

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСАХ АЭС УКРАИНЫ

Ю. В. Бончук¹, Н. Н. Талерко², А. Г. Кузьменко²

¹Институт радиационной защиты АТН Украины, Киев

²Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

Приведено описание структуры и возможностей программного комплекса, используемого для оценки и прогнозирования последствий радиоактивных выбросов Ровенской АЭС. Комплекс включает современные модели расчета атмосферного распространения радиоактивного выброса, расчета доз внешнего и внутреннего облучения, а также модуль оценки результатов введения экстренных и неотложных контрмер (согласно требованиям НРБУ-97). С помощью программного комплекса проведены расчеты последствий возможной запроектной аварии для населения в пределах зоны наблюдения Ровенской АЭС. Показано, что повышение оперативности применения йодной профилактики за счет использования результатов прогнозирования радиационной обстановки может обеспечить существенное снижение предотвращаемых доз облучения щитовидной железы населения.

Ключевые слова: аварийный выброс, прогнозируемые дозы, предотвращаемые дозы, поддержка принятия решений, контрмеры.

Введение

В последние два десятилетия значительное внимание уделяется созданию и развитию компьютерных систем, предназначенных для оценки и прогнозирования последствий радиационных аварий на объектах атомной энергетики, анализу их воздействия на персонал атомных электростанций (АЭС), население и окружающую среду. Такая работа выполняется в нескольких направлениях:

1) развитие и усовершенствование математических методов расчета распространения радионуклидов в различных средах, моделей для оценки дозовых нагрузок, а также их верификация на имеющихся данных экспериментов и натуральных наблюдений;

2) объединение указанных методов и моделей в единый расчетный комплекс, привязанный к условиям конкретных объектов потенциальной угрозы для человека и окружающей среды;

3) организация баз данных о состоянии природной среды, параметров миграции загрязняющих веществ, картографических данных и т.п., которые содержат входную информацию для моделей;

4) создание на этой основе систем прогнозирования, работающих в режиме реального времени, связанных с системами сбора и обработки данных радиационного и метеорологического мониторинга и предназначенных для поддержки принятия решений при радиационных авариях.

К настоящему времени достигнут существенный прогресс в создании экспертных компьютерных систем различного уровня сложности, которые различаются как выбором пространственных и временных масштабов описания влияния последствий выбросов АЭС, так и подходами к физико-математической параметризации различных процессов, определяющих степень опасности таких выбросов. Наиболее известными из них являются: RODOS (общеевропейская система), RECASS и NOSTRADAMUS (Россия), ARGOS (Дания, Швеция), JSPEEDI (Япония), NARAC (США).

В ГП НАЭК «Энергоатом» в 2007 г. принята концепция создания компьютерной системы поддержки принятия решений (СППР) в случае радиационной аварии на АЭС, согласно которой СППР должна иметь двухуровневую структуру и состоять из двух подсистем:

объектовая (станционная) подсистема, размещенная на каждой АЭС Украины;

центральная подсистема, размещенная в Кризисном центре ГП НАЭК «Энергоатом».

Основным элементом СППР является станционная подсистема, которая в оперативном режиме должна выполнять задачи по поддержке принятых решений на ранней фазе аварии в полном объеме, определенном требованиями Типового аварийного плана АЭС Украины.

В настоящее время на АЭС Украины эксплуатируются различные системы станционного уровня, разработанные разными авторами и в разное время. Наиболее современным (и соответствующим требованиям НРБУ-97) из них является комплекс оперативного анализа дозиметрической обстановки при радиационных авариях на АЭС Украины (КАДО), созданный Институтом радиационной защиты Академии технологических наук Украины (Киев) и используемый на Ровенской АЭС (РАЭС) с 2003 г. Статья посвящена краткому описанию его возможностей и перспектив его дальнейшего усовершенствования.

Общая структура КАДО

Комплекс оперативного анализа дозиметрической обстановки предназначен для расчета последствий газоаerosольных выбросов из АЭС в пределах ее зоны наблюдения на ранней стадии аварии. Он включает основные модули:

- модуль расчета атмосферного переноса и выпадений на поверхность почвы;
- модуль расчета доз внешнего облучения от радиоактивного облака;
- модуль расчета доз внешнего облучения от выпадений на поверхность почвы;
- модуль расчета доз внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления;
- модуль расчета доз внутреннего облучения за счет перорального поступления при потреблении загрязненных продуктов питания (пилотный);
- модуль контрмер.

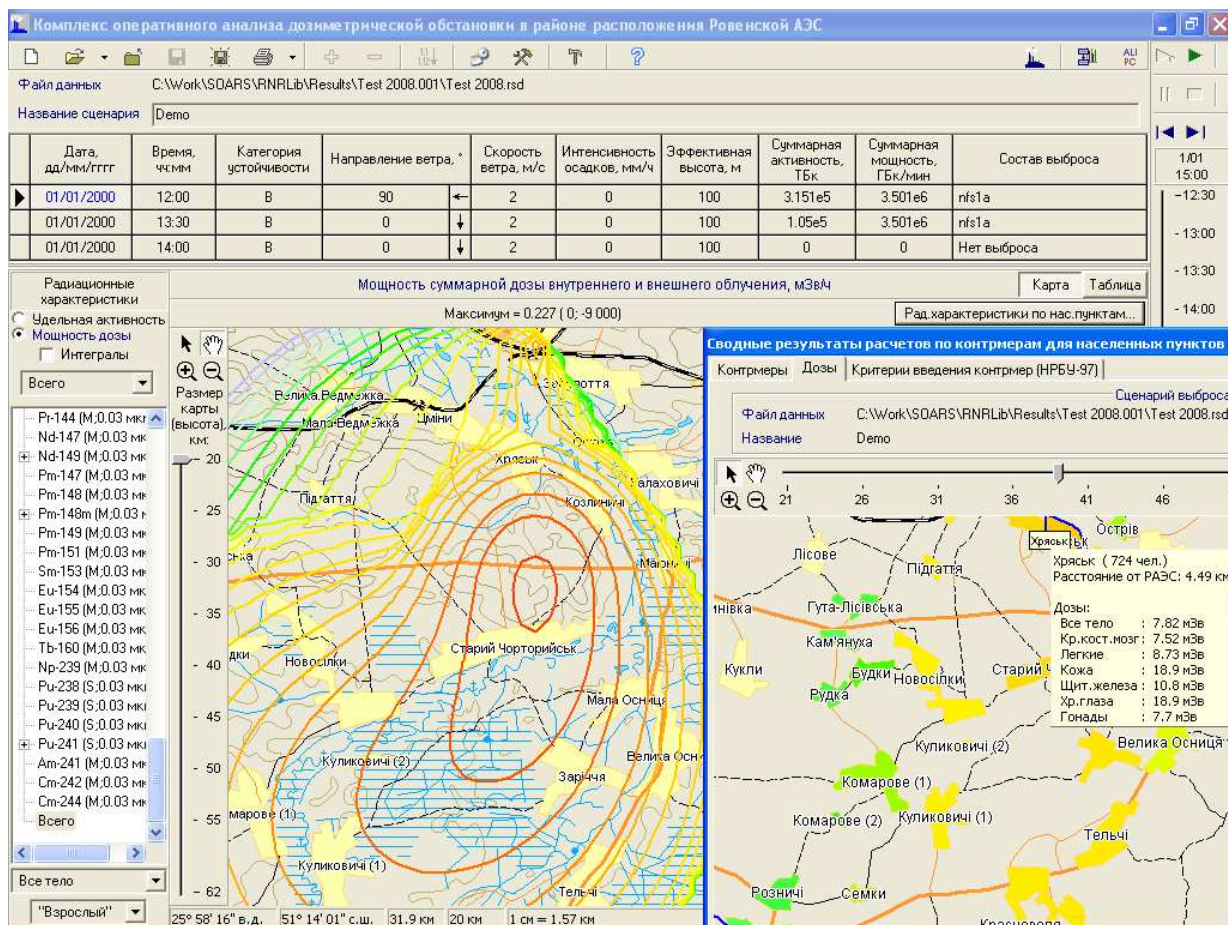


Рис. 1. Основное окно КАДО и фрагмент окна сводных результатов расчетов.

На рис. 1 представлен внешний вид основного окна КАДО, а также фрагмент одного из вспомогательных окон со сводными результатами расчетов по дозам и контрмерам для населенных пунктов зоны наблюдения АЭС.

Модуль атмосферного переноса

Модуль рассчитывает поля объемных удельных активностей радионуклидов в приземном слое воздуха и поверхностных удельных активностей радионуклидов в выпадениях на поверхность почвы. В его основу положена нестационарная модель атмосферного переноса примесей, предназначенная для расчета последствий возможных аварийных выбросов на расстояниях до 30 км. В отличие от стандартной гауссовой модели рассеяния примесей в атмосфере [1, 2] нестационарная модель атмосферного переноса может применяться в ситуациях, характеризующихся быстро меняющейся динамикой выброса, а также в условиях, изменяющихся в течение периода переноса примеси метеорологических полей (в первую очередь скорости и направления ветра). Длительный нестационарный выброс радионуклидов из источника моделируется последовательностью дискретных выбросов («клубов», англ. “puffs”), испускаемых из источника через некоторые (достаточно малые) промежутки времени. Подробное изложение модели, применяющейся в КАДО для расчетов значений объемной удельной активности радионуклида в воздухе, приведено в [3]. Такой подход позволяет несколько расширить диапазон применимости модели по расстояниям переноса (в пределах зоны наблюдения АЭС) по сравнению с обычной гауссовой моделью, которая (согласно рекомендациям МАГАТЭ [1]) рекомендована для использования только на расстояниях до 10 км от источника. Обсуждение особенностей и ограничений для применимости указанных моделей приведено в [4].

Модуль расчета доз внешнего облучения

Модуль рассчитывает эффективные дозы и эквивалентные дозы в органах (тканях), формируемые внешним облучением от радионуклидов в облаке выброса и радионуклидов, выпавших на поверхность почвы.

Модуль содержит две модели для расчета дозы внешнего облучения от радионуклидов в облаке выброса:

- а) модель полубесконечного пространственно однородного источника [2];
- б) интегральную модель радиоактивного облака [3].

На малых расстояниях от источника выброса в атмосферу в условиях высоких пространственных градиентов активности радионуклида модель однородного полубесконечного источника может приводить к большим погрешностям в оценке мощности дозы внешнего облучения от радиоактивного облака. Поэтому в КАДО интегральная модель применяется в условиях существенно неоднородных и быстроменяющихся полей активности радионуклидов в приземном слое атмосферы. Модель позволяет существенно уточнить оценку дозы, в особенности на расстояниях, сравнимых с высотой источника выброса.

Расчет эффективной дозы внешнего облучения от выпадений на поверхность почвы основан на модели источника, равномерно распределенного на бесконечной плоскости. Значения мощностей доз внешнего облучения на единицу поверхностной удельной активности радионуклидов на почве задаются согласно [5].

Модуль расчета доз внутреннего облучения

Модуль рассчитывает эффективные дозы и эквивалентные дозы в органах (тканях), формируемые внутренним облучением радионуклидов. Расчет выполняется для каждого радионуклида, входящего в состав выброса, а также их дочерних радионуклидов, образующихся в процессе радиоактивного распада.

Ингаляционное поступление. Прогнозируемая эффективная доза (для референтного возраста τ), сформированная ингаляционным поступлением i -го радионуклида к моменту времени t , рассчитывается следующим образом:

$$E_{\tau,i}^{inhal}(t) = \int_0^t \dot{E}_{\tau,i}^{inhal}(\theta) d\theta. \quad (1)$$

Мощность дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления ($\dot{E}_{\tau,i}^{inhal}(\theta)$, мЗв·час⁻¹) определяется по формуле

$$\dot{E}_{\tau,i}^{inhal}(\theta) = A_{V,i}(x, y, 0, \theta) \dot{g}_{\tau,i}^{inhal}, \quad (2)$$

где $A_{V,i}(x, y, 0, \theta)$ – объемная удельная активность i -го радионуклида в приземном слое воздухе в момент времени θ (Бк·м⁻³) для населенного пункта с координатами (x, y) ; $\dot{g}_{\tau,i}^{inhal}$ – мощность эффективной дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления для референтного возраста τ на единицу объемной удельной активности i -го радионуклида в воздухе, мЗв·Бк⁻¹·м³·ч⁻¹.

Расчет значений $\dot{g}_{\tau,i}^{inhal}$ выполняется по биокинетическим и дозиметрическим моделям Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Эти значения предварительно рассчитаны с помощью программного обеспечения IDSS (Internal Dosimetry Support System), разработанного Научно-исследовательским институтом радиационной защиты АТН Украины [6]. Рассчитанные коэффициенты хранятся во внутренней базе данных, которая содержит данные более чем по 700 радионуклидам (для шести референтных возрастов). IDSS показал хорошее соответствие результатов собственных расчетов со значениями доз на единицу поступления, опубликованными МКРЗ. Расчет эквивалентных доз в органах (тканях) выполняется аналогично расчету эффективных доз. Для этого используются соответствующие значения $\dot{g}_{\tau,i}^{inhal}$, также хранящиеся в базе данных КАДО.

Пероральное поступление. Модуль расчета доз внутреннего облучения, формируемых пероральным поступлением, является пилотным (находится в стадии разработки и тестирования) и не включен в состав КАДО, эксплуатирующегося в настоящее время на АЭС РАЭС. В этом модуле прогнозируемая эффективная доза, сформированная пероральным поступлением i -го радионуклида к моменту времени t , рассчитывается как

$$E_{\tau,i}^{ingest}(t) = \sum_{\Theta} E_{\tau,i}^{ingest}(\Theta), \quad (3)$$

где $E_{\tau,i}^{ingest}(\Theta)$ – прогнозируемая эффективная доза для референтного возраста τ , сформированная пероральным поступлением i -го радионуклида за календарную дату Θ .

Суммирование в формуле выполняется по всем календарным датам с начала аварийного выброса до даты, соответствующей времени t . Эффективная доза внутреннего облучения за календарную дату Θ определяется по формуле

$$E_{\tau,i}^{ingest}(\Theta) = I_{\tau,i}^{ingest}(\Theta) \cdot e_{\tau,i}^{ingest}, \quad (4)$$

где $I_{\tau,i}^{ingest}(\Theta)$ – пероральное поступление i -го радионуклида за календарную дату Θ для референтного возраста τ , Бк; $e_{\tau,i}^{ingest}$ – эффективная доза внутреннего облучения для референтного возраста τ на единицу перорального поступления i -го радионуклида, Зв·Бк⁻¹.

В основу оценки перорального поступления, выполняемого модулем, положена модель ECOSYS [7], при этом в модели используются характерные для Украины уровни потребления продуктов питания. Для расчетов доз используются наборы предварительно рассчитанных посуточных поступлений (для референтных возрастов), сформированных

выпадениями в каждый отдельный день года, а также (как и для ингаляционного поступления) база данных доз на единицу поступления, созданная с помощью IDSS [6].

Модуль контрмер

Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) [8] установлены критерии для экстренных и неотложных контрмер, определенные в следующем виде:

для экстренных контрмер - поглощенные дозы в органах (тканях) в течение первых двух суток;

для неотложных контрмер - дозы во всем теле, щитовидной железе (ЩЖ) и коже, предотвращенные за счет применения контрмеры в течение первых двух недель.

Критерии экстренных контрмер установлены в виде прогнозируемых доз, поэтому для определения их оправданности выполняется прямое сравнение рассчитанных доз со значениями критериев. Для определения оправданности неотложных контрмер (эвакуация, укрытие, ограничение пребывания на открытом воздухе, йодная профилактика) необходимо рассчитать дозы, предотвращаемые за 14 сут для референтного возраста τ ($E_{cm,\tau}$). Схема расчета предотвращаемых доз изложена ниже на примере эффективных доз.

Для внешнего облучения и внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления эффективная доза, предотвращаемая к моменту времени t (для i -го радионуклида), рассчитывается следующим образом:

$$E_{cm,\tau,i}^p(t) = \int_0^t \left(1 - \frac{1}{k_{cm,\tau,i}^p(\theta)} \right) \dot{E}_{\tau,i}^p(\theta) d\theta, \quad (5)$$

где $k_{cm,\tau,i}^p$ – функция понижения эффективной дозы для референтного возраста τ от i -го радионуклида за счет p -го пути дозообразования при применении контрмер (для любого θ $k_{cm,\tau,i}^p(\theta) \geq 1$; при неприменении (либо отсутствии эффективности) контрмер $k_{cm,\tau,i}^p(\theta) \equiv 1$); $\dot{E}_{\tau,i}^p(\theta)$ – мощность эффективной дозы облучения, формируемая в момент времени θ i -м радионуклидом за счет p -го пути дозообразования.

Для перорального пути поступления эффективная доза для референтного возраста τ , предотвращаемая к моменту времени t , определяется по формуле

$$E_{cm,\tau,i}^{ingest}(t) = \sum_{\Theta} \left(1 - \frac{1}{k_{cm,\tau,i}^{ingest}(\Theta)} \right) E_{\tau,i}^{ingest}(\Theta), \quad (6)$$

где $k_{cm,\tau,i}^{ingest}$ – коэффициент уменьшения эффективной дозы от перорального поступления i -го радионуклида за календарную дату Θ при применении контрмер; $E_{\tau,i}^{ingest}(\Theta)$ – прогнозируемая эффективная доза облучения, сформированная пероральным поступлением i -го радионуклида за календарную дату Θ .

Следует также обратить внимание на понятие режима поведения, для которого в [9] указываются следующие численные характеристики: для жителей сел – 0,29, пгт – 0,2 и городов – 0,13. Учет режима поведения в несколько раз (от 3,4 до 7,7) снижает оцениваемую дозу внешнего облучения за счет выпадений на поверхность почвы. В некотором смысле режим поведения также может считаться “пассивной” контрмерой.

Для расчетов предотвращаемых доз в КАДО используются графики применения контрмер, позволяющие задать их начало, продолжительность и эффективность (коэффициент уменьшения дозы для каждого пути формирования дозы). Поскольку контрмеры могут быть применены с некоторой задержкой, их применение не может предотвратить прогнозируемую дозу полностью, а только уменьшить ее (иногда существенно). Поэтому некоторые контрмеры для населенных пунктов могут оказаться неоправданными, несмотря на значительные дозы облучения населения при аварии.

Вспомогательные модули

К вспомогательным модулям КАДО относятся: модуль данных о радионуклидах, информационно-справочный модуль, геоинформационный модуль.

Модуль данных о радионуклидах содержит подробные радионуклидные данные (постоянные радиоактивного распада, цепи распадов, спектральные характеристики), необходимые для выполнения расчетов радиационной и дозиметрической обстановки.

Информационно-справочный модуль выполняет отображение данных (хранящихся в модуле данных о радионуклидах), а также содержит значения допустимых уровней поступления и концентрации для радионуклидов, приведенных в НРБУ-97 [8].

Геоинформационный модуль содержит картографическую информацию по Ровенской и Волынской областям в радиусе 50 км от РАЭС и включает основные картографические слои (границы областей и районов, рельеф местности, растительность, водные объекты, населенные пункты, автомобильные и железные дороги).

Применение КАДО для оценок последствий аварийных выбросов

Ниже рассмотрено применение КАДО для анализа последствий запроектной аварии (ЗПА) на блоке ВВЭР-1000 РАЭС (незакрытие арматуры вентиляционных систем Ду 400) [10], демонстрирующее возможности КАДО по поддержке принятия решений по контрмерам. Для упрощения анализа продолжительность выброса ограничена двумя часами, состав выброса указан в табл. 1.

Таблица 1. Состав выброса радионуклидов при ЗПА на блоке ВВЭР-1000

Радионуклиды		Выброс радионуклидов, ТБк	
		0 - 1 ч	1 - 2 ч
Инертные радиоактивные газы	^{85m} Kr	1000	200
	⁸⁷ Kr	2400	200
	⁸⁸ Kr	3700	700
	¹³³ Xe	19000	2000
	¹³⁵ Xe	1100	200
Молекулярный йод	¹³¹ I	810	40
	¹³² I	560	30
	¹³³ I	560	–
	¹³⁴ I	410	–
	¹³⁵ I	370	40
Органические соединения йода (CH ₃ I)	¹³¹ I	96	14
	¹³² I	63	7
	¹³³ I	67	7
	¹³⁴ I	37	4
	¹³⁵ I	44	4
Цезий	¹³⁴ Cs	25	–
	¹³⁷ Cs	13	–

Расчеты выполнены для следующих метеорологических характеристик: категория устойчивости атмосферы – Е, скорость ветра – 2 м·с⁻¹, направление ветра – на г. Кузнецовск. Расчеты проведены для двух вариантов эффективной высоты выброса: 40 м (соответствующей истечению радиоактивности из-под защитной оболочки) и 120 м (выброс из трубы блока). В расчетах не учтено пероральное поступление радионуклидов с загрязненными продуктами питания. Эта компонента весьма существенна для формирования дозы, однако она является более отложенной во времени, чем другие пути. В настоящей же работе основной акцент сделан на рассмотрении нескольких первых часов после выброса.

Результаты выполненных расчетов (в виде прогнозируемых доз облучения жителей различных населенных пунктов) приведены в табл. 2. Поскольку критерии введения экстрен-

ных контрмер не достигнуты, а для критериев введения неотложных контрмер превышены только нижние границы оправданности, установленные для дозы на кожу, то в таблице 2 приведены только значения доз на все тело и ЩЖ. В колонках “Дети” приведены значения доз, являющиеся максимальными среди всех референтных возрастов, кроме референтного возраста «Взрослый». Режим поведения в табл. 2 не учтен.

Таблица 2. Прогнозируемые дозы облучения жителей различных населенных пунктов зоны наблюдения РАЭС (с указанием расстояния до РАЭС)

Высота выброса	Орган/ткань	Время	Дети	Взр.	Дети	Взр.	Дети	Взр.	Дети	Взр.	Дети	Взр.
			Кузнецовск		Березина		Серхив		Городок		Колодии	
			2,9 км		18,6 км		24,9 км		28,5 км		7,1 км	
40 м	Все тело, мЗв	Шлейф*	56	32	4,7	2,7	3,4	1,9	2,0	1,1	0,8	0,5
		2 сут	65	41	5,3	3,3	3,8	2,3	2,2	1,4	1,0	0,6
		14 сут	81	57	6,5	4,5	4,7	3,2	2,7	1,9	1,2	0,8
	ЩЖ, мГр	Шлейф*	1000	510	84	43	61	31	36	18	15	7,5
		2 сут	1010	520	85	43,4	62	32	36	19	15	7,6
		14 сут	1030	530	86	45	63	33	37	19	15	7,9
120 м	Все тело, мЗв	Шлейф*	37	21	5,8	3,3	4,2	2,4	2,4	1,4	0,9	0,5
		2 сут	43	27	6,6	4,1	4,7	2,9	2,7	1,7	1,0	0,6
		14 сут	54	38	8,3	5,8	5,9	4,1	3,4	2,4	1,3	0,9
	ЩЖ, мГр	Шлейф*	670	340	110	54	77	39	45	23	16	8,2
		2 сут	670	340	110	55	78	40	45	23	16	8,3
		14 сут	680	350	110	57	79	41	46	24	17	8,6

*Указаны дозы, получаемые за время прохождения шлейфа выброса через населенный пункт.

Основным дозообразующим фактором является ингаляционное поступление радионуклидов йода. Его вклад в суммарную эффективную дозу (для населения Кузнецовска) составляет от 80 (для высоты выброса 40 м) до 82 % (для 120 м). Из них около 70 % приходится на ^{131}I и до 8 % – на ^{133}I . Следующим по важности является внешнее облучение, формируемое инертными радиоактивными газами. Его вклад составляет от 9 % (для высоты выброса 120 м) до 11 % (для 40 м) от суммарной дозы (большая часть которой приходится на ^{88}Kr). Вклад других путей формирования дозы существенно меньше: около 4 % дает внешнее облучение от радионуклидов, выпавших на поверхность почвы, и около 2 % – ингаляционное поступление радионуклидов цезия.

Вышеуказанные пропорции относятся к продолжительности облучения за время полного прохождения шлейфа выброса. При рассмотрении более длительных временных интервалов (2 и 14 сут), для которых установлены контрмеры, можно наблюдать рост доли внешнего облучения от радионуклидов, выпавших на поверхность почвы. Как следует из табл. 2, приращение может достигать 30 % за 2 сут и 80 % за 14 сут (для эффективной дозы). Однако для таких временных интервалов уже следует учесть режим поведения, применение которого понизит прирост доз как минимум в три раза. С другой стороны, оценка доз может существенно возрасти при учете перорального пути поступления.

Что же касается доз в ЩЖ, то, очевидно, что они практически полностью (~99 %) формируются за счет ингаляционного поступления радионуклидов йода (~85 % ^{131}I , ~12 % ^{133}I) и почти не увеличиваются после прохождения шлейфа выброса.

Согласно табл. 2, для населения Кузнецовска могут быть превышены уровни безусловной оправданности для ограничения пребывания на открытом воздухе (для обеих высот выброса). Для йодной профилактики уровни безусловной оправданности для детей могут быть превышены для обеих высот выброса, а для взрослых – для высоты выброса 40 м (для высоты выброса 120 м для взрослых могут быть превышены только нижние границы оправданности). Превышение уровней для неотложных контрмер намеренно упоминается в виде возможности, но не обязательности, так как для оправданности их введения требуется обосновать превышение предотвращаемых, а не прогнозируемых доз.

Ниже рассмотрены вопросы зависимости предотвращаемых доз от оперативности введения контрмер. Поскольку такая зависимость для ограничения пребывания на открытом воздухе более очевидна, то основное внимание уделено йодной профилактике.

Зависимость эффективности йодной профилактики от времени приема препаратов стабильного йода после поступления радионуклида принята в соответствии с [11]. Результаты расчетов предотвращаемых доз приведены в табл. 3.

Таблица 3. Зависимость предотвращаемых доз от начала йодной профилактики

Высота выброса	Возраст	Орган/ткань	Прогнозируемые дозы	Предотвращаемая доза (в зависимости от времени введения йодной профилактики после начала выброса)				
				1 ч	2 ч	3 ч	4 ч	5 ч
40 м	Дети	Все тело, мЗв	56	47	45	37	27	24
		ЩЖ, мГр	1000	940	880	740	530	480
	Взрослые	Все тело, мЗв	32	24	23	19	14	12
		ЩЖ, мГр	510	470	440	370	270	240
120 м	Дети	Все тело, мЗв	37	32	30	25	18	16
		ЩЖ, мГр	670	630	590	490	350	320
	Взрослые	Все тело, мЗв	21	16	15	13	9,1	8,1
		ЩЖ, мГр	340	320	300	250	180	160

Результаты, приведенные в табл. 3, демонстрируют существенное снижение предотвращаемых доз (для ЩЖ) при увеличении временной задержки введения йодной профилактики. Хотя для рассматриваемого сценария выброса оправданность ее введения сохраняется даже спустя 5 ч после начала аварии, доля дозы, которая может быть предотвращена, уменьшается (в сравнении с 1 ч) почти вдвое (с 9 до 48 %). Величина дозы, которая не будет предотвращена при позднем введении контрмеры, соответственно превысит половину прогнозируемой дозы на ЩЖ. В этом смысле показательной является и величина непредотвращенной эффективной дозы (получаемой населением), которая может даже превысить предел дозы, установленный для персонала (категории А). Приведенный пример свидетельствует о необходимости как можно более раннего введения йодной профилактики в случае возникновения рассмотренной запроектной аварии.

Заключение

КАДО установлен на РАЭС для поддержки принятия решений в случае аварийных выбросов на РАЭС. КАДО эксплуатируется с 2003 г. и получил высокую оценку экспертов Международного агентства по атомной энергии во время миссии OSART (Operational Safety Review Team) и экспертов трех миссий ВАО АЭС (Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные электростанции). Последние комплексные аварийные учения, на которых успешно использовался КАДО, были проведены ГП НАЭК «Энергоатом» в сентябре 2008 г.

В будущем планируется дальнейшее развитие и усовершенствование КАДО:

1. Формирование банка сценариев выбросов в атмосферу при различных авариях на АЭС с реакторами ВВЭР.
2. Развитие и усовершенствование блока атмосферного переноса с целью учета физико-географических особенностей района расположения АЭС (сложный рельеф, наличие крупных водоемов и неоднородностей подстилающей поверхности).
3. Включение перорального пути поступления радионуклидов в организм человека в блок расчета доз облучения.
4. Автоматизированный ввод текущей метеорологической информации с целью эксплуатации системы в режиме реального времени.

5. Возможность ассимилировать данные радиационного мониторинга в зоне наблюдения АЭС для оперативного уточнения характеристик радиоактивного загрязнения местности и уточнения параметров источника выброса (решение обратной задачи атмосферного переноса и дозиметрии).

С учетом вышеизложенных перспектив расширения функциональности ГП НАЭК «Энергоатом» планирует распространение КАДО на все действующие АЭС Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting: A Safety Guide*, IAEA Safety series No. 50-SG-S3. - Vienna: IAEA, 1980. – 108 p.
2. *Гусев Н.Г., Беляев В.А.* Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
3. *Талерко Н.Н.* Комплекс моделей для оценки последствий атмосферных выбросов из АЭС в условиях неоднородных и нестационарных полей активности радионуклидов в воздухе // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2005. – Вип. 2. – С. 8 - 16.
4. *Талерко Н.Н.* Физические особенности и ограничения моделей атмосферного переноса радионуклидов для разных пространственно-временных масштабов // Там же. – 2009. – Вип. 11. – С. 57 - 62.
5. *Eckerman K.F., Leggett R.W.* DCFPAK: Dose coefficient data file package for Sandia National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-13347. - Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1996.
6. *Berkovski V., Likhtarev I., Ratia G., Bonchuk Y.* Internal Dosimetry Support System: Multipurpose Research Computer Code // Radiat. Prot. Dosim. – 1998. – Vol. 79. - P. 371 – 374.
7. *Muller H., Prohl G.* ECOSYS-87: A dynamic model for the assessment of the radiological consequences of nuclear accidents // Health Phys. – 1993. - Vol. 64. – P. 232 – 252.
8. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи.* – К., 1997. – 191 с.
9. *Likhtariov I., Kovgan L., Novak D. et al.* Effective doses due to external irradiation from the Chernobyl accident for different population groups of Ukraine // Health Phys. - 1996. Vol. 70(1). – P. 87 - 98.
10. *Отчет по анализу безопасности. Техническое обоснование безопасности. Блок № 5.* Запорожская АЭС. № 21.5.70.ОБ.05.04. Глава 4 «Анализ безопасности АЭС» / Национальная атомная энергогенерирующая компания “Энергоатом”. – К., 1999.
11. *Пристеп Б.С., Алексахин Р.М., Бебешко В.Г. и др.* Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества. – К., Украинское ядерное общество, 2007. – 64 с.

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС АНАЛІЗУ ДОЗИМЕТРИЧНОГО СТАНУ ПРИ АВАРІЙНИХ ВИКИДАХ АЕС УКРАЇНИ

Ю. В. Бончук, М. М. Талерко, Г. Г. Кузьменко

Наведено опис структури та можливостей програмного комплексу, що використовується для оцінки і прогнозування наслідків радіоактивних викидів Рівненської АЕС. Комплекс включає сучасні моделі розрахунку атмосферного розповсюдження радіоактивного викиду, розрахунку доз зовнішнього та внутрішнього опромінення, а також модуль оцінки результатів введення термінових і невідкладних контрзаходів (згідно з вимогами НРБУ-97). За допомогою програмного комплексу проведено розрахунки наслідків можливої запроектованої аварії для населення в межах зони спостереження Рівненської АЕС. Показано, що підвищення оперативності застосування йодної профілактики за рахунок використання результатів прогнозування радіаційної обстановки може забезпечити істотне зниження доз, що відвертають опромінення щитовидної залози населення.

Ключові слова: аварійний викид, прогнозовані дози, дози, що відвертаються, підтримка прийняття рішень, контрзаходи.

**SOFTWARE SYSTEM FOR ANALYSIS OF DOSIMETRIC SITUATION AFTER EMERGENCY
ATMOSPHERIC RELEASE OF NPP IN UKRAINE****Iu. V. Bonchuk, M. M. Talerko, G. G. Kuzmenko**

Description of structure and possibilities of decision support system, which is used for an estimation and forecast of possible accidental releases of Rivne NPP is presented. It includes the modern atmospheric transport models, dose models of external and internal exposure, and also module of urgent and emergency countermeasures estimation (according to demands of NRB-97). Using a decision support system, the calculations of consequences of possible beyond design basis accident are conducted for a population within the supervision area of Rivne NPP. It is shown that the increase of iodine prophylaxis efficiency due to decision support system using can provide the substantial reduction of the avertable doses to thyroid for members of the public.

Keywords: emergency release, predicted doses, avertable doses, decision support, countermeasures.

Поступила в редакцию 30.06.09