарения и количество испарившейся активности.

Измерение эффективной скорости испарения и расчёт КТА полония в свинце

По измеренному количеству А_{исп} испарившейся в вакуум за время t_{эксп} активности Ро-210 определена эффективная скорость испарения Q_{Po-210},

Бк/с, Q_{Po-2}

$$_{210} = \frac{A_{ucn}}{t_{_{3KC\Pi}}}$$

Массовый поток Ро-210 с поверхности расплава, кг/м²/с, равен

$$G_{Po-210} = \frac{Q_{Po-210}}{\lambda \cdot S} \cdot \frac{10^{-3} \cdot M_{PoX}}{N_A}$$

Испарение происходит в вакуум. Выражение для эффективного давления Ро-210 над расплавом Рb $P_{Po-210}^{3\phi\phi} = \frac{G_{Po-210}}{4,38\cdot 10^{-3}\sqrt{M_{PoX}/T}}$

Эффективное давление полония над расплавом системы Pb-Po равно

$$p_{Po}^{\circ\phi\phi} = p_{Po}^{\mathrm{sat}} \cdot \gamma_{Po/Pb} \cdot \mathbf{X}_{Po}$$

Оценка КТА полония в ТЖМТ по экспериментальным данным ГНЦ РФ - ФЭИ

• В свинце

$$Lg(\gamma_{Po/Pb}) = -0,0946 - \frac{2401}{T}$$

• BCBЭ
$$Lg(\gamma_{Po/Pb-Bi}) = 0,788 - \frac{2568}{T}$$

ВСЛЭ
$$Lg(\gamma_{Po/Pb-Li}) = 3,062 - \frac{5299}{T}$$

$$Q_{a\phi\phi}^{k} = Q_{k}/\beta_{k}$$
 $\beta = v_{k}/v_{vac}$ $v_{k} = Q_{k}/A_{k}^{ucx}$

Эффективное давление Ро над ТЖМТ (по данным ФЭИ) и давление насыщенных паров PbPo



Эффективное давление полония в свинцововисмутовой эвтектике



Температурная зависимость КТА полония в СВЭ



Гончар Н.И. и др.

Эффективное давление полония в свинцоволитиевой эвтектике



КТА полония в ТЖМТ



Газообразное соединение полония – РоН₂

- Образуется при попадании водяного пара в ГС PbPo+H₂O=PoH₂+PbO PoH₂ + $3H_2O = PoO(OH)_2 + 3H_2$; PoH₂ + $2H_2O = Po(OH)_2 + 2H_2$ PoO(OH)₂ = PoO₂ + H_2O ; Po(OH)₂ = PoO + H_2O
- Скорость образования РоН₂ растёт с увеличением температуры и влажности воздуха.
- При 20 °С и влажности 92 % J(Бк/с)/Бк = 4,2·10⁻¹⁰÷2,1·10⁻⁹.
- В области 250÷500 К , IgJ(T) = -3,3 -3,5/T(К)
- Время жизни при T~20 °С в воздухе средней влажности около 1200 с,
- при T=35÷50 °C и 100 % влажности в пределах 10÷30 с

Выводы

- В модели миграции полония по первому контуру РУ с ТЖМТ основным фактором является скорость выхода полония из теплоносителя в газовую систему.
- Оценка скорости испарения полония через коэффициент его термодинамической активности в ТЖМТ более надёжна.
- Сравнение характеристик выхода Ро-210 из СВЭ и СЛЭ, полученных из экспериментальных данных ГНЦ РФ - ФЭИ, с данными других исследователей подтверждает достоверность результатов экспериментов, выполненных в ГНЦ РФ-ФЭИ в 1995 г.
- На основании анализа экспериментальных данных ГНЦ РФ -ФЭИ выведена формула температурной зависимости КТА полония в свинце: Lg(KTA)= -0,0946-2401/T. В связи с относительно небольшим объёмом экспериментальных данных по испарению Ро-210 из свинца целесообразно провести дополнительные исследования.

Выводы - продолжение

- В области температур от 500 до 800 °С можно отметить хорошую сходимость значений эффективного давления полония в СВЭ, полученных различными исследователями. Измеренная скорость испарения полония из всех рассмотренных ТЖМТ при температурах от 300 до 400 °С заметно превышает расчётную. Объяснение этого эффекта требует отдельного рассмотрения.
 - Для повышения надёжности расчётов в обоснование радиационной безопасности при проведении работ по перегрузке ТВС и оценки возможных последствий проектной аварии РУ с ТЖМТ, связанной с разгерметизацией газовой системы или пролива теплоносителя, нужны дополнительные исследования скорости образования и времени жизни ГСП в соответствующих условиях.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Методология и программный код расчёта радиационной обстановки при длительных аварийных выбросах в атмосферу с учётом реальных метеорологических стандартных данных с измерительной сети ВМО

д.ф.-м.н., профессор: Семенов В.Н. м.н.с.: Дзама Д.В. д.ф.-м.н., профессор: Сороковикова О.С.

Введение



Рассеивание радиоактивных веществ в атмосфере при аварийных выбросах на ОИЯЭ как в газовой, так и в аэрозольной формах в значительной степени определяется метеорологической обстановкой (скоростью ветра, интенсивностью турбулентности и осадков).

Главная причина неопределённости прогноза радиационной обстановки, как в задачах аварийного реагирования, так и в задачах обоснования безопасности строящихся ОИЯЭ, заключается в неопределённости погодных условиях.

При оценке радиационной обстановки от продолжительных выбросов обычно используют искусственную метеорологию и консервативный подход для конкретного расстояния от источника.

Такой подход оправдан в случае кратковременных выбросов (до нескольких часов), в течение которых погодные условия действительно можно считать неизменными.

Цель работы



Заключалась в разработке кода РОМ (Радиационная Обстановка в Мезомасштабе), который бы позволил снизить консерватизм оценок радиационной обстановки при продолжительных выбросах за счёт использования реальных метеорологических данных временных рядов, и который бы обеспечивал приемлемую скорость счёта.

Назначение кода РОМ - оценка радиационной обстановки за пределами промплощадки АЭС (с учетом пищевых цепочек) в мезомасштабе (до 100 км) при регулярных и аварийных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу.
Продолжительные выбросы. Расчётный код РОМ



Что касается продолжительных выбросов, то предположение о постоянстве метеорологических параметров атмосферы может оказаться излишне консервативным. Для длительных выбросов, даже в течении суток эти параметры могут существенно меняться, не говоря о выбросах длительность которых достигает месяца. Например, тяжёлая запроектная авария для реактора ВВЭР.



ЦЕНТРАЛЬНАЯ ИДЕЯ



Заключается в проведении большого множества независимых расчётов с разными моментами начала выброса при известном временном ряде метеорологических параметров. При изменении момента начала выброса произвольной длительности реализуется свой, но вполне **реальный** сценарий изменчивости метеорологических параметров.

Алгоритм расчёта на грубой сетке (2)
$$\sum_{k=1}^{n}$$

 $c_{V}(x,y,z) = M \cdot \frac{\int_{0}^{1} f_{V}(z,z_{0},H) dz}{1} \frac{\int_{x_{i}}^{x_{i+1}} f_{h}(x,x_{0},R) dx}{x_{i+1} - x_{i}} \frac{\int_{y_{j}}^{y_{j+1}} f_{h}(y,y_{0},R) dy}{y_{j+1} - y_{j}}$ (1)

$$c_{V}(x,y,z) = M \cdot f_{V}(z,z_{0},H) \cdot f_{h}(x,x_{0},R) \cdot f_{h}(y,y_{0},R)$$
(2)

 f_v, f_h —нормальные функции распределения концентрации в вертикальном и горизонтальных направлениях, справедливые для отдельной лагранжевой частицы



Обработка "сырой" информации с сети ВМО



- дата измерения, с точностью до трёх часов
- координаты синоптической станции с точностью около 1 км
- осадки, выпавшие с момента последнего измерения (как правило, спустя сутки)
- код погоду в текущий момент
- модуль скорости ветра
- направление ветра
- высота снежного покрова, измеряемая раз
 в сутки
- балл облачности
- высота нижней границы облачности

- модуль скорости ветра
- направление ветра
- интенсивность и тип осадков
- класс устойчивости атмосферы по

классификации Паскуилла

Усреднение данных по станциям



Скорость ветра



 $I_j^P = I_j^P(i_l, i_r) = \frac{P_j(i_l, i_r)}{3n_j(i_l, i_r)} \bigstar$

Поправка на тип осадков



Осадки

Суммарные осадки, выпавшие между i_l и i_r трёхчасовым интервалом на станции j.

Количество трёхчасовых интервалов между i_l и i_r в которых наблюдались осадки на станции *j*.

Если осадки в трёхчасовой интервал на станции *j* не наблюдались, поправка равна 0.

 Δ_i — расстояние от ОИЯЭ до метеостанции *i*

 I_{corr}^{i} –индикатор корректности данных на станции i

Класс устойчивости атмосферы





Класс устойчивости атмосферы

на ближайшей к Белоярской АЭС метеостанции: Верхнее Дуброво (результат расчёта по метеорологическим параметрам)

Первый способ решения



Смещать астрономическое время начала выброса на период измерения метеорологических параметров (3 часа) и производить серию последовательных расчётов. Результат — реалистичное поле доз (производится выбор максимального по всем выбросам значения, независимо для каждой точки сетки).

Никакого ограничения на "формат" источника выброса не накладывается.

Проблема заключается в чрезвычайно большом времени счёта для продолжительных аварий (таких как тяжёлая запроектная авария длительностью 1 месяц).

Второй способ решения



Поэтому алгоритм был доработан: был задействован тот факт, что в двух последовательных расчётах, смещённых друг относительно друга на 3 часа, подавляющая часть выброса распространяется при одних и тех же метеорологических условиях.

Части выброса, распространяющаяся при одних и тех же метеоусловиях могут отличаться друг от друга:



Второй способ решения



Рассмотрим 2 последовательных расчёта с разными моментами начала выброса. Повторяющуюся задачу переноса радиоактивной примеси при одних и тех же метеоусловиях можно не считать – результат был получен в предыдущем расчёте.

Для этого необходимо:

- 1) "синхронизовать" источник выброса с временным рядом погоды, то есть чтобы источник был так же разбит на параллельные 3-часовые интервалы;
- обеспечить пропорциональность полей концентраций и выпадений, то есть для каждого 3-часового парциального источника задать одинаковые условия осаждения.

№ метеофазы	im	im+1	<i>im</i> +2
текущий расчёт		is	<i>i</i> s+1
предыдущий расчёт	is	<i>i</i> s+1	

Второй способ решения



В каждом расчёте (начиная со второго) считается перенос только последнего 3часового отрезка источника. Дозы от остальных отрезков вычисляются исходя из временных интегралов концентраций и выпадений, полученных в предыдущем расчёте.

Однако, зная только одно число (временной интеграл приземной концентрации/выпадения) можно лишь приближённо восстановить значение дозы в расчётной ячейке.

$$d = \int_{T_i}^{T_{i+1}+T_{tr}} c(t)\alpha(t)\gamma dt \approx \alpha(T_i)\gamma \int_{T_i}^{T_{i+1}+T_{tr}} c(t)dt$$

 $\alpha(t) = \frac{\tilde{c}(t)}{c(t)} - \Phi$ актор распада (отношение концентрации с учётом распада к концентрации без учёта распада).



Пример сценария аварии Первые 8 часов. ИРГ

Нуклид	Активность	Период полураспада
$^{85}Kr - m$	2.52e+13	4.4 часа
⁸⁷ Kr	1.06e+13	1.3 часа
⁸⁸ Kr	5.12e+13	2.77 часа
¹³³ Xe	5.14e+14	5.3 суток
¹³⁵ Xe	1.19e+14	9.13 часов
¹³⁸ Xe	7.8e+11	20 мин
¹⁰³ Ru	1.16e+12	40 дней



Пример сценария аварии Первые 8 часов. Молекулярный йод

Нуклид	Активность	Период полураспада
¹³¹ I	7.88e+11	8 суток
¹³² I	5.14e+11	2 часа 20 мин
¹³³ I	1.59e+12	20 часов
¹³⁴ I	2.53e+11	1 час
¹³⁵ I	1.16e+12	7 часов



Пример сценария аварии Первые 8 часов. Органический йод

Нуклид	Активность	Период полураспада
¹³¹ I	3.85e+11	8 суток
¹³² I	1.47e+11	2 часа 20 мин
¹³³ I	6.56e+11	20 часов
¹³⁴ I	2.86e+10	1 час
¹³⁵ I	4.24e+11	7 часов



Пример сценария аварии

Первые 8 часов. Аэрозоли

Нуклид	Активность	Период	
		полураспада	
¹³¹ <i>I</i>	2.89e+13	8 суток	
¹³² I	2.59e+13	2 часа 20 мин	
¹³³ I	5.40e+13	20 часов	
¹³⁴ I	2.70e+12	1 час	
¹³⁵ I	3.67e+13	7 часов	
¹³⁴ Cs	7.20e+12	2 года	
¹³⁷ Cs	3.39e+12	30 лет	
⁹⁰ Sr	8.00e+10	29 лет	
$^{131}Te - m$	4.43e+12	1 день 6 часов	
¹⁴⁰ Ba	1.88e+12	13 суток	
¹⁴⁰ La	1.49e+11	10 суток	
¹⁴¹ Ce	4.37e+10	1 мес	



Тяжёлая запроектная авария (проект АЭС-2006 для Балтийской АЭС)/Первые 8 часов. ИРГ (продукты распада)

Нуклид	Период
	полураспада
⁸⁵ Kr	11 лет
$^{131}Xe - m$	12 суток
$^{133}Xe - m$	23 дня
$^{135}Xe - m$	15 мин



Тяжёлая запроектная авария (проект АЭС-2006 для Балтийской АЭС)/Первые 8 часов. Аэрозоли (продукты распада)

Нуклид	Период полураспада
⁸⁸ Rb	20 мин
⁹⁰ Y	2.7 суток
¹³¹ Te	25 минут
¹³⁴ Cs	2.2 года
¹³⁷ Ba — m	2.6 мин
¹³⁸ Cs	30 мин



Результат расчёта

Доза от облака, мЗв				
Точный учёт распада	Приближённый учёт распада	Приближённый/точный		
7.018e-2	9.019e-2	1.29		
	Доза от ингаляции, мЗв			
5.233e-1	5.371e-1	1.03		
Доза от	Доза от поверхности, осадки 30 мм/час, м3в			
3.634e-1	5e-1	1.38		
Доза от поверхно	Доза от поверхности, осадки 30 мм/час, прогноз 10 суток, мЗв			
3.062e+0	3.198e+0	1.04		
Доза	Доза от поверхности, без осадков, мЗв			
1.128e-1	1.556e-1	1.38		
Доза от поверхности, без осадков, прогноз 10 суток, мЗв				
9.281e-1	9.709e-1	1.05		



Пример результатов расчёта

Расчетное значение дозы от облака (мЗв) от продолжительного аварийного выброса (длительность 2 суток) Высота источника 100 м. Источник (Бк):

1131	7.0e+7
1133	2.0e+7
Cs134	8.0e+6
Cs137	1.6e+7
Xe133	1.4e+15
Xe135	7.0e+14
Kr85	2.0e+13
Kr88	3.5e+13



Учёт изменчивости погодных условий для 48-часового выброса





Расстояние до источника, м

Приведены профили максимальных вдоль сектора значений в зависимости от расстояния до источника выброса.

Заключение



На основе расчётного кода НОСТРАДАМУС был разработан расчётный код РОМ, позволяющий производить реалистичные оценки радиационной обстановки при длительных выбросах на ОИЯЭ путём задействования реальной метеорологической информации временных рядов ВМО.

Алгоритм обладает высоким быстродействием благодаря исключению повторных вычислений в серии расчётов. Длительность серии расчётов примерно равна длительности единичного расчёта, в котором время действия источника равно длительности временного ряда погоды.

Таким образом:

ускорение счёта $\approx \frac{длительность аварии}{3 часа}$

Код находится на стадии верификации. Предполагается, что результаты работы будут использоваться в работах по обоснованию безопасности РУ нового поколения для оценки радиационной обстановки при аварийных выбросах радиоактивности в атмосферу.

Х Юбилейная российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях»

22-25 СЕНТЯБРЯ 2015 г.

ДЕГРАДАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ БАРЬЕРОВ И ЕЕ РОЛЬ В ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЗРО В ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Главный инженер проекта, к.т.н. <u>В.В. Доильницына</u> Генеральный директор А.А. Собко ОАО «РАОПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург <u>vvdoilnitcyna@raoproekt.ru</u>

Приповерхностный ПЗРО



fppt.com

Деградация барьеров – ухудшение их защитных свойств

Проявления деградации:

- Изменение физико-химического состава материала барьеров
- Изменение механических характеристик барьеров

Характер деградации:

- Ø плавный
- **Ø** быстрый

Последствия деградации:

О Снижение локализующей функции защитных барьеров – выход радионуклидов в окружающую среду возможен в значимых количествах

Механизмы выхода активности:

- **Ø** диффузионный
- **Ø** Фильтрационный
- Ø денудационный

Можно ли прогнозировать долговечность барьеров?

Железобетонных – скорее да Глиняных (бентонитовых) – скорее нет

Можно ли прогнозировать наступление аварийного разрушения барьеров?

Нет.

Возможна оценка вероятности развития опасных процессов

Как максимально объективно учесть разрушение барьеров при прогнозе безопасности ПЗРО ?

Путем согласованного выбора сценариев разрушения барьеров для ПЗРО разных типов

Нормативная база

- НП 055-14 Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности
- РБ 011-2000 Оценка безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов
- МУ 2.6.5.22-00 Оценка радиационной безопасности приповерхностных пунктов захоронения радиоактивных отходов. ФУ «Медбиоэксперт».
- Стандарт организации СТО 1.1.1.04.001.0806 -2009 Оценка безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов

Инженерные защитные барьеры (НП-069-14):

- В качестве инженерных барьеров безопасности на ППЗРО, в зависимости от характеристик РАО, способа и условий их захоронения, применяются:
- упаковка РАО и ее отдельные элементы (форма РАО, контейнер);
- оболочка отработавшего закрытого источника ионизирующего излучения (далее ОЗИИИ);
- **матричный материал** (на основе металла или сплава металлов) с низкой температурой плавления (Pb, сплавы Pb, Sn, Bi) (при захоронении ОЗИИИ в сооружениях колодезного типа);
- строительные конструкции ППЗРО и их отдельные части;
- конструкционные материалы ячейки захоронения РАО, то есть конструктивно обособленного сооружения или части сооружения ППЗРО (например, отсек, камера, колодец, секция, каньон, модуль), в котором размещаются РАО для захоронения;
- буферные материалы, то есть материалы, используемые для омоноличивания РАО в ячейках захоронения, заполнения свободного пространства (пустот) в целях обеспечения стабильности ячейки захоронения РАО, снижения скорости миграции радионуклидов из РАО в ближнюю зону ППЗРО и ограничения доступа воды (атмосферных осадков и (или) подземных вод) к упаковкам РАО (например, бетон, глина, битум) или для снижения времени контакта упаковок РАО с водой (например, песок, гравий, изъятая порода, смесь песка с зернистым сорбентом);
- подстилающий экран, то есть инженерное устройство, располагающееся ниже ячеек захоронения РАО и предназначенное для гидроизоляции ячеек захоронения РАО, предотвращения распространения радионуклидов в несущие горные породы, защиты ячеек захоронения РАО от проникновения животных и корней растений;
- покрывающий экран, то есть инженерное устройство, располагающееся выше ячеек захоронения РАО и предназначенное для гидроизоляции ячеек захоронения РАО, предотвращения распространения радионуклидов из ячеек захоронения в окружающую среду, защиты ячеек захоронения РАО от проникновения животных, корней растений, а также от непреднамеренного вторжения человека.

Инженерные защитные барьеры:

ПЗРО курганного типа (отходы 4 класса)

- я первичная упаковка (200 л бочка);
- § 20-футовый контейнер;
- § верхний, боковой и нижний защитные экраны: железобетонное основание, бентонитовый слой, грунтовое покрытие и др. компоненты защитных экранов.

ПЗРО траншейного типа (НАО+САО)

- уж/б контейнер типа НЗК;
- § верхний, боковой и нижний защитные экраны: железобетонное основание, бентонитовый слой, грунтовое покрытие и другие компоненты защитных экранов.

Инженерные барьеры подвержены процессам естественной деградации (старению), приводящим к снижению защитных свойств: нормальная эволюция.

Инженерные барьеры могут быть разрушены вследствие экстремального воздействия внешних факторов: **аварийная эволюция**

Схема ближней зоны



102

водоносном горизонте.

- определение начальных граничных условий миграции И Β
- оценка миграционной проницаемости подстилающей породы;

расчет миграции радионуклидов в водоносном горизонте

Цель расчета выхода активности из ПЗРО:

целостности защитных барьеров;

расчет выхода активности из ПЗРО

(миграция в ближней зоне);

(миграция в дальней зоне)

- целостности защитных барьеров; ПЗРО прогнозирование выхода активности из при нарушении
- прогнозирование выхода активности из ПЗРО при сохранении

Расчет миграции радионуклидов из ПЗРО

включает:

Сценарии деградации защитных барьеров (на примере разработки ДОН и ПОВОС приповерхностного ПЗРО в Челябинской области)

Сценарий нормальной эволюции		Сценарий аварийной эволюции	
Траншея (НАО-САО)	Курган (ОНРАО)	Траншея (НАО-САО)	Курган (ОНРАО)
Полное сохранение барьерами защитных свойств, лет			
300	150	100	50
Полная потеря барьерами защитных свойств, лет			
500	300	200	150

Безаварийный сценарий-

целостность защитных барьеров сохраняется на весь период потенциальной опасности ПЗРО



Сценарий нормальной эволюции





ПЗРО (курган + траншея)



Сценарий нормальной эволюции







fppt.com

Сценарий нормальной эволюции







Сценарий аварийной эволюции




Сценарий аварийной эволюции



Сценарий аварийной эволюции







Выводы

- В рассмотренных примерах реализация многобарьерной защиты гарантирует нераспространение активности за пределы ПЗРО выше значимых пределов в течение всего периода потенциальной опасности радиоактивных отходов.
- Необходим согласованный специалистами выбор сценариев деградации инженерных защитных барьеров для приповерхностных ПЗРО.
- 3. Необходимо обеспечение сценариев удобным формализованным математическим аппаратом.
- Рассмотренные сценарии могут служить основой для разработки методических рекомендаций по долгосрочному прогнозированию выхода радионуклидов из ПЗРО в окружающую среду.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Расчетный комплекс ГЕОПОЛИС для обоснования безопасности пункта захоронения ЖРО

<u>Иванов В.А.</u>, Капырин И.В., Расторгуев А.В., Савельева Е.А., Сускин В.В.

Общие характеристики ПС



Назначение ПС: трехмерное численное моделирование распространения компонентов закачиваемых на полигоне «Северный» ЖРО в геологической среде.

Состав ПС:

- § Программный модуль для моделирования процессов фильтрации и переноса в геологической среде.
- § Модель полигона «Северный».
- § База данных.
- § Верификационный отчет, набор тестов, руководство пользователя.

Моделируемые процессы:

- § Фильтрация;
- § Перенос: адвекция, диффузия-дисперсия, сорбция.

Полигон «Северный»











- 5 Три водоносных горизонта;
- § Правобережный разлом отделяет полигон от р.Енисей;
- Закачка НАО (І и ІІ г-ты) и САО (І горизонт).

Границы модели





- Яплановые границы построены по линиям выхода кристаллического фундамента и рекам Енисей и Кан.
- § Нижняя граница непроницаемый кристаллический фундамент.

Я На верхней границе задана инфильтрация осадков (ГУ II рода) и учитывается взаимосвязь грунтовых и поверхностных вод (ГУ III рода).

Геологическая модель



www.ibrae.ac.ru



Для построения модели использовано:

- § 123 колонки скважин;
- **§** 15 разрезов;
- § 10 структурных карт и карт мощностей.

Выделено 10 геологических слоев:

- 1. четвертичные отложения (Q);
- 2. разделяющая толща Д;
- 3. III водоносный горизонт;
- 4. разделяющая толща Г;
- 5. II водоносный горизонт;
- 6. разделяющая толща В;
- 7. разделяющая толща F;
- 8. разделяющая толща Б;
- 9. І водоносный горизонт;

 разделяющая толща А (скальная порода фундамента).

Параметры дискретизации модели





- § Треугольно-призматическая сетка (с вырождением) состоит из 28 тыс. ячеек.
- S Сетка сгущается к зоне закачки, учитывает разлом и геологическую структуру.
- § Задача фильтрации решается неявным методом конечных объемов (МКО).
- § Задача переноса решается схемой расщепления высокого разрешения, явной по адвекции и неявной по диффузии.

Графический интерфейс программы





Период моделирования: от 01.01.1967 (начало закачки) до 01.01.2011 г.

Возможности оценки результатов



Матрица верификации ПС



Объект верификации	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модель фильтрации в однородной среде	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-
Модель фильтрации в неоднородной среде	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Модель взаимодействия подземных и поверхностных вод	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Модель адвективного переноса	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Модель молекулярной диффузии	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Модель кинематической дисперсии	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-
Модель сорбции по линейной изотерме (Генри)				-	+	-	-	-	-	-	-
Модель радиоактивного распада				-	+	-	-	-	-	-	-
Модель сорбции с коэффициентом распределения, зависящим от концентрации		_	_	_	_	_	_	_	_	_	+
нитрата натрия											

№ теста	Название теста
1.	Стационарная фильтрация к циркуляционной скважине
2.	Нестационарная плановая фильтрация в неоднородном пласте со скважиной и рекой
3.	Одномерный адвективно-диффузионный перенос
4.	Одномерный адвективный перенос
5.	Одномерный адвективный перенос с учетом сорбции и распада
6.	Закачка в скважину с учетом дисперсии
7.	Закачка в скважину без учета дисперсии
8.	Двумерный адвективно-дисперсионный перенос в неоднородном по фильтрационным свойствам водоносном горизонте
9.	Двумерная дисперсионная, одномерная адвективная миграция радионуклидов от мгновенного источника
10.	Трехмерный адвективно-дисперсионный перенос
11.	Эксперимент по сорбции стронция из растворов с различным содержанием нитрата натрия на грунтах, отобранных в районе озера Карачай (ФГУП «ПО «Маяк»»).

Результаты прогнозного моделирования Sr-90 (на 2311 г)



ИБРАЭ

Результаты прогнозного моделирования Cs-137, Ru-106, Sr-90 (на 3011 г. I горизонт)



122

ИБРАЭ

Выводы



В настоящее время на аттестацию подан расчетный комплекс «ГЕОПОЛИС», который представляет возможности:

- § Проведения прогнозного и эпигнозного численного моделирования распространения радионуклидов на полигоне «Северный» в геологической среде.
- 9 Работы в режиме постоянно действующей геофильтрационнойгеомиграционной модели.
- § Обоснования безопасности полигона на эксплуатационном и постэксплуатационном периодах.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Новые подходы к гидрогеологическому моделированию в расчетном коде GeRa

Капырин И.В., Коньшин И.Н., Копытов Г.В., Пленкин А.В., Расторгуев А.В., Василевский Ю.В., Болдырев К.А. ИБРАЭ РАН – ИВМ РАН

Расчетный код GeRa



Цель - создание интегрального расчетного кода для решения комплекса вопросов по обоснованию безопасности захоронения РАО.



Возможности кода GeRa сегодня



Моделирование:

- § геологическое
- § геофильтрационное
- § геомиграционное





Основные моделируемые процессы (v.1+v.2)



- Фильтрация (напорная, безнапорная, ненасыщенная, двухфазная);
- Адвективно-диффузионно-дисперсионный массоперенос (в гомогенной и двупористой средах);
- Геохимия (равновесная и неравновесная, по изотермам и с расчетом реакций);
- Цепочки радиоактивного распада;
- Плотностная конвекция;
- Теплоперенос, тепловыделение при радиоактивном распаде;
- Тепловая конвекция с переменной вязкостью растворов;
- Коллоидный перенос веществ;
- Геомеханические процессы

5

6

7

8

9

Используемые численные методы



G	За	пуск р	асчето	ЪΒ		?	x
Дискре	тизация за	адачи	фильт	граці	ии		
● O-cxe	ма						
О Двухт	гочечная схе	ема					
○ Нели	нейная схем	ıa					
Дискре	тизация за	адачи	перен	loca			
• Схема	а расщеплен	ния по о	физиче	еским	проце	ссам	
Адвекция	1		Диффузи	19			
◯ Cxe	ма 1 порядка		🔿 Двух	точечна	ая схема		
Cxe	ма 2 порядка		0-cxe	ема			
НеявиНеяви	ная схема ли ная схема не	инейно елиней	го МКО ного М) KO			
Числов	ые параме	етры м	юдели	1			
Дата на	чала модели	ировани	1Я	(01.01.1	967	•
Шаг мод	елирования	1		(),0500		-
Дата око	ончания мод	целиров	ания		30.01.1	967	•
Сохране	ние каждый	i			1	С ш	аг
Каталог р	езультатов	C:\temp\	results				
	ОК	Sav	/8	Ca	ncel	[
	U.	54	-	Gu			

Основные требования:
Сохранение массы
Высокий порядок точности
Работа на произвольных многогранных сетках, с произвольными параметрами
Монотонность
Высокое качество переноса фронта (низкая численная диффузия)

Возможность параллелизации





Миграция загрязнения





Влагонасыщенность пород





Тест 6: моделирование переноса в зоне аэрации (продолжение)





GeRa





Ненасыщенная фильтрация: задача о капиллярном барьере





Постановка задачи





Задача о капиллярном барьере: сопоставление просачивания через барьер





Результаты GeRa

Результаты FEFLOW и TOUGH2

- Результаты соответствуют FEFLOW и др. кодам.
- В решении GeRa не наблюдается осцилляций.

Плотностная конвекция: задача Элдера





Параметры задачи определяют неустойчивость решения.
 На грубых и мелких сетках – разная структура решения



Задача Элдера: решение на мелкой сетке



Схема 1 порядка

Схема 2 порядка



www.ibrae.ac.ru

Возможности учета геохимических взаимодействий



Моделирование закачки в пласт растворов с разной концентрацией NaNO3

Постановка задачи:

- Сбалансированная работа 4 нагнетательных скважин и одной разгрузочной;
- Содержание NaNO3: 0, 0.2, 0.4, 0.6 моль/л;
- Содержание Sr: 3.3E-9.
- Раствор соответствует внутрипластовому (Na, K, Ca, Cl и др. элементы).



Напор в области



Моделирование закачки в пласт растворов с разной концентрацией NaNO3





Ключевые достоинства кода GeRa



- § Широкий спектр моделируемых процессов, ряд продвинутых моделей;
- Успользование современных численных методов (сетки, дискретизации);
- § Параллельность, вычислительная эффективность;
- Унтегральный подход: полная цепочка моделирования вплоть до доз;
- § Привязка к российским объектам (процессы, параметры и т.д.);
- § Высокоразвитый графический интерфейс, отчуждаемость.

Референтные проекты:

ASCEM, Минэнерго США(LANL, SRNL, LBNL, PNNL, ORNL + ...+ИБРАЭ) MODFLOW-USG (USGS+Shlumberger), FEFLOW (WASY Gmbh)

Подача на аттестацию – 2015 год.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В НЕОДНОРОДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

П.С. Кондратенко ИБРАЭ РАН

Х юбилейная Российская научная конференция

«Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях»

Москва, ИБРАЭ РАН, 23.09.15

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Предлагается новый метод в теории неклассических процессов переноса



Содержание



- **q** Введение
- ч Неклассические процессы переноса
 Физические модели
- **q** Асимптотический подход
- **q** Заключение

Введение



§ Сильное расхождение между предсказаниями классических моделей и полевыми экспериментами

(Leonid Bolshov, Peter Kondratenko, Karsten Pruess, and Vladimir Semenov Vadose Zone J Nov 26 2008: 1135–1144)

9 Физические модели неклассических процессов переноса, разрабатываемые в ИБРАЭ РАН



Что мы называем неклассическими закономерностями?

Размер облака примеси в зависимости от времени

$$R(t) \propto t^{\gamma}$$

классическая диффузия $\gamma = 1 / 2$

супер-диффузия $\gamma > 1 / 2$

суб-диффузия $\gamma < 1/2$



Введение +



- **q** Природа неклассических закономерностей
 - Фрактальная структура трещин и масштабная инвариантность вместо статистической однородности
 - 9 Резкий контраст в распределении структурных характеристик среды

Неравновесный характер процессов переноса: Длины корреляции и времена релаксации сравнимы или больше, соответственно, расстояний и времен наблюдения. Нелокальные зависимости.
Неклассические процессы переноса Модель случайной адвекции



Уравнение переноса:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \left(\stackrel{\mathsf{f}}{vc} \right) = 0$$

 $\dot{v}(\dot{r})$ Случайная скорость (< \dot{v} >= 0, $div\dot{v}$ = 0) Дальнодействующие корреляции:

$$K_{ik}\left(\stackrel{\Gamma}{r_1},\stackrel{\Gamma}{r_2}\right) \equiv < v_i\left(\stackrel{\Gamma}{r_1}\right)v_k\left(\stackrel{\Gamma}{r_2}\right) > \propto V^2\left(a / \left|\stackrel{\Gamma}{r_1}-\stackrel{\Gamma}{r_2}\right|\right)^{2h} \quad at \quad \left|\stackrel{\Gamma}{r_1}-\stackrel{\Gamma}{r_2}\right| >> a$$

Масштабная инвариантность: К_і

$$\lambda_{ik} \left(\lambda r_1^{\mathsf{I}}, \lambda r_2^{\mathsf{I}} \right) = \lambda^{-2h} K_{ik} \left(r_1^{\mathsf{I}}, r_2^{\mathsf{I}} \right)$$

Теория критических явлений

h - масштабная размерность скорости адвекции

Модель случайной адвекции (+)



Основные результаты

Размер облака примеси

$$h > 1$$
: $R(t) \sim \sqrt{4Dt}$, $D \sim Va$

классическая диффузия

$$h < 1: \quad R(t) \sim (Va^{h}t)^{\gamma},$$
$$\gamma = 1/(1+h) > 1/2$$

супер-диффузия

Модель случайной адвекции (+)



Основные результаты

Концентрационные хвосты c(r,t) для r >> R(t) $c(r,t) \propto \exp(-\Gamma(r,t))$

$$h > 1:$$
 $\Gamma(\stackrel{\Gamma}{r},t) = \left(\frac{r}{R(t)}\right)^2$

Классический Гауссов

$$h < 1:$$
 $\Gamma(\stackrel{\Gamma}{r}, t) = (r / R(t))^{\frac{1}{1-\gamma}}$ Супер-
диффузионный





Принципиальные трудности на пути прямой численной реализации неклассических моделей переноса

Управляющее уравнение

$$\int_{0}^{t} dt' \frac{t_{0}^{\alpha-1}}{\left(t-t'\right)^{\alpha}} \frac{\partial c\left(\stackrel{r}{r},t'\right)}{\partial t'} + \frac{\partial}{\partial x_{i}} \int_{0}^{t} dt' \int d^{3}r' I_{ik}\left(\stackrel{r}{r}-r',t-t'\right) \frac{\partial c\left(\stackrel{r}{r'},t'\right)}{\partial x_{k}'} = 0,$$

 $0 < \alpha < 1$

Узвестны могут быть только автомодельные свойства интегрального ядра

$$I_{ik}\left(\stackrel{!}{r}-r',t-t'\right)$$

- § Учет крупномасштабных неоднородностей среды ???
- § Граничные условия ???



Практический интерес представляет концентрация радионуклидов при r >> R(t) :

- Результаты анализа
- Экспоненциальный характер асимптотик

 $c(\mathbf{r},t) \propto \exp\{-\Gamma(\mathbf{r},t)\}, \qquad \Gamma(\mathbf{r},t) >> 1$

Формирование асимптотик происходит за счет коротковолновой части распределения характеристик среды

$$r \left| \nabla \Gamma \left(\stackrel{\Gamma}{r}, t \right) \right| >> 1$$

§ Функция $\Gamma(\stackrel{l}{r},t)$ удовлетворяет нелинейному уравнению в частных производных <u>первого порядка</u>



Аналогии

- § Классическая механика. Уравнение Гамильтона Якоби
- § Геометрическая оптика. Уравнение эйконала.
- § Квантовая механика.
 - Приближение Вентцеля Крамерса Бриллюэна.



Вариационный принцип – модифицированный принцип Ферма

$$c(\stackrel{f}{r},t) \propto \exp\{-\Gamma(\stackrel{f}{r},t)\};$$

$$\Gamma(\stackrel{f}{r},t) = \min_{p,L} \Gamma(\stackrel{f}{r},t;p,\{L\}) \qquad \qquad \delta_{p,\{L\}} \Gamma(\stackrel{f}{r},t;p,\{L\}) = 0$$

$$\Gamma = \int_{0}^{r} dl \kappa(p, r) - pt - \kappa вазиэйконал,$$

$$\int_{0}^{r} \kappa(p, r) = b(r) p^{\gamma(r)} - \kappa вазиволновой вектор$$

$$b(r), \gamma(r) - xарактеристики среды$$

Интеграл – вдоль траектории концентрационного сигнала L



Простой пример









Pierre de Fermat (1601 – 1665)

§ Принцип минимальной длины оптического пути (Пьер Ферма, 1660)

Заключение



Отличительные особенности асимптотического подхода

§ Простота

Вместо интегрального ядра требуется знание всего двух (!!!) параметров, характеризующих среду

- Управляющее уравнение в частных производных первого порядка
- Вариационный принцип модифицированный принцип Ферма Частичная жертва точностью
- **Возможность учета крупномасштабных неоднородностей**

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Программный код «Сибилла» для расчета содержания радионуклидов в водных объектах и дозы облучения населения от водопользования

> Крылов А.Л. ИБРАЭ РАН

Х юбилейная Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях»

Москва, ИБРАЭ РАН, 23.09.15

Назначение кода Сибилла



Программное средство «Сибилла» предназначено для расчета содержания радионуклидов в воде и донных отложениях пресных водных объектов, а также для расчета дозы облучения населения, формируемой за счет хозяйственного использования водных объектов, подверженных влиянию со стороны ОИАЭ



Сибилла может использоваться для расчета последствий как штатного, так и аварийного поступления радиоактивных веществ в водные объекты

Данный программный код может быть использован на всех стадиях «жизненного цикла» ОИАЭ для обоснования экологической безопасности включая: предпроектные и проектные стадии, их строительство, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Код Сибилла может быть также использован для поддержки принятия решений в случае возникновения аварийных ситуаций

Виды водных объектов и источников



Виды водных объектов:

- § Однородный водоем
- § Крупный водоем, который может быть разделен на однородные участки
- § Река (водоток)
- **5** Системы, состоящие из объектов вышеуказанных типов

Виды источников поступления радионуклидов:

- § Выпадения из атмосферы
- § Сброс через штатные и нештатные сбросные устройства
- § Смыв с загрязненных водосборов
- § Поступление с водами загрязненных притоков

Мгновенные источники, а также источники постоянной и переменной интенсивности

Учитываемые виды облучения



Внутренне облучение:

- § Потребление рыбы
- § Потребление питьевой воды
- § Потребление мяса и молока скота, выпасаемого на заливных или орошаемых землях и/или при использовании воды из водного объекта для водопоя скота
- § Потребление овощей выращенных на орошаемых территориях и пойме

<u>Внешнее облучение:</u>

- § Пребывание на пойме
- § Пребывание на орошаемых территориях
- § Плавание, купание
- § Пребывание на плавсредствах (лодка)
- § Пребывание на берегу

Учитываемые процессы миграции РВ



- § Радиоактивный распад
- § Водообмен, перенос и разбавление
- § Вынос активности за пределы водного объекта за счет проточности, технологических потерь, испарения, фильтрации через дно и борта водоема
- S Сорбция и десорбция радионуклидов на взвесях и донных отложениях
- **§** Осаждение и взмучивание взвесей
- § Заиление
- § Диффузионный перенос между толщей воды и донными отложениями

Условие применимости



- § Принадлежность водного объекта к одному из вышеуказанных типов
- § Преобладание абиотического переноса радионуклидов преобладает над биотическим
- § Для однородного водоема моделирование возможно только на периоды времени большие времени перемешивания внутри водоема и времени установления сорбционного равновесия

Ограничения на применение (2)



Для рек расчеты возможны для участков достаточно удаленных от источника:

- Время, затрачиваемое потоком воды для преодоления указанного расстояния достаточно для установления сорбционного равновесия
- На указанном удалении достигается перемешивание активности по поперечному сечению русла. Консервативные оценочные расчеты возможны для участков, на которых поперечное перемешивание еще не достигнуто, но достигнуто полное перемешивание активности по глубине

Объекты, использованные при верификации



- **9** Озера Святое, Эствейт, Виндермер (ЧАЭС)
- **§** Озеро Тыгиш (ВУРС)
- § Река Плава (ЧАЭС)
- § Река Теча (Маяк)
- § Река Томь (СХК)
- § Киевское водохранилище (ЧАЭС)

Верификация

Проведенные верификационные расчеты: •63 сравнения с данными натурных измерений •8 реальных водных объектов (трех типов) •Кроме того проведены аналитические тесты

Статистический анализ сравнения результатов расчетов объемной активности РВ в воде с

данными измерений 5E5 Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между измеренной и R = 0.98;рассчитанной объемной активностью (непараметрическая статистика) p < 10⁻⁹ 50000,000 Относительное среднеквадратичное отклонение расчетного значения от 48,9% 5000,000 измеренного 55.6% Доля случаев превышения измеренного значения над расчетным 500.000 47,6% Доля случаев, когда расчетная и измеренная объемная активность отличались более, чем в 1,5 раза 50,000 Доля случаев, когда расчетная и измеренная объемная активность 19,0% отличались более, чем в 2 раза 5.000 Доля случаев, когда расчетная и измеренная объемная активность 4.76% 0,500 отличались более, чем в 3 раза Доля случаев, когда расчетная и измеренная объемная активность 1.59% 0,050 отличались более, чем в 5 раз 0% Доля случаев, когда расчетная и измеренная объемная активность 0.005 0.05 0,50 5.00 50,00 500,00 5000,00 50000,00 отличались более, чем в 10 раз Измеренная удельная активность, Бк/м





















Киевское водохранилище





Часть водохранилища		Донные отложения, Бк/кг		Вода (сумма взвесь + раствор), Бк/м ³	
		Измерения	Расчет	Измерения	Расчет
Верхняя водохранилища	часть	12210±4070	11618	1036±370	421
«Страхолесье»		7770±2590	6722	-	207
«Сухолучье»		5180±1850	5725	281±102	144
«Глебовка»		4440±1480	4515	385±133	154
Нижняя водохранилища	часть	2950±740	4189	414±133	159

Заключение



- § В 52,4% случаев рассчитанные и измеренные объемные активности в воде отличались не более, чем в 1,5 раза и в 95% случаев не более, чем в 3 раза. Погрешность определяется, прежде всего, неопределенностью входных данных.
- § Данную точность можно считать приемлемой для радиологических целей проведения расчетов – оценок дозы для населения, формируемой за счет водопользования.
- § Таким образом ПС «Сибилла» может использоваться на практике для прогнозирования радиационной обстановки в ситуациях, связанных с поступлением радиоактивных веществ в водные объекты.
- § Программный код Сибилла подан на аттестацию

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Влияние диффузионного барьера на перенос примеси в статистически однородных трещиновато-пористых средах

Докладчик: студент 186 гр. Кузнецов Михаил Александрович. Научный руководитель: к.ф.-м.н. Матвеев Леонид Владимирович.

Проблема захоронения РАО



- Барьеры обладают конечной проницаемостью и со временем подвержены разрушению.
- Часть РАО может попадать за пределы хранилища, где барьер геологические формации.
- Для обоснования надежности захоронений необходимо уметь описывать характеристики переноса радионуклидов в такой системе.

Цель работы



Анализ процессов и описание режимов переноса в статистически однородных трещиновато-пористых средах для случая, когда источник примеси отделен от основной области переноса диффузионным барьером.

Постановка проблемы и основные соотношения.





Модель статистически однородной двупористой среды (ДС) с источником (И), окруженным барьером (ДБ)

Постановка проблемы и основные соотношения.



$$c\left(\vec{r},t\right) = \int_{0}^{t} dt' Q\left(t-t'\right) G\left(\vec{r},t'\right)$$
$$N_{B}(t) = \int d^{3}r c\left(\vec{r},t\right)$$

$$\langle \vec{r}_{\parallel B} \rangle = \frac{1}{N_B(t)} \int c(t, \vec{r}) \vec{r}_{\parallel} d^3 \vec{r}$$

 $G(\vec{r},t)$,-

функция Грина для задачи переноса примеси в двупористой среде в отсутствие барьера.

$$\left[\sigma_{\alpha B}(t)\right]^{2} = \frac{1}{N_{B}(t)} \int c(t,r) (r_{\alpha} - \langle r_{\alpha} \rangle)^{2} d^{3}r, \quad \alpha = \parallel, \bot$$

Эффективный источник, определяемый наличием диффузионного барьера.







Неравновесная модель двупористой среды.

MEPAG

Характерные времена

$$t_{b} = \left(\frac{V_{b}}{S_{b}}\right)^{2} \frac{1}{\tilde{d}} \qquad \qquad t_{a} = \left(\frac{V_{b}}{S_{b}A}\right)^{2} \frac{1}{\tilde{d}}$$

 t_a : количество примеси в блоках ≈ количеству примеси в трещинах.

 t_b : установление равновесия концентрации внутри блоков.

Неравновесная модель двупористой



среды.

Режимы переноса безбарьерной задачи:

$t \ll t_a$	$t_a \ll t \ll t_b$	$t \gg t_b$
$N = N_0$	$N \cong N_0 \sqrt{\frac{t_a}{\pi t}}$	$N \cong N_0 \sqrt{\frac{t_a}{t_b}}$
$\langle \vec{r}_{\parallel} \rangle = ut$	$\langle \vec{r}_{\parallel} \rangle \cong \sqrt{D_u t}$	$\langle \vec{r}_{\parallel} \rangle \cong u \sqrt{\frac{t_a}{t_b}} t$
$\sigma_{\perp}^{2} = Dt$	$\sigma_{\perp}^{2} \cong D\sqrt{t_{a}t}$	$\sigma_{\perp}^{2} \cong 2D \sqrt{\frac{t_a}{t_b}} t$
$\sigma_{\parallel}^{2} = Dt$	$\sigma_{\parallel}^{2} \cong D_{u}t$	$\sigma_{\parallel}^{2} \cong 4BD_{u}t$

Режимы переноса и соответствующие интервалы времени при наличии диффузионного барьера

 t_m

$$t \ll \sqrt{t_a t_m}$$

при таких временах режимы следующие:

$$N_{B}(t) = Q(t)t_{eff}(t) = 4N_{0}\sqrt{\frac{t_{m}}{t}}e^{t}$$
$$\langle r_{\parallel B} \rangle = ut_{eff}(t) = u\frac{t^{2}}{t_{m}}$$
$$\sigma_{\parallel B}^{2}(t) = 2Dt_{eff}(t) = 2D\frac{t^{2}}{t_{m}}$$
$$\sigma_{\perp B}^{2}(t) = 4Dt_{eff}(t) = 4D\frac{t^{2}}{t_{m}}$$



Режимы переноса и соответствующие интервалы времени при наличии диффузионного барьера

$$\sqrt{t_a t_m} \ll t \ll \sqrt{t_b t_m}$$

при таких временах режимы следующие:

$$N_{B}(t) = Q(t \sqrt{t_{a}t_{eff}} = 4 N_{0} \sqrt{\frac{t_{a}t_{m}^{2}}{t^{3}}}e^{-\frac{t_{m}}{t}}$$

$$\langle r_{\parallel B} \rangle = u \sqrt{t_{a}t_{eff}(t)} = ut \sqrt{\frac{t_{a}}{t_{m}}}$$

$$\sigma_{\parallel B}^{2}(t) = D_{u} t_{eff}(t) = D_{u} \frac{t^{2}}{t_{m}}$$

$$\Gamma A e D_{u} = u^{2}t_{a}$$

$$\sigma_{\perp B}^{2}(t) = D \sqrt{t_{a}t_{eff}(t)} = Dt \sqrt{\frac{t_{a}}{t_{m}}}$$

180
$$\sqrt{t_b t_m} \ll t \ll t_m$$

при таких временах режимы следующие:

$$N_{B}(t) = Q(t)t_{eff}\sqrt{\frac{t_{a}}{t_{b}}} = 4N_{0}\sqrt{\frac{t_{a}t_{m}}{tt_{b}}}e^{-\frac{t_{m}}{t}}$$

$$\langle r_{\parallel B}\rangle = u\sqrt{\frac{t_{a}}{t_{b}}}t_{eff}(t) = ut^{2}\sqrt{\frac{t_{a}}{t_{b}t^{2}}}_{m}$$

$$\sigma_{\parallel B}^{2}(t) = 4BD_{u}t_{eff}(t) = 4BD_{u}\frac{t^{2}}{t_{m}}$$

$$\Box e \quad D_{u} = u^{2}t_{a}$$

$$\sigma_{\perp B}^{2}(t) = D\sqrt{\frac{t_{a}}{t_{b}}}e_{eff}(t) = Dt^{2}\sqrt{\frac{t_{a}}{t_{b}t}}_{m}$$

181



$$t \gg t_m$$

при таких временах режимы следующие:

$$N_B(t) \cong N_0 \sqrt{\frac{t_a}{t_b}}$$
$$\langle r_{\parallel B} \rangle \cong u \sqrt{\frac{t_a}{t_b}} t$$

 $\sigma_{\parallel B}^{2}(t) \cong 4BD_{u}t$

$$D_u = u^2 t_a$$

$$\sigma_{\perp B}^{2}(t) \cong 4D \sqrt{\frac{t_a}{t_b}} t$$









Заключение



• На временах *t* << *t_m* закономерности как в безбарьерной задаче, но с заменой *t* на

$$t_{eff} = \frac{t^2}{t_m}$$

• Границы временных интервалов смещаются:

$$t_a \to \sqrt{t_a t_m} \qquad t_b \to \sqrt{t_b t_m}$$

• На временах *t* >> *t_m* происходит перенос в режиме безбарьерной задачи.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА БАЗЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ (МОДЕЛЬ WRF-ARW) И ЛАГРАНЖЕВОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Р.В. Арутюнян, В.Н. Семенов, О.С. Сороковикова,
Д.А. Припачкин, Д.В. Дзама, В.С. Никифоров,
К.Г. Рубинштейн, Р.Ю. Игнатов, М.М.Смирнова,
И.М. Губенко, Т.С.Моргунова

10-я Юбилейная Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» Москва, 2015



Содержание

- Введение. Цели создания и решаемые задачи
- Структура системы
- Техническая реализация. Подготовка исходных данных. Взаимодействие с кластером.
 Расчеты. Представление результатов
- Примеры использования системы. Фукусима,
 Электросталь и АЭС на территории РФ
- Заключение

Введение



 В рамках реализации ряда мероприятий ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» с 2008 по 2015 годы в ИБРАЭ РАН, совместно с Гидрометцентром России была создана система оперативного прогнозирования радиационной обстановки вокруг ЯРОО, расположенных на территории Российской Федерации.

- Общей проблемой для всех подходов к переносу является учет рельефа местности и вариабельности метеопараметров, которые оказывают существенное влияние на перенос и прогнозирование радиационной обстановки.
- Совместное использование моделей для прогнозирования метеообстановки (WRF-ARW) с высоким пространственном разрешением и распространения радиоактивных веществ в окружающей среде (Лагранжева модель, НОСТРАДАМУС).





 Получение и хранения информации о состоянии атмосферы в радиусе 100 км над территориями Российских АЭС.

• Обеспечение качественного и оперативного прогноза на сроки до **2 суток** метеорологических полей с высоким пространственным разрешением.

 Прогноз переноса и осаждения радионуклидов в 100 километровых зонах вокруг АЭС России в автоматическом режиме в случаях внештатных ситуаций на АЭС.

 Представление информации о метеорологической и радиационной обстановке в виде, способствующем принятию оптимальных решений при возникновении угрозы ЧС с радиационным фактором.

Система аварийного реагирования ГК «Ростатом»

Результаты прогнозирования метеои радиационной обстановки МЧС

190

Гидродинамический прогноз Полей ветра в нижней тропосфере, Осадков и коэффициентов Турбулентности (модель WRF-ARW) Прогнозирование распространения радиоактивных веществ в атмосфере Лагранжева стохастическая модель переноса примеси (НОСТРАДАМУС)

Начальные и граничные условия для гидродинамической Модели (NCEP, Гидрометцентр РФ)



Структура системы

БД

Техническая реализация системы





Клиентское и серверное приложение системы





Общая схема работы системы



- Отправка клиентом запроса на проведения прогнозирования радиационной обстановки (5 мин)
- Получение и обработка запроса в ТКЦ ИБРАЭ РАН (**1 мин**)
- Запуск и работа подсистемы численного прогноза метеорологических полей (**30 мин**)
- Запуск подсистемы моделирования переноса радиоактивных веществ (15 мин)
- Запуск и создание отчета с помощью подсистемы комплексного представления данных мониторинга и прогноза метеорологической обстановки (2 мин)
- Получение клиентом ответа на запрос о прогнозе радиационной обстановки (1 мин)

Общее время – 54 мин (базовый прогноз)

Оценка возможных радиационных последствий аварии на Балаковской АЭС (16:00, 13 мая 2014) с помощью системы



Метеорологическая обстановка

Ветер на высоте 10м (м/с) (направление- стрелочками, модуль - изолиниями) в регионе Балаковской АЭС Прогноз от 04:00 2014.05.13 на 04:00 2014.05.15 (местное) (от 04:00 2014.05.13 на 04:00 2014.05.15 по Москве)



Радиационная обстановка

Функция: Мощность (мкЗв/час): от поверхности, эффективная; Нуклид: суммарный; Срок: 10 суток



Рекомендации по мерам защиты с помощью



системы

Прогноз дозовых нагрузок в начальный период аварии

÷

•					
Удаленность от	Инг. доза на	Инг. доза на	Доза от	Доза от	Доза
ист., <u>км</u>	щитовидку	щитовидку	облака,	поверхности	внешняя
	дети, <u>мЗв</u>	взрослые, <u>мЗв</u>	M3B	10 суток, <u>мЗв</u>	10 суток,
					мЗв
1	3.8E4	2E4	12	1.2E3	1.2E3
2	4.2E4	2.2E4	13	1.3E3	1.3E3
3	3.1E4	1.7E4	10	9.9E2	1E3
4	2.1E4	1.1E4	6.9	6.8E2	6.9E2
5	1.5E4	7.8E3	5	4.9E2	4.9E2
6	1.2E4	6.5E3	4.2	4.1E2	4.2E2
7	1E4	5.4E3	3.6	3.5E2	3.5E2
8	7.7E3	4.1E3	2.8	2.7E2	2.7E2
9	6.3E3	3.4E3	2.3	2.2E2	2.3E2
10	5E3	2.7E3	1.9	1.8E2	1.8E2
12	3.4E3	1.8E3	1.3	1.2E2	1.3E2
14	2.5E3	1.3E3	0.98	92	93
16	1.8E3	9.8E2	0.74	69	70
18	1.6E3	8.6E2	0.61	58	59
20	1.2E3	6.5E2	0.47	45	46
22	1E3	5.4E2	0.4	38	38
24	8.9E2	4.8E2	0.35	33	33
26	7.7E2	4.1E2	0.31	29	29
28	7E2	3.7E2	0.28	27	27
30	6.3E2	3.4E2	0.26	24	24
35	5.1E2	2.7E2	0.21	20	20
40	4.2E2	2.3E2	0.18	17	17
45	3.8E2	2E2	0.16	15	15
50	3.4E2	1.8E2	0.14	13	13
60	2.6E2	1.4E2	0.12	11	11
70	1.8E2	96	0.087	7.8	7.8
80	1.4E2	76	0.071	6.3	6.3
90	98	53	0.053	4.6	4.6
100	83	44	0.035	3.2	3.2

Защитные меры по населенным пунктам в соответствии с критериями принятия неотложных решений (Таблица 6.3, НРБ-99/2009)

		- не ⁻	требуется комендуется	(ниже уровня А)			
		- тре	буется	(выше уровня Б)			
N	Населенный пункт	Население	Удаленность от ист., <u>км</u> ,	Укрытие	Йодная профилактика Дети	Йодная профилактика Взрослые	Эвакуация
1	Победа	146	18.34				
2	Натальино	1500	3.905				
3	Новояблонка	245	33.35				
4	Селитьба	377	28.88				
5	Демкино	150	25.45				
6	Богородское	359	13.47				
7	Елшанка	792	54.64				
8	Сосновая Маза	1202	44.94				
9	Матвеевка	726	7.452				
10	Елховка	326	49.61				
11	Николаевка	540	12.24				
12	Апалиха	658	29.57				
13	Акатная Маза	444	44.55				
14	Дубовый Гай	283	52.86				
15	Поповка	422	57.63				
16	Горюши	425	58.34				
17	Еремкино	248	62.38				



Примеры использования

Системы оперативного прогнозирования радиационной обстановки

196

Моделирование атмосферного переноса с учетом подробных метеоданных на территории Японии. Южный след



ИБРАЭ

Моделирование атмосферного переноса с учетом подробных метеоданных на территории Японии. Северо-Западный след.





Оценка распространения облака высотного выброса с учетом пространственно-временных полей метеопараметров



Облако выброса Cs-137



11 апреля 2013, 10:00

Сравнение результатов моделирования с данными измерений НПО ТАЙФУН





Пункт наблюдения	Измерение, Бк/мЗ	Расчет, Бк/мЗ
Одинцовский р-он МО	4.6 10-5	8.4 10-5
г. Обнинск	7.3 10-5	2.3 10-4
Зона наблюдения КАЭС	8.6 10-4	6.4 10-4
г. Санкт-Петербург	3.2 10-4	4.6 10-4
Зона наблюдения ЛАЭС	2.0 10-4	2.5 10-4
г. Хельсинки	4.5 10-5	2.5 10-5

Радиационная обстановка на территории Европейской части Российской Федерации



Годовая доза

Мощность дозы



Максимальное значение < 1 нЗв в год

Максимальное значение $< 1.10^{-6}$ мк3в/час

Оценка выпадений радиоактивных веществ на основе прогностических полей метеорологических

параметров

Ленинградская АЭС

04:00 16.03.2015



Кольская АЭС

12:00 29.06.2015



ИБРАЭ

Оценка выпадений радиоактивных веществ на основе прогностических полей метеорологических параметров

ИБРАЭ

Смоленская АЭС

09:30 21.05.2015

НИИАР





Заключение



Система оперативного прогнозирования радиационной обстановки разработанная в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» является одним из положительных результатов реализации ФЦП. В настоящее время оценка и прогноз радиационной обстановки в России базируется на принципе постоянства метеоусловий, что справедливо только в случае кратковременных выбросов. Современные подходы к аварийному прогнозированию распространения радионуклидов в атмосфере в случае аварии на АЭС разрабатываемые в ИБРАЭ РАН, учитывают неоднородность метеоусловий, как во времени, так и в пространстве.

Система аварийного прогнозирования позволяет оценивать радиационную обстановку вокруг АЭС в радиусе 100 км с учетом трехмерных полей метеоданных. Может быть использована для новых подходов к зонированию при принятии решений по мерам защиты населения.

Прогнозы радиационной обстановки полученные с помощью системы, доказали свою надежность, при использовании системы для оценки последствий реальных аварий и инцидентов (Фукусима, Электросталь). Идет активная верификация системы на данных международных экспериментов (ACURATE и Karlsruhe).

Система функционирует на базе технического кризисного центра (ТКЦ) ИБРАЭ РАН. В настоящий момент система охватывает 8 действующие АЭС. В 2014 году СКЦ Росатома был подключен к системе оперативного прогнозирования радиационной обстановки. В 2015 году к системе были подключены НИИАР (СКЦ) и Ленинградская АЭС (в рамках КПУ 2015).



В создании системы принимали участие:

- Дзама Д.В.
- Меркушов Д.В.
- Никифоров В.С.
- Припачкин Д.А.
- Сороковикова О.С.
- Семенов В.Н.
- Рубинштейн К.Г.

- Игнатов Р.Ю.
- Смирнова М.М.
- Зайченко М.Ю.
- Губенко И.М.
- Сафронов А.Н.
- Емелина С.В.
- Благодатских Д.В.
- Моргунова Т.С.



10-я Юбилейная Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях»

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Оценка загрязнённости атмосферного воздуха радионуклидами по их содержанию в снежном покрове в окрестностях АО «УЭХК»

Докладчик:

начальник отдела ООС

А.В. Наливайко

23.09.2015

Предприятие по производству обогащенного урана, преемником которого является ОАО «УЭХК», создано по постановлению Совета Министров СССР от 30.12.1945 № 3008-893. Ядерная установка комбината находится в постоянной эксплуатации с 1949 года по настоящее время. Промышленное газоцентрифужное производство обогащенного урана действует на предприятии с 1962 года.

АО «УЭХК» является крупнейшим в мире производителем обогащенного урана, обеспечивая около 50 % разделительных мощностей Российской Федерации.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 25.08.1993 № 861 АО «УЭХК» принимало участие в работах по переделу высокообогащенного оружейного урана в низкообогащенный гексафторид урана.



Место АО «УЭХК» в ядерно-топливном цикле Росатома



Производственный экологический контроль предприятия охватывает все объекты окружающей среды



www.tvel.ru 🌾

Измерения проводят аккредитованной лабораторией

Объект	Элемент	МВИ	Диапазон	Погрешность Δ*, %
Атмосферный воздух	Ni		50 — 50 000 нг/м ³	35
	Cu		10 – 10 000 нг/м ³	38
	Cd	ИП 16.657-2009	0,5 – 500 нг/м ³	36
	Pb		5 – 5 000 нг/м ³	36
	U		0,5 – 500 нг/м ³	36
	α-активные РН	РД 95 10360-95	0,05 – 100 000 мБк/м ^з	45
Вода (снег)	Pb		1 – 500 мкг/дм ³	12
	U	VIIT T0.500-2009	0,01 – 100 мкг/дм ³	36
	α-активные РН	РД 95 10392-95	0,05 – 300 Бк/дм ^з	45

* - Погрешности приведены для диапазонов концентраций, приведенных далее в

данном докладе



Применяемые методы анализа позволяют определять содержание тяжелых металлов в атмосферном воздухе, но не позволяют определить содержание РН

Содержание в атмосферном воздухе промплощадки, нг/м ³ (среднее/максимальное)					
Cd	Cu	Ni	Pb	Альфа- активность, мБк/м ³	U
<1,1/12,1	133/1410	61/490	35/570	<0,15/1,35	<0,5/<0,5

Отбор среднесуточных проб воздуха проводили ежедневно согласно п. 2.3 РД 52.04.186-89



Решили оценить содержание РН в атмосферном воздухе по содержанию РН в атмосферных выпадениях (снеге)

Среднегодовая концентрация i-го вещества в приземном слое воздуха (C_i, Бк(мг)/м³) связана с интегральной величиной выпадения i-го вещества на поверхность снежного покрова (F_i, Бк(мг)/м²) соотношением :

 $C_{i} = \frac{F_{i}}{T_{_{3UM}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot V_{g,i}}$ $T_{_{3UM}} - продолжительность зимнего периода, сут.;$ $<math>v_{_{g,i}} - средняя скорость осаждения і-го вещества в воздухе, м/с$

Скорость осаждения – это эмпирическая величина, характеризующая взаимодействие конкретного вещества с местностью. Она не является скоростью в кинематическом смысле – её величину определяют как скорость гравитационного оседания, так и механизмы захвата и адсорбции примеси поверхностью



Отобрано 26 проб снега в вблизи основных источников выбросов РН, а также 3 фоновых пробы на расстоянии 15 км от предприятия





Ø/словия осаждения примесей по всей исследуемой площадке

одинаковы

Скорости осаждения свинца и урана одинаковы

(ну или хотя бы близки)



Используя вышеизложенные допущения оценили содержание РН в атмосферном воздухе п/площадки и прилегающей жилой зоны

Показатель	Среднее	Минимум	Максимум	
Сумма α-активных РН, мБк/м³	0,02	0,00084	0,05	
Уран, нг/м ³	0,17	0,017	0,72	
Фоновое содержание суммы α-активных РН, мБк/м ³	0,01			
Фоновое содержание урана, нг/м ³	0,013			



С помощью программного комплекса Surfer построили карту пространственного распределения урана в снеге и оценили массу урана на территории



www.tvel.ru

Масса урана в снеге, полученная численным интегрированием функции распределения, составила 182 г, что очень хорошо совпало с результатами контроля выбросов за период ноябрь 2013 – март 2014 (220 г)
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ ГЕОРАДАРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОМИГРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ

А.С. Нужный, Д.В. Крючков ИБРАЭ РАН, г. Москва nuzhny@ibrae.ac.ru



GeoLand3D





Трехмерные данные





Аппроксимация функции по точкам

$$D = \{y_i, x_i\}_{i=1}^{L}$$



 $F = \sum_{i=1}^{L} (y_i - h_i)^2 + \lambda \Omega(h) \qquad \Omega(h) = \sum_{i=1}^{N} a_n^2$ i=1n=1



Аппроксимация с помощью Фурье-базиса





Головное окно программы

 GeoLand3D – 🗆 🛛		настройки – 🗖 🗙
Загрузить изображение		размер сетки
Сохранить объект	х	100
Очистить	Y	100
Загрузить объект	Z	100
Построить поверхность		метод O fourier basis
Сохранить границу		🔘 wavelete basis
Сохранить все границы		knn 3
ParaView		сохранить
Настройки		



Вейвлет-базис

$$\psi = \begin{cases} 1 & 0 \le x < 0.5 \\ -1 & 0.5 \le x < 1 \\ 0 & x \notin [0,1) \end{cases}$$









- Находим расстояния между точкой и каждой из точек обучающей выборки.
- Выбираем К наиболее близких точек
- Оцениваем значение функции в точке



Заключение

Созданная программа

- предоставляет пользователю инструментарий для обработки георадарных снимков
- Строит аппроксимацию поверхностей по точкам
- Сохраняет результаты аппроксимации в форматах удобных для их визуализации и использования в расчетной программе

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Учет неопределенностей в задачах геомиграционного моделирования при анализе и обосновании безопасности пунктов захоронения РАО

Е.А.Савельева, В.С. Свительман, С.С. Уткин

Постановка задачи

- Обоснование безопасности должно содержать анализ имеющихся неопределенностей (SSR-5 «Безопасность захоронения радиоактивных отходов», Серия норм безопасности МАГАТЭ, Вена 2011)
- Неопределенность в задачах моделирования сложных экологических систем всегда многокомпонентна

Источники неопределенности в моделировании





Цель: собрать набор инструментов для оценки неопределенности в задаче моделирования геомиграции радионуклидов



Моделирование геомиграции

Геологическая модель (структура + фильтрационные и миграционные параметры)





Цепочка моделирования геомиграции и неопределенность





Этапы оценки неопределенности результата миграционного моделирования

 определить уровень минимальной достижимой точности интерполяции на основе исходных данных;

- разработать набор альтернативных концептуальных моделей геологической среды исходя из доступной информации и для каждой альтернативы построить набор равновероятных реализаций;
- для альтернативных геологических моделей провести автоматическую калибровку фильтрационных и миграционных параметров;
- провести расчеты миграции с набором откалиброванных моделей.





Используется имеющаяся модель геологической структуры и ее доверительные интервалы Используются стохастические реализации выбранной исходя из имеющихся данных концептуальной модели

Неопределенность параметризации численных моделей: калибровка PEST

 Калибровка – варьирование набора параметров численной модели для минимизация целевой функции:

 $min \sum_{t=1}^{n} [(Q_{Obs_t} - Q_{Sim_t}(InputData_t, ParametrSet)]^2]$

- Для калибровки численных гидродинамических моделей традиционно используется PEST (Model-Independent <u>Parameter</u> <u>Est</u>imation)
 - Реализует Алгоритм Левенберга-Марквардта
 - Работает независимо от модели



Результаты моделирования: стохастические реализации и калибровка





Результаты на основе: • стохастических реализаций геологической структуры

 калибровки коэффициента фильтрации, постоянного для каждого слоя Сравнение изолиний концентрации отдельных реализаций с изолиниями среднего Дисперсия реализаций

Неопределенность параметризации численных моделей: калибровка с применением Байесовского



log phk1 5.0000005-0 1.00000E-03 elative 00000Ephk2 phk3 pvk1 log log 100000 5.00000 .000000E-05 1.000000E-03 5.000000E-04 loĝ 1.000000E-05 1.000000E-03 pvk2 log 0.500000 0.100000 5.00000 pvk3 loã 1.000000E-05 1.00000E-03 Независимые параметры + доверительные интервалы



p(par | obs)

Поле параметров + апостериорная плотность вероятности

Заключение



- Подобран и адаптирован набор подходов для анализа различных типов неопределенности в задачах геомиграционного моделирования :
 - Гамма-тест (неопределенность исходных данных)
 - Стохастическое моделирование структуры геологической среды (неопределенность геологической структуры)
 - Калибровка PEST (неопределенность параметризации численной гидродинамической модели)
 - Калибровка bgaPEST (неопределенность параметризации численной гидродинамической модели с учетом пространственной корреляции)
- Разработана схема последовательного применения инструментария для оценки неопределенности геомиграционных моделей при анализе и обосновании безопасности пунктов захоронения РАО

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences



Применение CFD подхода к переносу примесей в условиях городской застройки

Благодатских Д.В Дзама Д.В. Семенов В.Н. Сороковикова О.С.

Коды нового поколения для РОСАТОМА



§ Цели создания

До настоящего времени для обоснования безопасности проектируемых и строящихся АЭС используют довольно простые коды.

Приемочные критерии обоснования безопасности ужесточаются.

Необходимо улучшать качество моделирования, за счет снятия излишней консервативности, более точных и детальных прогнозов.

Концентрации. Гауссова и 3D модели



ИБРАЭ

Интегральный код расчёта радиационной обстановки на промплощадке





ИБРАЭ

Код должен быть доведён до состояния отчуждаемого от разработчика.

Должен быть снабжён полным пакетом необходимой документации:

- 1) руководство пользователя;
- 2) описание и обоснование используемых моделей;
- верификационный отчёт, включая статистические характеристики оценки качества результатов расчёта на основе сравнения с экспериментальными данными
- 4) кросс-верификация с наиболее известными мировыми аналогами (если они есть)
- 5) аттестация интегрального кода, проведение экспертизы РОСТЕХНАДЗОРОМ

Имеющийся в ИБРАЭ РАН задел на начало работ



Код разрабатывался в части аэротермодинамики частично на основе кода CONV-3D (LES версии), который был при помощи создания новых модулей преобразован в RANS модель атмосферных процессов в условиях застройки с новыми моделями турбулентности применительно к конкретным атмосферным задачам.

У Использовались имеющиеся в ИБРАЭ РАН модели дозовых нагрузок, по разным путям облучения.

Пример типовой заготовки (элемент здания)



www.ibrae.ac.ru

ИБРАЭ

Пример типовой заготовки (элемент здания)







Пример типовой заготовки (элемент здания)





ИБРАЭ

Основные уравнения вычислительной гидродинамики для несжимаемой жидкости



Закон сохранения массы ρ =const $\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$

Закон сохранения импульса

Закон сохранения энергии

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \left(\frac{(\mu + \mu_i)}{\sigma} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}\right)}{\partial x_i}$$
$$\frac{\partial u_j}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \left[(\mu + \mu_i) \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\right]}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_j} + g_j$$
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \left[\frac{\mu + \mu_i}{\sigma} \frac{\partial \theta}{\partial x_i}\right]}{\partial x_i} + Q_{\theta}'$$

р –плотность

µ, *µ*_t – кинетическая и турбулентная вязкость

- **и**_i вектор скорости потока
- **Р** давление
- g_i вектор гравитации (0, 0, -g)
- потенциальная температура
- Q_{θ} , источники тепла
- *о* константа, соответствующая модели турбулентности
- Ро давление у поверхности земли (обычно 100 кПа)
- *Т* температура воздуха в данной точке пространства.

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P}\right)^{R/c_p} = T \left(\frac{P_0}{P}\right)^{0,2857}$$



Модель турбулентности

Турбулентная кинетическая энергия

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + S + G - \varepsilon$$

Скорость диссипации ТКЭ

$$S = \mu_{t} \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} \left(\frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial u_{j}}{\partial x_{i}} \right) \qquad G = -\beta g \frac{\mu_{T}}{\sigma_{t}} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon u_{i}}{\partial x_{i}} = \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left[\frac{\mu + \mu_{t}}{\sigma_{\varepsilon}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_{i}} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1}S + C_{3}G) - C_{2} \frac{\varepsilon^{2}}{k}$$

 $\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$

Константы модели $\sigma_t = 0.9 \ \sigma_k = 1 \ \sigma_\varepsilon = 1.3 \ C_1 = 1.21 \ C_2 = 1.92 \ C_3 = 1.44 \ C_\mu = 0.03$

Специальные граничные условия на энергию турбулентности и диссипацию в приповерхностных ячейках:

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_{\mu}}} \qquad \varepsilon = \frac{u_*^3}{\kappa z} \qquad u^* = \kappa \frac{u(z)}{\ln\left(\frac{z}{k_s}\right) + \varphi(s)} \qquad \mu_T = C_{\mu} \frac{k^2}{\varepsilon} = \kappa z u^*$$

u_{*} - оценка динамической скорости (напряжения трения в вязком подслое);
u(z) - скорость ветра на высоте z;
 $\varphi(s)$ - поправка на стратификацию;
к - постоянная Кармана (0,41).



Разработана специализированная RANS CFD модель (использует теорию подобия Монина-Обухова с поправками на стратификацию). Она позволяет:

учитывать стратификацию атмосферы (устойчивая, нейтральная, неустойчивая);

у использовать для расчета грубые сетки и избавиться от необходимости сгущения расчетной сетки около поверхности, что позволяет существенно ускорить счет.

Матрица верификации



§ Полевые и натурные эксперименты вплоть до крупномасштабных экспериментов в условиях реального современного города (оцифрованные базы данных).

§ Лабораторные исследования, на специальных установках с моделями объектов, городов, строений разной степени сложности (оцифрованные базы данных).

В базе данных содержится более 15 тысяч измерений скорости ветра и более 3 тысяч измерений концентраций.

Источник информации – опубликованные в журналах данные, БД, доступные через интернет и базы данных переданные в ИБРАЭ РАН Ливерморской лабораторией

Матрица верификации



- § Полевые и натурные эксперименты вплоть до крупномасштабных экспериментов в условиях реального современного города (оцифрованные базы данных).
- § Лабораторные исследования, на специальных установках с моделями объектов, городов, строений разной степени сложности (оцифрованные базы данных).
- В базе данных содержится более 15 тысяч измерений скорости ветра и более 3 тысяч измерений концентраций.
- Источник информации опубликованные в журналах данные, БД, доступные через интернет и переданные в ИБРАЭ Ливерморской лабораторией

Немецкая установка SEDVAL







Расчетная область (Стрелкой указан контейнер, поле ветра вокруг которого визуализируется)





Векторное поле скорости на различных горизонтах в пределах двух контейнеров



ЛБРАЗ
FAC2 (Factor of two observations)



$$FAC2 = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_i \qquad N_i = \begin{cases} 1 & when \quad 0.5 \le \frac{U_{calc}}{U_{obs}} \le 2.0 \\ 1 & when \quad |U_{obs}| \le W \quad u \quad |U_{calc}| \le W \\ 0 \end{cases}$$



Hit Rate (HR)



$$q = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_i \quad N_i = \begin{cases} 1 \quad when \quad \left| \frac{U_{calc} - U_{obs}}{U_{obs}} \right| \le D \quad or \quad \left| U_{calc} - U_{obs} \right| \le W \\ 0 \end{cases}$$



SAA (Scaled Average Angle differences)

$$SAA = \frac{\sum_{i=1}^{N} |U_i| |\phi_i|}{\sum_{i=1}^{N} |U_i|}$$

 ϕ_i - угол между расчетной и измеренной скоростью $|U_i|$ - модуль расчетной скорости в точке i



Pearson's coefficient



$$P = \frac{\sum_{i=1}^{N} (U_{cal_i} - \bar{U}_{cal}) (U_{obs_i} - \bar{U}_{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (U_{cal_i} - \bar{U}_{cal})^2 \cdot \sum_{i=1}^{N} (U_{obs_i} - \bar{U}_{obs})^2}}$$

$$\overline{U}_{cal}$$
 - средняя рассчитанная скорость

$$\overline{U}_{obs}$$
 - средняя измеренная скорость







\overline{U}_{cal} - средняя рассчитанная скорость

$$\overline{U}_{obs}$$
 - средняя измеренная скорость





KS (параметр Колмогорова-Смирнова)

$$KS = \max_{i} \left| F_1 \left(U_{cal_i} \right) - F_2 \left(U_{obs_i} \right) \right|$$

$$F(C) = \frac{K(C)}{N}$$
, где $K(U)$ - количество таких U_i , которые удовлетворяют

неравенству $U_i < U$



Статистические параметры



§ Коэффициент корреляции Пирсона:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{N} (C_{cal_i} - \overline{C}_{cal}) (C_{obs_i} - \overline{C}_{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (C_{cal_i} - \overline{C}_{cal})^2 \sum_{i=1}^{N} (C_{obs_i} - \overline{C}_{obs})^2}}$$

для горизонтальной (U) компоненты скорости P=0.94 для вертикальной (W) – компоненты P=0.69.

§ Ошибка вычисления направления скорости: $SAA = \frac{\sum |U_i| |\varphi_i|}{\sum |U_i|} = 2.31$ U_i -величина скорости, вычисленная по модели

 φ_i – отклонение направления вычисленной скорости от измеренной экспериментально

$$FAC2 = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_i \text{ with } N_i = \begin{cases} 1 & \text{for } 0.5 \le \frac{P_i}{O_i} \le 2\\ 1 & \text{for } |P_i| \le W \text{ or } |O_i| \le W \end{cases}$$

$$Hit \text{ rate } q = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_i \text{ with } N_i = \begin{cases} 1 & \text{for } \left|\frac{P_i - O_i}{O_i}\right| \le D \text{ or } |P_i - O_i| \le W \end{cases}$$

Измерительная сеть





Результаты верификации для и-компоненты скорости в сечении z=7м



Критерий	Результат	Эталон
FA-2	93%	100%
HR	72%	100%
BIAS	-0.50085	0
PCC	0.93343	1
SAA	7.94707	0

источник

З-мерная модель центра города Оклахома (крупномасштабный верификационный эксперимент)



Натурный эксперимент в Оклахоме (результаты моделирования)



Ветер на высоте 5м со стороны источника



Изоповерхности объёмной концентрации трассера с легендой (результаты моделирования)



Изоповерхности объёмной концентрации трассера с легендой (результаты моделирования)



Точки измерения





Расчетные (зеленые) и измеренные концентрации 🕸





ИБРАЭ

Расчет доз и мощностей доз (от облака от загрязненной поверхности, от ингаляции)



Более 100 радионуклидов в базе данных.

Две методики расчёта мощности дозы от точечного источника:

- 1) Методика, рекомендованная МАГАТЭ (без учёта поглощения ионизирующего излучения в воздухе).
- 2) Методика, разработанная в ИБРАЭ РАН (с учётом поглощения в воздухе)

Учёт рассеяния в присутствии поглощающей трёхмерной застройки является сложной задачей и на данном этапе не учитывается.

Иллюстрация метода определения взаимной видимости точек





Две проблемы:

- § В каждой точке нужно определить функцию видимости из всех точек воздушного пространства
- § Рассчитать интеграл от всех видимых объемов.

Белоярская АЭС (моделирование аварии "Потеря системного и надёжного электроснабжения: отказ активных систем остановки реактора" БН-1200)





Белоярская АЭС (моделирование аварии "Потеря системного и надёжного электроснабжения: отказ активных систем остановки реактора" БН-1200)





Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук



Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Разработка методики расчета массолереноса летучих продуктов деления в контурах быстрых натриевых реакторов

> Семенов В.Н. <u>Филиппов М.Ф.</u> Цаун С.В.

ИБРАЭ РАН philippov@ibrae.ac.ru

Содержание доклада



- 1. ВВЕДЕНИЕ. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ
- 2. ОБЩИЙ ВИД МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА И ПОВЕДЕНИЯ ЛПД
- 3. ОСАЖДЕНИЕ В НАТРИЕВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ
- 4. МЕЖФАЗНЫЙ ПЕРЕНОС ЛПД
- 5. ПОВЕДЕНИЕ ПАРОВ И АЭРОЗОЛЕЙ ЛПД
- 6. ТЕСТИРОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

ВВЕДЕНИЕ



обоснование радиационной безопасности реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем



оценка выхода радионуклидов в помещения энергоблока и

ТРЕБУЕТСЯ

окружающую среду

Оценка интенсивности появления в первом контуре, расчет переноса и поведения радионуклидов в первом контуре и газовой системе

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ



ДЛЯ ЛЕТУЧИХ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ (ЛПД) ХАРАКТЕРНЫ

- **§** Относительно высокая интенсивность миграции в топливе (как следствие интенсивный выход под оболочку твэл еще при НЭ);
- **§** Интенсивное испарение с поверхности расплава натрия (высокая относительная летучесть).



МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА И ПОВЕДЕНИЯ ЛПД



РАССМАТРИВАЕМЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- **§** конвективный перенос в жидком натрии и парогазовой среде;
- § осаждение и повторный смыв в натрии
- § межфазный перенос ЛПД;
- **§** конденсация паров ЛПД на стальных стенках и аэрозолях;
- § образование, коагуляция и осаждение аэрозольных форм ЛПД.

допущения

§ ЛПД – пассивная примесь, не вносящая давления и мощность

Методика моделирования (на данный момент) ориентирована на описания переноса и поведения изотопов ЦеЗИЯ и ЙОДА в натриевом теплоносителе

МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА И ПОВЕДЕНИЯ ЛПД



уравнение переноса ЛПД в жидком натриевом теплоносителе

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} + u_f^x \frac{\partial C_f}{\partial x} = \left(\frac{S_{gf}(x)}{V_f(x)}\right) \cdot \beta_f^{\deg} \cdot \left(C_f^{gS} - C_f\right) + Q_{fuel,f} + \left(\frac{S_{st,f}(x)}{V_f(x)}\right) \cdot \beta_D \cdot \left(C_f^{DS} - C_f\right)$$

уравнение переноса паров ЛПД в парогазовой среде

$$\frac{\partial C_g}{\partial t} + u_g^x \frac{\partial C_g}{\partial x} = \left(\frac{S_{gf}(x)}{V_g(x)}\right) \cdot \beta_g^{\text{deg}} \cdot \left(C_g^{gS} - C_g\right) + Q_{fuel,g} + \left(\frac{S_{st,g}(x)}{V_g(x)}\right) \cdot \beta_{Dg} \cdot \left(C_g^{DS} - C_g\right) - Q_{nucl}$$

уравнения переноса и поведения аэрозольных форм ЛПД

$$\frac{\partial C_l}{\partial t} + u_g^x \frac{\partial C_l}{\partial x} = -\left(\frac{S_{st,g}(x) + S_{gf}(x)}{V_g(x)}\right) \cdot k_{dep,l} \cdot C_l + Q_l + Q_l^{coag,in} - Q_l^{coag,out}, \quad l = 0...M$$

МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА И ПОВЕДЕНИЯ ЛПД



• уравнения сохранения массы для осажденных на

стенках конструкционных элементов ЛПД.

- модели адсорбции растворенных в натрии ЛПД;
- модель межфазного переноса ЛПД;
- модель нуклеации ЛПД;
- модели, описывающие поведения аэрозолей.



МОДЕЛЬ ОСАЖДЕНИЯ ЛПД В НАТРИИ



Основной механизм осаждения на стальные стенки:

физическая адсорбция

$$\mathbf{CS} \begin{cases} J = -D_f \frac{\partial C^f}{\partial n} = \beta_D \cdot \left(C^f - C_S' \right) \\ J = \frac{dC_p}{d\tau} = k_{ads} \cdot C_S' \cdot \left(\rho_C \cdot \frac{M}{N_A} - C_p \right) - k_{Pdes} \cdot C_p \end{cases}$$

$$\mathbf{Nal} \begin{cases} J = -D_f \frac{\partial C^f}{\partial n} = \beta_D \cdot \left(C^f - C_S' \right) \\ J = \frac{dC_p}{d\tau} = k_{ads} \cdot C_S' - \frac{k_{ads}}{K_p} \cdot C_p \end{cases}$$

- поток примеси на стенку
- поверхностная концентрация примеси
- поверхностная концентрация центров адсорбции
- k_{ads} - коэффициенты адсорбции и десорбции k_{des}
 - *К_P* коэффициент распределения

МОДЕЛЬ МЕЖФАЗНОГО ПЕРЕНОСА ЛПД В КОНТУРАХ РУ БН





На межфазной поверхности равновесное состояние

$$C_g^{gS} = f\left(C_f^{gS}\right)$$

$$J_{f-g} = \beta_f^{\deg} \cdot \left(C_f - C_f^{gS} \right) = \beta_g^{\deg} \cdot \left(C_g^{gS} - C_g \right)$$

$$C_g^{gS} = \frac{\rho_{Na}^g}{\rho_{Na}^f} \cdot C_f^{gS} \cdot \alpha$$

О - коэффициент относительной летучести

ПОВЕДЕНИЕ ПАРОВ ЛПД



допущения:

- пары ЛПД пассивная примесь (не дают вклад в давление)
- скорость осаждения паров определяется только скоростью диффузионного переноса из объема газовой фазы
- **§** конденсация на стальных стенках

$$J_{cond} = \beta_{Dg} \cdot \left(C_g^{DS} - C_g \right)$$

§ конденсация на поверхности

частиц

нуклеация

$$Q_{nucl,lcrit} = \left(\frac{2\sigma_m \cdot v_m^2}{\pi \cdot m_m}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{S_{sat} \cdot P_{equ}}{k_B \cdot T_g}\right)^2 \cdot \exp\left(\frac{\sigma_m s_m}{k_B \cdot T_g} - \frac{16\pi\sigma_m^3 v_m^2}{3k_B^3 \cdot T_g^3 \cdot \ln^2(S_{sat})}\right)$$

Girshik S. L., Chiu C.-P. Kinetic nucleation theory: A new expression for the rate of homogeneous nucleation from an ideal supersaturated vapor. J. Chem. Phys., 93, 1273-1277, 1990.

www.ibrae.ac.ru

ПОВЕДЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ФОРМ ЛПД



ДОПУЩЕНИЕ: аэрозольные частицы представляют собой капли натрия с примесью ЛПД (однокомпонентная система)





Набор петлевых экспериментов, результаты которых использовались для тестирования разработанной методики

Название	Описание	Источник
установки		
FPBL	В ходе эксперимента проводилось изучение кинетики процессов осаждение и повторного смыва цезия в натриевом изотермическом контуре	[1]
Без названия	В ходе эксперимента проводилось изучение влияния температуры поверхности и начальной концентрации на процесс осаждения паров цезия в горизонтальной трубе.	[2]
SILVERINA	В рамках эксперимента проводилось изучение поведения натриевых аэрозолей над ванной расплава натрия.	[3]
NCSL	В рамках эксперимента рассматривалась кинетика процесса осаждения цезия в натриевом контуре с естественной циркуляцией	[4]



Нестационарное осаждение цезия в изотермическом контуре

(установка FPBL¹)



¹ J. Guon Deposition of cesium and barium in a sodium-stainless steel system. Atomics International, Canoga Park, Calif. (USA). 30 Jun 1970; 78 p; <u>AI-AEC--12952</u>



Нестационарное осаждение цезия в неизотермическом контуре (установка NSCL²)



² Sagawa N., IDa H., Yato Y. and other "Transport and deposition of metals in sodium-stainless steel systems, (II) Radioisotope distribution in natural circulation loop", Journal of Nuclear Science and Technology, 10:9, 523-532, 1973



Сравнение результатов расчета зависимости массовой доли аэрозолей заданного размера от их диаметра с экспериментальными значениями (установка SILVERINA³)



³A. Kumar, V. Subramanian, S. Krishnakumar and oth. "Characterisation of sodium aerosol in cover gas region of SILVERINA loop", Aerosol and Air Quality Research, 2015, in printed



Сравнение результатов расчета доли осажденного в трубе цезия с экспериментальными значениями (эксперимент [⁴])



⁴ V.M. Borishanskii, I.I. Paleev, K.M. Aref'ev and oth. "Condensation of cesium vapor from flowing argon", Journal of engineering physics, 20:4, 431-435, 1971.

Заключение



- § Разработана методика моделирования переноса и поведения ЛПД в первом контуре и в газовой системе РУ БН;
- § Определены значения констант в моделях процессов массопереноса (для цезия и йодида натрия);
- § Успешно проведено тестирование разработанной методики;

Расширению области применимости данной методики (на другие ЛПД – теллур, рубидий) помешал недостаток экспериментальных данных




ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Обоснование размеров и границ зоны планирования защитных мероприятий в проекте АЭС-2006 (ВВЭР-1200) Безлепкин В.В., Карасева М.А., Фролов А.С., Харченко Е.В. (АО "АТОМПРОЕКТ")

Х Юбилейная Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» 22 - 25 сентября 2015 г. г. Москва, г. Обнинск (Россия)





- Согласно ОСПОРБ 99/2010 атомная электростанция радиационный объект 1 категории по потенциальной радиационной опасности. С учетом требований действующих СНиП 2.01.51 – 90 (инженерно-технические мероприятия гражданской обороны) в составе проекта АЭС разрабатываются аварийные планы защиты населения в случае ядерной или радиационной аварии на АЭС.
- Для тяжелых ЗПА с вероятностью выброса на уровне 10⁻⁷ в год на реактор в проекте АЭС повышенной безопасности должно быть подтверждено, что эффективность предусмотренных мер по управлению авариями позволяет (EUR Rev. D):
- исключить эвакуацию населения на расстояниях, превышающих 800 м от аварийного энергоблока;
- ограничить введение обязательных мер по защите населения близлежащей **3-километровой зоной.**



детерминированных эффектов



Таблица 1 – Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное введение защитных мер для предотвращения детерминированных эффектов

Орган или ткань	НРБ-99/2009	GSR Part 3	Примечание
	(таблица 6.1)	(таблица IV.1)	
Тело	1 Гр за 2 сут	-	Дозовые
Легкие	6 Гр за 2 сут	1 Гр за 10 ч	критерии для
Кожа	3 Гр за 2 сут	10 Гр на 100 см ² за 10 ч	срочного вмешательства в
Щитовидная	5 Гр за 2 сут	1 Гр за 10 ч	документе НРБ-
Хрусталик глаза	2 Гр за 2 сут	1 Гр за 10 ч	99/2009 в целом более
Гонады	3 Гр за 2 сут	1 Гр за 10 ч	консервативны,
Плод	0,1 Гр за 2 сут	0,1 Гр за 10 ч	чем критерии в
Красный костный мозг	-	1 Гр за 10 ч	GSR Part 3



стохастических эффектов



Таблица 2 - Дозовые критерии для уровней вмешательства с целью снижения риска стохастических эффектов

Защитная мера	НРБ-99/2009 (таблица 6.3)	GSR Part 3 (table A-1) ¹⁾
	Уровень А (уровень Б)	
Укрытие	Поглощенная доза за 10 сут:	Эффективная доза за 7 сут:
	- на все тело - 5 мГр (50 мГр)	- 100 мЗв
	- на щитовидную железу, легкие, кожу	
	- 50 мГр (500 мГр)	
Йодная профилактика	Поглощенная доза за 10 сут	Эквивалентная доза на щитовидную
	на щитовидную железу, легкие, кожу:	железу за 7 сут:
	- ребенок - 100 мГр (1000 мГр)	- 50 мЗв
	- взрослый - 250 мГр (2500 мГр)	
Эвакуация	Поглощенная доза за 10 сут:	Эффективная доза за 7 сут:
	- на все тело - 50 мГр (500 мГр)	- 100 мЗв
	- на щитовидную железу, легкие, кожу	
	- 500 мГр (5000 мГр)	
Отселение	Эффективная доза за первый год:	Эффективная доза за первый год:
	- 50 мЗв (500 мЗв)	- 100 мЗв
Ограничение потребления	Эффективная доза за первый год:	Эффективная доза за первый год:
	- 5 мЗв (50 мЗв)	- 100 мЗв
питания		
	D TOTAL COD Dave 2 TODODLLO MONTONIUS	

 Для защитной меры «Укрытие» в документе GSR Part 3 дозовые критерии не устанавливаются отдельно. Дозовый предел рекомендован для широкого объема защитных мер – укрытие, эвакуация, дезактивация, ограничение употребления продуктов питания, молока и воды, контроль загрязнения, информационно-разъяснительная работа среди населения.





В ряде стран (например, в Финляндии, Венгрии, КНР) действуют национальные требования к введению защитных мер для населения в случае аварии на АЭС:

- в соответствии с НД Финляндии и Венгрии экстренная эвакуация населения обязательна по достижении прогнозируемого уровня эффективной дозы за 7 суток - 20 и 50 мЗв, соответственно; «укрытие» - 10 мЗв за 2 суток.
- Согласно п. 7.2 GB 6249-2011 (КНР) введение защитных мер для населения необходимо по достижении прогнозируемого уровня эффективной дозы за весь период аварии - 100 мЗв (эквивалентной дозы на щитовидную железу – 1 Зв).



Подготовка к аварийному реагированию на ядерные и радиационные аварии



Требования МЧС России учитывают подход, принятый в техническом докладе МАГАТЭ «Методика подготовки к реагированию на ядерные или радиационные аварии» (IAEA-TECDOC-953/R ISSN 1011-4289) и предусматривают наличие трех зон аварийного реагирования в районе размещения радиационных объектов 1 категории:

- Зона планирования предупредительных мер (R= 3 5 км);
- Зона планирования срочных защитных мер (R= 25 км);
- Зона планирования ограничительных защитных мер (R=100 300 км).

Требования финских национальных НД отвечают рекомендациям МАГАТЭ: вокруг АЭС предусмотрены зона предупредительных мер, включая экстренную эвакуацию населения, радиусом 5 км, и зона планирования срочных защитных мер – 20 км.





НП-032-01, п. 11.3 СП АС-03 определяют требования к обоснованию в составе проекта АЭС объема защитных мер для населения при тяжелой аварии, имеющей вероятность большого выброса 10⁻⁷ 1/год на реактор. В составе проекта выполняется зонирование территории вокруг станции и определяются границы и размеры следующих зон:

- зона планирования мероприятий по обязательной эвакуации населения (ЗПМОЭ) – территория, в пределах которой <u>в</u> начальный период аварии может быть превышен уровень Б критерия принятия решения об эвакуации населения;
- Зона планирования защитных мероприятий (ЗПЗМ) (R≤25 км) – территория, в пределах которой при тяжелой ЗПА возможно радиационное воздействие на население (<u>в начальный период</u> <u>аварии</u> может быть превышен уровень А). За пределами ЗПЗМ введение защитных мер, кроме ограничений на потребление сельхозпродуктов местного производства, не требуется.





Таблица 3 – Пути радиационного воздействия, учитываемые при расчете дозиметрических величин (МТ 1.2.5.05.0110-2012)

Дозиметрическая	Путь облучения		
величина	От облака	От поверхности	Ингаляция
Поглощенная доза D _i (x,т)	+	+	+
Взвешенная поглощенная	+	+	-
доза в ККМ АД _{ККМ} (х,т)			
Взвешенная поглощенная	-	-	+
доза в ЩЖ АД _{ЩЖ} (х,т)			
Эквивалентная доза в ЩЖ	-	-	+
Н _{ЩЖ} (х,τ)			
Эффективная доза Е(х,т)	+	+	+



Обоснование размера ЗПЗМ в проекте АЭС-2006 Предельный аварийный выброс



Для оценки аварийных выбросов в окружающую среду с вероятностью 10⁻⁷ 1/год на реактор принят сценарий аварии «Большая течь теплоносителя 1 контура с отказом активной части САОЗ и дополнительным наложением обесточивания энергоблока на 24 ч», сопровождаемой медленным ростом давления в контейнменте и наибольшими скоростями выхода ПД в контейнмент и далее через неплотности защитной оболочки в окружающую среду.

По результатам оценки уровней выброса предложен ПАВ для радиационно-значимых нуклидов:

- приземный выброс для ранней фазы аварии
 ¹³³Хе 10⁴ ТБк; ¹³¹І 50 ТБк; ¹³⁷Сs 5 ТБк;
- для промежуточной и поздней фаз аварии (при снижении давления в контейнменте)
 ¹³³Хе 10⁵ ТБк; ¹³¹I 50 ТБк; ¹³⁷Сs 5 ТБк.





Определяющим фактором, формирующим расчетные уровни облучения, является рассеяние факела выброса в атмосфере, зависящее от:

- метеорологических параметров (устойчивость атмосферы, скорость ветра, осадки),
- топографии (тип подстилающей поверхности, наличие застройки промплощадки, рельеф района размещения АЭС),
- и высоты выброса.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ (раздел 2 IAEA Safety Standard Series № NS-G-3.2) и российских НД (п. 5.4 НП-032-01) оценка доз при авариях должна выполняться "для наименее благоприятных метеорологических условий, характерных для района размещения станции".





В проекте АЭС-2006 (ЛАЭС-2, Балтийская и Белорусская АЭС) реализован подход, принятый в:

- IAEA Safety Guide № 50-SG-S3 (раздел 4),
- USNRC "Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequence Assessments at Nuclear Power Plants" RG 1.145

В качестве наихудших условий рассеяния выброса используются результаты статистической обработки метеоданных района размещения АЭС: определяются максимальные факторы разбавления/осаждения с обеспеченностью не менее 95 %, осредненные на временных интервалах 8, 16 и 24 ч.

Для расчета зависимости кратковременного метеорологического фактора разбавления используется <u>гауссова модель</u> рассеяния примеси в атмосфере с формулами Смита-Хоскера и Бриггса для параметров диффузии.



Для расчета максимальных факторов разбавления выброса применяется <u>ПС "RiskZone v.1.0"</u> (Аттестационный паспорт №338 от 18.03.2015).

Таблица 4 – Максимальные расчетные факторы разбавления, характерные для района размещения Ленинградской АЭС-2 (обеспеченность 95 %), с/м³

Расстояние,	Время осреднения					
КМ	1ч	8ч	16 ч	24 ч		
Низкий выброс, Н = 30 м						
0,8	3,7.10-5	1,7.10-5	1,3.10-5	1,1.10-5		
3	2,0.10-5	8,9·10 ⁻⁶	6,4.10-6	5,2.10-6		
Высотный выброс, Н = 100 м						
0,8	4,0.10-6	1,2.10-6	7,3.10-7	5,3.10-7		
3	1,8.10-6	8,3.10-7	6,1.10-7	5,0.10-7		





ПС "ДОЗА 3.0" (Аттестационный паспорт № 338 от 12.09.2013) предназначено для расчета дозовых нагрузок на население в районе размещения АЭС, обусловленных непрерывным газоаэрозольным выбросом со станции или кратковременным аварийным выбросом в атмосферу, для различных удалений от энергоблока и различных погодных условий.

 Программа
 позволяет
 выполнять
 расчеты

 эквивалентных/эффективных
 индивидуальных
 доз
 для

 следующих путей воздействия:

1) Внешнее облучение

- от облака (факела) выброса
- от загрязненной поверхности земли

2) Внутреннее облучение

- по ингаляционному пути
- при потреблении продуктов питания местного производства





- ПС "ДОЗА 3.0" реализует методику <u>НТД 38.220.56-84</u> «Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения»
- с учетом следующих нормативно-технических документов:
- <u>ДВ-98</u> «Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу»
- <u>МПА-98</u> «Методические указания по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу»
- <u>База данных дозовых коэффициентов</u> соответствует публикациям МАГАТЭ и МКРЗ:
- 1 Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. General safety requirements. Part 3. No GSR Part 3. IAEA, Vienna, 2014
- 2 International Basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources.- Vienna: IAEA (Safety series, 115), 1996
- 3 ICRP Database of Dose coefficients: Workers and Members of the Public. ICRP Publication 72



Результаты расчета доз (Ленинградская АЭС-2)



Таблица 5 – Предотвращаемая доза облучения населения в районе площадки Ленинградской АЭС-2 за первые 10 сут после ЗПА (критическая группа – ребенок), Гр

Расстояние,	Внешнее	е облучение	Внутреннее облучение за		Уровень аварийной	
КМ	От облака	От поверхности	счет ингаляции		дозы	
Поглощенная доза на тело (Эффективная доза			a, 3b) $5,0.10^{-3}(5,0)$		·10 ⁻²)	
				5,0·10 ⁻² (5,0·10 ⁻¹)		
0,2	8,7.10-4	9,1.10-3	9,5.	10-3	9,9.10-3 (1,9.10-2)	
0,8	5,9.10-4	5,6.10-3	5,5.10-3		$6,2\cdot10^{-3}(1,2\cdot10^{-2})$	
3,0	3,1.10-4	2,7.10-3	2,7.10-3		3,0.10-3 (5,7.10-3)	
5,0	2,6.10-4	2,3.10-3	2,4.10-3		$2,6\cdot10^{-3}(5,0\cdot10^{-3})$	
10,0	1,6.10-4	1,2.10-3	1,3.10-3		$1,4\cdot10^{-3}(2,7\cdot10^{-3})$	
Эквивалентн	ая доза на щит		5,0.10-2 (5,0	·10 ⁻¹)		
				5,0.10-1 (5,0	·10 ⁰)	
0,2	5,5.10-4	5,6.10-4	1,9·	10-1		1,9·10 ⁻¹
0,8	4,0.10-4	3,3.10-4	1,1.10-1			1,1.10-1
3,0	2,2.10-4	1,5.10-4	5,4.10-2			5,4.10-2
5,0	1,8.10-4	1,2.10-4	4,7.10-2			4,7.10-2
10,0	1,1.10-4	5,7.10-5	2,5.10-2			2,5.10-2

В рамках представлен уровень вмешательства А (в скобках – Б) для введения защитной меры «Укрытие» (жирный шрифт – «Эвакуация»).

Синим цветом показана зона превышения уровня А введения защитных мер для населения в случае тяжелой аварии.





С целью <u>анализа неопределенности</u> результатов расчетов доз при принятых условиях рассеяния выброса (расчетных факторов разбавления в атмосфере) были проведены многовариантные расчеты. Оценены радиационные последствия при распространении аварийного выброса в следующих постулируемых условиях:

- распространение аварийного выброса за первые 8 ч аварии при наихудших постоянных метеоусловиях на 1-часовом интервале; для выброса за последующие 16 ч - при наихудших метеоусловий, осредненных на интервале 8 ч; для последующего выброса – при метеоусловиях, осредненных на интервале 16 ч; обеспеченность факторов разбавления составляла 95 %;
- распространение аварийного выброса в установленные ранее временные интервалы в наихудших метеоусловиях с обеспеченностью 99,5 %.

Увеличение расчетных значений доз за первые 10 сут на все тело, на критический орган (щитовидная железа) и эффективных доз при указанных постулируемых допущениях составляет <u>1,5 - 2,5 раза</u>.





Выводы:

- 1) На границе промплощадки и за ее пределами не превышается уровень вмешательства Б по защитной мере «Эвакуация».
- 2) Уровень А введения защитных мер «Укрытие» и «Йодная профилактика» может быть превышен в пределах 5-километровой зоны вокруг АЭС.
- 3) Расчетные уровни индивидуальных дозовых нагрузок при принятом реперном сценарии используются в проекте для разработки планов защитных мероприятий для населения в районе ЛАЭС-2 в случае тяжелой аварии с вероятностью выброса на уровне 10⁻⁷ 1/реактор в год. Установлен <u>радиус ЗПЗМ ЛАЭС-2 5-7 км</u>,
- 4) Согласно требованиям МАГАТЭ (таблица 2) за пределами 5-7 –километровой зоны вокруг АЭС введение защитных мер не требуется: прогнозируемый уровень эффективной дозы на тело за первые 7 суток не превышает 100 мЗв, эквивалентной дозы на щитовидную железу 50 мЗв,
- 5) Расчетный радиус зон аварийного реагирования соответствует требованиям EUR Rev. D: исключена необходимость обязательной срочной эвакуации на расстояниях, превышающих 800 м от аварийного энергоблока, уровень Б введения обязательных защитных мер для населения не превышается за пределами 3-километровой зоны,
- 6) Аналогичные результаты получены на основе расчетов, выполненных для площадок Балтийской и Белорусской АЭС.



Заключение



На основании требований российских НД и критериев вмешательства по защите населения в составе проекта АЭС-2006 обоснован объем защитных мер для населения с учетом достигнутого уровня безопасности АЭС на ранней фазе аварии с остаточным риском 10⁻⁷ в год на реактор.

Подтверждено, что эффективность предусмотренных в проекте мер по управлению тяжелыми авариями позволяет значительно снизить аварийный выброс в окружающую среду, исключить эвакуацию населения за пределами промплощадки и ограничить введение обязательных защитных мер близлежащей зоной.

В настоящее время для площадок энергоблоков, строящихся по проекту АЭС-2006, обоснованы:

- радиус ЗПМОЭ граница промплощадки,
- радиус ЗПЗМ 5 7 км.

Объем предусмотренных защитных мер для населения отвечает международным критериям введения защитных мер при радиационной аварии на АЭС, рекомендованным последними публикациями МАГАТЭ.



Результаты оценки радиационного воздействия выбросов брызгальных бассейнов российских атомных станций

Докладчик начальник лаборатории А.С. Шаповалов

www.secnrs.ru



Краткие сведения о работе и ее этапах

Работа выполнена на основании договора от 14 ноября 2013 г. № 9/3695-Д, заключенного между ФБУ «НТЦ ЯРБ» и ОАО «Концерн Росэнергоатом», и включает в себя 3 этапа:

Ü этап – «Анализ баланса активности радионуклидов в брызгальных бассейнах»

Ш этап – «Оценка активности радионуклидов, поступивших в атмосферу при эксплуатации брызгальных бассейнов»

Ü3 этап – «Обоснование необходимости или отсутствия необходимости учета активности радионуклидов, поступивших в атмосферу при эксплуатации брызгальных бассейнов при разработке нормативов ДВ (ПДВ) АЭС



Сложившийся подход к нормированию



Открытие изденерало общество «Российский концера по прешенатку электрический в текловой мертик на атемиск станцика»

ОЛО «Концорн Роснорговло»



МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ С АТОМНЫХ СТАНЦИЙ В АТМОСФЕРУ (ПДВ АС-2013)

MT 1.2.5.05.0161-2013



СанПин 2.6.1.24-03

ÜРадиационное
воздействие АЭС за счет
фактических выбросов и
сбросов не превышает
10 мкЗв в год

üПредельно допустимые выбросы устанавливаются для организованных источников выбросов
üПДВ устанавливаются только для радионуклидов ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ¹³¹I, ⁶⁰Co, а также ИРГ





Подходы принятые в мировой практике

IAEA Safety Standards for protecting people and the environment

Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards

CERCIPACINEA INFO



REGULATORY CONTROL OF RADIOACTIVE DISCHARGES TO THE ENVIRONMENT

SAFETY GUIDE

No. WS-G-2.3

STIMATIONAL ATOMIC UNERTY AGENCY VENIA

üНормативы выбросов устанавливаются для радиологически значимых радионуклидов **ü**Нормативы выбросов устанавливаются для организованных и неорганизованных ИСТОЧНИКОВ



CODE OF FEDERAL REGULATIONS

Title 40 Protection of Environment

Parts 61 to 62

Revised as of July 1, 2011

Containing a codification of documents of general applicability and future effect

As of July 1, 2011

Published by the Office of the Federal Register National Archives and Records Administration as a Special Edition of the Federal Register



Изменение регулирующих подходов к нормированию выбросов

Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций» (СП АС-03)

Üнормативы допустимых радиоактивных выбросов установлены только для АЭС в целом

Üнормативы радиоактивных выбросов установлены только для 137 Cs, 134 Cs, 131 I, 60 Co и ИРГ

Щостаточность нормирования только этих радионуклидов объясняется тем, что их вклад в дозу составляет 98 % по сравнению с прочими радионуклидами «Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух», утв. приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639 Üнормативы допустимых радиоактивных выбросов должны устанавливаться для каждого радионуклида и источника выброса, подлежащих государственному учету и нормированию

Чучету и нормированию подлежат радионуклиды, совокупный вклад которых в дозу составляет 99 %

Üучету и нормированию подлежат источники, выбросы которых без учета рассеяния приводят к облучению более 10 мкЗв



Пути поступления активности в брызгальные бассейны

- **Щ**истиллят, полученный за счет переработки жидких радиоактивных сред от:
- взрыхления, регенерации и гидровыгрузки фильтров систем спецводоочистки
- неорганизованных протечек реакторного отделения и спецкорпуса
- дезактивации реакторного отделения и спецкорпуса
- **ü**Регенерационные и отмывочные воды с фильтров системы обессоливания турбинного конденсата



Баланс активности в брызгальных бассейнах

АЭС		Выброс радионуклида, Бк/год			
		¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁶⁰ Co	Тритий
Калининская АЭС	Унос с паром	$1,5 \cdot 10^3$	1,6·10 ³	$1,5 \cdot 10^3$	1,9·10 ⁸
	Капельный унос	$1,4 \cdot 10^{6}$	$1,4 \cdot 10^{6}$	1,4·10 ⁶	8,3·10 ⁸
Ростовская АЭС	Унос с паром	$2,2 \cdot 10^5$	8,9·10 ⁴	8,6·10 ⁴	1,3·10 ¹²
	Капельный унос	$2,0.10^{8}$	7,9·10 ⁷	7,7·10 ⁷	6,0·10 ¹²
Балаковская АЭС	Унос с паром	$2,0.10^{6}$	6,8·10 ⁵	6,6·10 ⁵	1,2.1013
	Капельный унос	1,8·10 ⁹	6,1·10 ⁸	$5,9.10^{8}$	5,5·10 ¹³



Необходимость нормирования выбросов брызгальных бассейнов

- Проведен расчет годовых эффективных доз облучения без учета
- рассеяния, обусловленных воздействием брызгальных
- бассейнов Балаковской, Калининской и Ростовской АЭС



Для брызгальных бассейнов данных АЭС в соответствии с пунктом 7 Методики ПДВ-2012 должны быть установлены нормативы ПДВ радионуклидов ⁶⁰Со, ¹³⁷Сs, ¹³⁴Сs и трития



Модели, использованные для оценки доз на население

- **Щ**ля моделирования атмосферного переноса выбросов брызгальных бассейнов использована модель, реализованная в программном средстве GENII, особенностью которой является возможность моделирования атмосферного переноса выброса из площадного источника
- **Ü**для расчета доз облучения лиц из населения использовались модели, рекомендованные в документе МАГАТЭ «Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment» Safety Reports Series № 19



Учитываемые пути облучения

- **ü** внешнее облучение от облака выброса
- **Ü** внешнее облучение от выпадений на поверхность земли
- **Ü** внутреннее облучение, обусловленное ингаляцией
- **Ü** облучение, обусловленное пероральным поступлением радионуклидов с продуктами питания
- **ü** облучение, обусловленное поступлением трития через кожные покровы



Особенности атмосферного переноса капельной фазы

Üв связи с отсутствием данных о дисперсном составе капельной фазы выброса из брызгальных бассейнов дозы на население рассчитаны для диапазона изменения параметра PM20

ü дозы оценены для значений РМ20 равных 100 %,

75 %, 50% и 25%



Результаты расчетов (Ростовская АЭС; 10 мкЗв/год)







www.secnrs.ru



Результаты расчетов (Балаковская АЭС; 10 мкЗв/год)





Краткие результаты работ

- **ü** Продемонстрировано значимое влияние на значение дозы облучения населения параметра PM20, характеризующего миграционную способность выбрасываемой из брызгальных бассейнов капельной фазы
- **ü** Проведена оценка доз на население и определено, что за счет эксплуатации брызгальных бассейнов Балаковской и Ростовской АЭС значения установленных дозовых квот не достигаются за пределами их промплощадок
- **Ü** Значения минимально значимой дозы, установленной НРБ-99/2009, всегда достигаются за пределами промплощадок Балаковской и Ростовской АЭС



Представление и внедрение результатов работ

Ü Доклад на девятой международной научно-технической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» (МНТК ОАО «Концерн Росэнергоатом»)

Щоклад на отраслевом совещании руководителей и специалистов служб охраны окружающей среды и радиоэкологии, радиационной безопасности и охраны труда организаций ГК «Росатом»

ÜСтатья в журнале «Ядерная и радиационная безопасность» «О радиационном воздействии выбросов брызгальных бассейнов атомных станций»

ÜПодготовлено к утверждению руководство по безопасности «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух»