

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2006 г.

**В. Е. Хан, Б. И. Огородников, А. К. Калиновский,
П. Н. Дубенко, В. Б. Рыбалка, В. А. Краснов**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлены результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г. Максимальная скорость неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» наблюдалась в декабре и достигала 6,4 МБк/сут. В систему «Байпас» в 2006 г. поступали, как правило, аэрозоли с АМАД более 1 мкм. Концентрации аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов находились в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. Концентрации свыше 20 Бк/м³ приходились на периоды сильных ветров и интенсивных строительных работ.

Введение

Как и любое сооружение, объект «Укрытие» стареет. Под воздействием воды, проникающей через неплотности и щели, растворов, которые используют для пылеподавления, суточных и сезонных колебаний относительной влажности и температуры происходит выщелачивание химических веществ из строительных конструкций и засыпки реактора и их перенос с водой с верхних отметок на нижние. Брызги и капельная влага при испарении превращаются в субмикронные радиоактивные аэрозоли. Металлические поверхности подвергаются эрозии и коррозии. Лавообразные топливосодержащие материалы (ЛТСМ), в которых заключено наибольшее количество ядерного топлива, оставшегося после взрыва реактора, постепенно охрупчиваются и меняют свою консистенцию. Метеообстановка во внешней среде также влияет на величину активности аэрозольных выбросов из объекта «Укрытие». Например, туманы способствуют снижению концентрации радиоактивных аэрозолей, а сильные ветры, при которых увеличивается тяга воздуха через неплотности и щели внешних конструкций, а также проникновение турбулентных вихрей, приводят к увеличению запыленности.

Оценка влияния объекта «Укрытие» на окружающую среду является сложной и многофакторной проблемой. По-прежнему одним из основных источников потенциальной радиологической опасности разрушенного 4-го энергоблока ЧАЭС остается процесс выброса радиоаэрозолей. Путей выброса два: через систему «Байпас» и вентиляционную трубу ВТ-2 происходит «организованный» выброс аэрозолей, а через неплотности (щели, проемы, технологические люки) внешних строительных конструкций – «неорганизованный» выброс. Систематический контроль количества и состава неорганизованных выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» [1], начатый в 1992 г., является важным источником информации, необходимой как для оценки и повышения текущего уровня его безопасности, так и для решения задач по преобразованию объекта в экологически безопасную систему.

Результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей через технологические отверстия и неплотности легкой кровли объекта «Укрытие»

В 2006 г., как и в предыдущие годы, для оценки выноса радиоактивных аэрозолей через технологические отверстия и неплотности легкой кровли применяли аккумулярующие планшеты, что позволяет достаточно надежно решать задачу относительной оценки и радионуклидного состава выбросов.

Планшеты устанавливали над технологическими люками 7, 10, 13 и 15. Для удержания аэрозолей планшеты предварительно пропитывали нефтепродуктами (литол-24 и масло-

разбавитель). Суммарная площадь отверстий на верхних отметках объекта «Укрытие» при оценке интегрального выноса принималась равной 120 м² [2].

В табл. 1 представлена оценка выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г. Неорганизованный выброс бета-активности с аэрозолями через отверстия и проемы на верхних отметках объекта с начала года по 5 декабря составил 550 МБк, что почти на 20 % меньше по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Причем пониженный выброс наблюдался на протяжении всего указанного периода. Вероятной причиной снижения выбросов можно рассматривать как модернизацию системы пылеподавления [3], что значительно увеличило поверхность орошения за счет периферии центрального зала, так и применение при этом концентрированных пылеподавляющих составов. Однако в период экспонирования планшетов с 5 декабря 2006 г. по 22 февраля 2007 г. из-за интенсивных работ по стабилизационному мероприятию № 2 на верхних отметках объекта «Укрытие», скорость выброса бета-активных аэрозолей резко возросла и достигла максимальной в 2006 г. величины 6,5 МБк/сут. Этому также способствовал значительный перепад температур внутри и снаружи объекта. В результате неорганизованный выброс бета- и альфа-активности с аэрозолями через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» за весь год составил 720 и 9,0 МБк соответственно, что лишь на 9 % меньше по сравнению с 2005 г.

Высокая скорость выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» пришлась также на период с 6 декабря 2005 г. по 7 декабря 2006 г. и составила 4,4 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период вызвано максимальным перепадом температур внутри и снаружи объекта «Укрытие».

Таблица 1. Оценка выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г.

Экспозиция		Верхний предел величины аэрозольного выброса, МБк			
		альфа-излучатели*		бета-излучатели**	
Начало	Длительность, сут	за сутки	с начала года	за сутки	с начала года
06.12.2005	63	0,05	1,8	4,4	160
07.02.2006	22	0,007	1,9	0,7	180
01.03.2006	34	0,02	2,7	1,9	240
04.04.2006	36	0,02	3,2	0,9	280
11.05.2006	21	0,04	4,1	2,7	340
01.06.2006	33	0,01	4,5	0,8	360
04.07.2006	28	0,01	4,8	0,7	380
01.08.2006	34	0,02	5,5	1,6	440
06.09.2006	27	0,01	5,7	0,6	460
03.10.2006	35	0,03	6,7	2,0	530
07.11.2006	28	0,01	7,0	0,7	550
05.12.2006	48	0,09	9,0	6,4	720
Среднее		0,03		2,0	

* Сумма альфа-излучателей включает изотопы ²⁴⁰Pu, ²³⁹Pu, ²³⁸Pu, ²⁴¹Am.

** Сумма бета-излучателей включает изотопы ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, ²⁴¹Pu.

На рис. 1 представлена динамика неорганизованного выброса с 1992 по 2006 г. В настоящее время наблюдается стабилизация величины активности аэрозольного выброса. Однако проведение стабилизационных работ и возможность внезапного разрушения ЛТСМ могут вновь привести к увеличению активности выброса, что в свою очередь потребует принятия соответствующих мер.

Для исследования дисперсного и радионуклидного состава аэрозолей, выбрасываемых в окружающую среду из объекта «Укрытие», в феврале - ноябре 2006 г. были отобраны пробы на пакеты трехслойных волокнистых фильтров Петрянова. Использована следующая

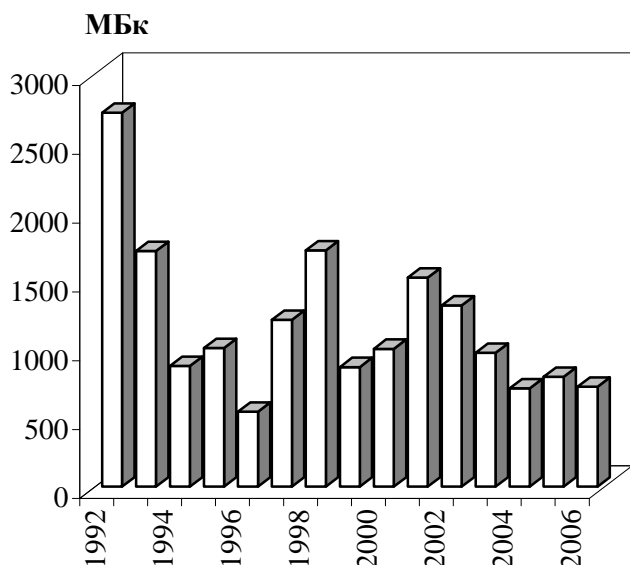


Рис. 1. Динамика выброса радиоаэрозолей через неплотности в кровле объекта "Укрытие" в 1992 - 2006 гг. по данным аккумулялирующих планшетов.

«Байпас» снижались, как правило, до 1 - 4 м/с. Тогда использовали насадку длиной 60 мм с площадью входа 12 см². Линейная скорость фильтрации аэрозолей составляла около 90 см/с. Воздуходувку размещали в помещении 4004/1 на срезе системы «Байпас», через который воздух из центрального зала объекта «Укрытие» поступал в высотную трубу ВТ-2 (рис. 2).



Рис. 2. Размещение воздуходувки в «Байпасе».

рис. 3. Из него видно, что концентрации изменялись в широком диапазоне: от 0,05 до 50 Бк/м³. Чаще всего они составляли 1 – 10 Бк/м³. Концентрации свыше 20 Бк/м³ были зарегистрированы лишь в трех пробах, в частности, 30 мая после сильного ветра и в середине октября при проведении работ по стабилизации объекта «Укрытие» в западной части 4-го блока.

Согласно справке, полученной из ОАО ЮТЭМ, с 12 по 20 октября для монтажа упоров в верхней части западной оболочки объекта «Укрытие» (между осями 50 и 51) были вырезаны проемы суммарной площадью около 50 м². Наибольший проем площадью около 35 м² был сделан в рядах Е - И на высотных отметках от +58,5 до +62,0 м. Несколько ниже него

композиция: 1-й слой - ФПА-70-0,13; 2-й слой - ФПА-70-0,21; 3-й слой-АФА РМП-20. С апреля 3-й слой стали комплектовать из двух фильтров АФА РМП-20 и АФА РСР-20. Это позволило более полно улавливать субмикронные аэрозоли-носители дочерних продуктов радона и торона.

Пакет площадью 20 см² размещали на фильтродержателе воздуходувки Н810 SAIC, которая используется в регламентном контроле радиоактивных аэрозолей в помещениях объекта «Укрытие», проводимом специалистами ЦРБ ЧАЭС. Для обеспечения изокинетичности отбора аэрозолей из вентиляционного потока перед пакетом устанавливали конусную насадку. В зимний период, когда скорость потока в системе «Байпас» составляла 4 - 7 м/с, она была длиной 140 мм с площадью входного отверстия 3,8 см². В летний период скорости потока в системе

Измерения бета-активности были выполнены на радиометре КРК-1, находящемся в помещении Г328 объекта «Укрытие». Была определена бета-активность на каждом слое пакета сразу после окончания отбора проб, что позволило рассчитать количества короткоживущих дочерних продуктов радона и торона (ДПР) и спустя 5 сут определить долгоживущие радионуклиды «чернобыльского» генезиса. Кроме того, при гамма-спектрометрии слоев, проведенной в отделении ядерной и радиационной безопасности ИПБ АЭС, измерено содержание ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am.

За 2006 г. было отобрано и проанализировано 39 проб (табл. 2). Объемные концентрации аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов представлены на

Таблица 2. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в системе "Байпас" объекта "Укрытие" за 2006 г.

Дата	Концентрации аэрозолей, Бк/м ³				$\frac{^{137}\text{Cs}}{\Sigma\beta}$	$\Sigma\beta$, мкМ		ДПР, мкМ		Условия отбора	Ветер		
	^{137}Cs	$\Sigma\beta$	^{241}Am	ДПР		АМАД	σ	АМАД	σ		средний, м/с	порывы, м/с	направление, град
08.02	1,36	3,4	-	16	0,40	4,24	2,6	0,11	5,9	-	3	6	150
13.02	0,25	0,45	-	9	0,55	1,74	3,7	0,22	1,1	-	1	4	340
14.02	0,78	0,84	-	10	0,93	0,64	10,1	0,12	4,4	сварка	1	2	340
15.02	0,44	0,46	-	14	0,95	0,76	1,6	0,14	3,6	сварка	2	4	150
15.02	0,55	0,86	-	10	0,64	-	-	-	-	-	2	4	150
21.02	0,22	0,46	-	10	0,48	0,51	19,8	0,2	2,3	-	2	5	180
22.02	0,78	0,95	-	12	0,82	13,2	3	0,19	2,8	туман	1	3	160
23.02	5,8	27	-	22	0,21	7,6	1,5	0,34	6	-	3	7	300
14.03	3,6	8,2	-	12	0,44	0,83	1,2	0,03	8,1	-	3	9	70
03.04	3,55	9,9		1,8	0,36	0,82	2,4	-	-	-	3	8	170
04.04	1,52	5,7	0,022	3,0	0,27	1,22	2,1	0,08	11	-	3	9	140
05.04	1,31	2,2	-	5,0	0,60	4,76	2	0,19	2,8	-	4	6	150
17.05	2,77	12	0,057	18	0,22	2,41	1,4	0,05	7,6	-	2	7	300
17.05	2,95	8,0	-	8,0	0,37	6,33	1,7	0,05	5,7	-	2	7	310
23.05	0,53	1,2	-	14	0,43	0,28	3,3	0,19	1,1	-	2	5	140
25.05	1,76	7,5	-	7,0	0,23	6,07	1,8	0,16	2,7	-	1	5	10
26.05	1,52	5,2	-	4,0	0,29	1,77	1,6	0,21	1,4	-	1	3	150
29.05	3,48	11	-	2,3	0,31	6,12	3,8	0,08	8,4	ветрено	3--4	8 - 11	250
30.05	4,02	27	-	14	0,15	6,65	1,78	0,06	5,7	-	1	4	250
31.05	2,58	12	-	11	0,21	3,64	2,06	0,28	2,5	ветрено	3	8 - 9	150
01.06	3,9	6,2	-	9,0	0,63	5,3	1,75	0,24	2,3	-	3	5 - 7	250
20.09	1,11	4,0	-	17	0,28	1,31	1,3	0,21	1,1	-	-	-	-
21.09	0,64	0,72	-	7,0	0,89	3,29	2,9	0,26	2,3	-	-	-	-
03.10	0,32	1,0	-	14	0,32	3,25	3	0,18	3,9	-	2	4 - 7	210
04.10	1,66	4,4	-	12	0,37	-	-	0,22	4,0	-	2	3 - 5	170
05.10	0,67	1,6	-	27	0,41	4,87	1,8	0,12	5,4	-	2	2	340
09.10	0,4	1,0	-	10	0,40	3,89	2	0,21	1,7	при МСПП	3	7	280
10.10	0,25	0,5	-	8,0	0,46	2,14	1,2	0,19	5,4	-	3	7	280
11.10	1,61	4,8	-	17	0,33	-	-	0,21	2,9	-	1	3	360
12.10		0,05	-	10	-	-	-	0,22	2,4	-	2	3	160
16.10	3,44	7,6	-	9,0	0,45	0,79	1,07	0,24	4,1	ветрено	3	8	10
17.10	9,7	47	-	-	0,21	1,19	1,53	-	-	-	2	5	30
20.11		11	-	20	-	7,67	1,45	0,22	3,8	туман	2	5	180
21.11	0,56	0,51	-	18	1,1	5,8	2,64	0,23	1,7	-	2	5	180
22.11	0,16	0,11	-	13	1,4	16,3	2,54	0,18	5,4	-	3	8	130
23.11	0,5	0,60	-	16	1,1	4,92	1,8	0,25	2,0	туман	3	7	130
28.11	0,4	1,5	-	20	0,26	1,36	1,4	0,08	8,5	туман	1	2	20
29.11	0,85	1,7	-	12	0,50	10,1	4,1	0,21	2,8	туман	1	3	215
30.11	0,57	0,71	-	14	0,80	10,1	1,5	0,19	2,7	низкая облачн.	1	5	250

(на отметке +58 м) в рядах Е, И, Н и Р выполнены четыре проема (размер каждого 0,85 × 0,85 м). Под ними в рядах Е и И появились два проема по 1 м² на отметке примерно +54 м, а в рядах Н и Р - два проема длиной по 4,5 м и шириной 1 м с центрами также на отметке примерно + 54 м.

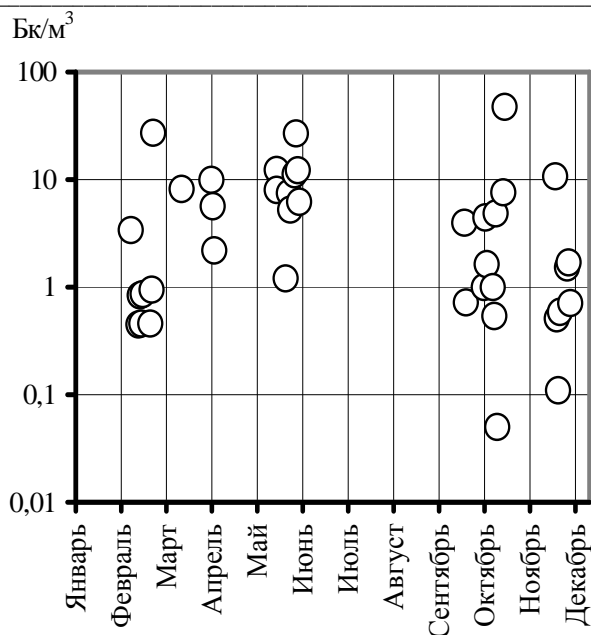


Рис. 3. Объемные активности аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в «Байпасе» объекта «Укрытие» в 2006 г.

ции суммы бета-излучающих нуклидов ($\Sigma\beta$ -активности), зарегистрированные в системе «Байпас» 12 октября ($0,05 \text{ Бк/м}^3$) и 22 ноября ($0,11 \text{ Бк/м}^3$). Такие величины характерны для проб, отбираемых фильтровальными установками в локальной зоне.

При наблюдениях, выполненных в системе «Байпас» в 2003 - 2005 гг., концентраций $\Sigma\beta$ -активности ниже $0,1 \text{ Бк/м}^3$ отмечено не было [1].

Вклад ^{137}Cs в суммарную активность аэрозолей-носителей бета-излучения, как правило, не превышал 30 %. Одновременно с этим концентрация ^{137}Cs превышала в 50 - 70 раз концентрацию ^{241}Am . Это близко к расчетному соотношению для этих радионуклидов в ядерном топливе, оставшемся в развале 4-го блока [4].

Обработка результатов измерений аэрозолей-носителей дочерних продуктов радона и торона показала, что концентрации этих естественных радиоактивных газов оставались достаточно стабильными: минимальные и максимальные значения отличались от среднего уровня не более чем в 2 - 3 раза. Это означает, что генерация аэрозолей «чернобыльского» генезиса и дочерних продуктов радона и торона происходит по различающимся причинам, не связанным между собой.

Расчет дисперсного состава аэрозолей был выполнен в соответствии с методикой [5]. Установлено, что носителями радионуклидов «чернобыльского» генезиса были, как правило, частицы с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД) более 1 мкм, а дочерних продуктов радона и торона - с АМАД 0,1 - 0,3 мкм.

Для исследований дисперсного состава аэрозолей 23 и 29 ноября 2006 г. в «Байпасе» были отобраны пробы на пятикаскадный импактор. Минимальный размер частиц, до которого возможна сепарация аэрозолей в обычном импакторе, около 0,5 мкм. Для задерживания более мелких частиц пятый каскад заменили фильтром АФА РМП-20. Для обеспечения прокачки воздуха через импактор использовали воздуходувку Н-810 SAIC. Методика проведения исследований с помощью импактора аналогична изложенной в [6].

В результате отжига органических веществ в пробах аэрозолей четвертого каскада и на фильтрах наблюдалось практически полное выгорание частиц. Незначительное количество оставшихся после отжига частиц имели в составе кальция и кремния. Оксиды урана в оставшихся частицах не обнаружено. Следовательно, на четвертом каскаде и на фильтрах подавляющее количество частицы с размером меньше 1 мкм органического происхождения.

Вырезанные проемы сохранялись до конца декабря 2006 г. Для прорезания проемов использовались огневые технологии, что способствовало возгонке цезия и двух его окислов (температура их возгонки около $650 \text{ }^\circ\text{C}$) при последующей конденсации на атмосферных ядрах субмикронного размера. Кроме того, неоднократно со стен и перекрытий происходило обрушение старых строительных фрагментов и элементов разрушенного реактора 4-го блока, например кусков графитовых блоков. Естественно, это отражалось на аэрозольной обстановке внутри объекта «Укрытие» и во внешней среде. Появление проемов увеличило площадь неплотностей в оболочке объекта «Укрытие» примерно на 25 %. Через эти проемы воздушные потоки попадали непосредственно в центральный зал. Именно поступлением воздуха из внешней среды можно объяснить очень низкие концентрации

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в 2006 г. как по концентрациям радионуклидов, так и по дисперсному составу аэрозоли, поступающие из центрального зала 4-го блока в систему «Байпас», а затем трубу ВТ-2, практически не изменились по сравнению с 2004 - 2005 гг. [1].

Выводы

В 2006 г. неорганизованный выброс бета- и альфа-активных аэрозолей через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» оценен в 720 и 9,0 МБк соответственно.

Максимальная скорость выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» наблюдалась в декабре и достигала величины 6,4 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период вызвано проведением интенсивных работ по стабилизационному мероприятию № 2 в условиях значительной разности температур внутри и снаружи объекта «Укрытие».

Концентрации аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов в системе «Байпас» находились, как правило, в диапазоне 1 - 10 Бк/м³. Концентрации свыше 20 Бк/м³ были зарегистрированы лишь в трех пробах: после сильного ветра и при проведении работ по стабилизации объекта «Укрытие» в западной его части. Носителями радионуклидов «чернобыльского» генезиса были, как правило, частицы с АМАД более 1 мкм, а дочерних продуктов радона и торона - с АМАД 0,1 - 0,3 мкм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что как по концентрациям радионуклидов, так и по дисперсному составу аэрозоли, поступающие из центрального зала 4-го блока в систему «Байпас», а затем трубу ВТ-2, практически не изменились по сравнению с 2004 - 2005 гг. [1]. При этом частицы с размером менее 1 мкм, в основном, органического происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2006. - Вип. 6. - С. 85 - 94.
2. Боровой А.А., Богатов С.А., Пазухин Э.М. Современное состояние объекта «Укрытие» и его влияние на окружающую среду // Радиохимия. - 1999. - Т. 41, № 4. - С. 368 - 378.
3. Краснов В.А., Крилицын А.П., Огородников Б.И. и др. Оценка воздействия модернизированной системы пылеподавления на радиационную обстановку внутри объекта «Укрытие» и на окружающую среду // Проблемы Чернобиля. - 2004. - Вип. 15. - С. 24 - 33.
4. Состояние ядерной, радиационной и экологической безопасности объекта «Укрытие»: (Отчет) / Институт высоких технологий экспериментального машиностроения РНЦ «Курчатовский институт». - М., 1995.
5. Vidyka A K., Ogorodnikov B I., Skitovich V.I. Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. of Aerosol Sci. - 1993. - Vol. 24. - Suppl. 1. - P. S205 - S206.
6. Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Крилицын А.П. и др. Контроль неорганизованных сбросов и выбросов из объекта «Укрытие» в 2004 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2005. - Вип. 2. - С. 22 - 32.

Поступила в редакцию 15.12.07

**22 КОНТРОЛЬ ВИКИДІВ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ
З ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" В 2006 Р.**

**В. Є. Хан, Б. І. Огородников, О. К. Калиновський,
П. М. Дубенко, В. Б. Рибалка, В. О. Краснов**

Наведено результати контролю викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта "Укриття" в 2006 р. Максимальна швидкість неорганізованого викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта «Укриття» спостерігалася в грудні й досягла 6,4 МБк/доб. У систему «Байпас» у 2006 р. поступали, як правило, аерозолі з АМАД більше 1 мкм. Концентрації аерозолів-носіїв бета-випромінюючих нуклідів знаходилися в діапазоні 1 – 10 Бк/м³. Концентрації понад 20 Бк/м³ припадали на періоди сильних вітрів та інтенсивних будівельних робіт.

**22 CONTROL OF RELEASES OF RADIOACTIVE AEROSOLS
FROM OBJECT "UKRYTTYA" IN 2006**

**V. E. Khan, B. I. Ogorodnikov, O. K. Kalynovskiy,
P. N. Dubenko, V. B. Rybalka, V. A. Krasnov**

The results of the control of radioactive aerosol releases from object "Ukryttya" in 2006 are submitted. The maximal rate of unorganized releases of radioactive aerosols from object "Ukryttya" was in December, and reached 6.4 MBq/day. In system "Bypass" in 2006 the aerosols acted, as a rule, with activity median aerodynamic diameter more than 1 μm. The concentration of aerosols-carriers beta-radiating nuclides were within the range 1 - 10 Bq/m³. The concentration more than 20 Bq/m³ occurred for the periods of strong winds and intensive buildings works.