

22. Полянский А.И., Кожев А.И., Краснощек В.И. и др. Способ улавливания оксидов азота. Патент РФ № 2077934. — Там же, 1997, № 12, с. 61.
23. Ширяев Ф.З., Карпов В.И., Крупчатников В.М. и др. Охрана окружающей среды на предприятиях атомной промышленности. Под ред. Б.Н. Ласкорина. М.: Энергоиздат, 1982. 200 с.

24. Землянухин В.И., Ильенко Е.И., Кондратьев А.Н. и др. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1989. 280 с.

Поступила в Редакцию 15.12.15

УДК 614.876

ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА

Костерев В.В. (НИЯУ МИФИ, г. Москва),

Цовьянов А.Г., Сивенков А.Г., Брагин Ю.Н. (ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА, г. Москва)

Исходным материалом для анализа служили данные о дозе облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения в 2013 г. Для анализа из 609 были выбраны 143 организации Росатома, 228 учреждений здравоохранения, 28 — Федерального космического агентства, 11 — Объединенной судостроительной корпорации, 8 — РАН. Ведомственная принадлежность остальных организаций в настоящее время отсутствует или не представлена.

Из табл. 1 следует, что в отличие от Федерального медико-биологического агентства (ФМБА) с близкими значениями медианы и среднего дозового распределения аналогичные данные других ведомств отличаются, как правило, более чем в 2 раза. Мода, т.е. наиболее часто встречающаяся доза у персонала Росатома и ФМБЦ, равна нулю. Среднеквадратичное отклонение дозового распределения персонала

Росатома значительно больше, что коррелирует с численностью — 73 861 и 23 008 чел. всех остальных, 95%-ный квантиль также наибольший (6,7 мЗв), что свидетельствует о значимом вкладе в дозу. В 2013 г. имели место по три случая облучения персонала в диапазоне дозы 30—50 — НИФХИ им. Карпова, 2 чел., ЗАО «Уральская монтажно-промышленная компания», Челябинская обл., 1 чел., 20—30 мЗв — ЗАО «Циклотрон», Калужская обл. (табл. 2). Доза облучения основного персонала из 35 597 чел., или 36,75% всего находящегося на контроле составила менее 0,5 мЗв, 19 717 чел. (20,35%) — 0,5—1 мЗв, 28 265 чел. (29,18%) — 1—3 мЗв. Дозу облучения меньше 0,5 мЗв получила большая часть персонала на индивидуальном дозиметрическом контроле — 35 597 чел. Случаи облучения дозой больше 50 мЗв не зарегистрированы. Среди сотрудников предприятий доля мужчин составляет 79,34%, женщин — 20,66%.

Таблица 1. Профессиональное внешнее и внутреннее облучение персонала, сгруппированного по ведомству, с учетом нулевой индивидуальной дозы

Ведомство	Численность контроля, чел.	Число нулевых значений	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО, мЗв	Квантиль, мЗв		Коэффициент вариации, %
							5%	95%	
Росатом	73 861	7392	0	0,83	1,65	2,44	0	6,7	147,49
ФМБА России	3154	97	0	0,8	0,9	0,91	0,05	1,93	100,45
Объединенная судостроительная корпорация	5378	51	0,2	1,1	1,65	1,58	0,2	4,14	95,68
РАН	1715	30	0,13	0,22	0,52	1,22	0,02	1,55	233,64
Роскосмос	683	37	0,2	0,5	0,8	0,72	0	2,03	90,34
Прочие	12 078	1139	0,04	0,58	1,21	2,1	0	4,66	173,31
Всего	96 869	8746	0,1	0,67	1,12	1,5	0,05	3,5	140,15

Таблица 2. Численность находящегося на индивидуальном дозиметрическом контроле персонала, сгруппированного по ведомству, с учетом дозы облучения

Ведомство	Индивидуальная доза облучения, мЗв								
	<0,5	0,5—1	1—3	3—5	5—10	10—15	15—20	20—30	30—50
Росатом	26 614	14 461	21 602	5703	3829	1416	234		2
ФМБА России	819	1256	1015	47	12	2	3		
Объединенная судостроительная корпорация	1062	1248	2148	726	167	23	4		
РАН	1262	269	158	7	5	12	2		
Роскосмос	336	95	246	5	1				
Прочие	5504	2388	3096	544	378	119	45	3	1
Всего	35 597	19 717	28 265	7032	4392	1572	288	3	3

Годовая индивидуальная эффективная доза внешнего и внутреннего облучения персонала АЭС приведена в табл. 3, 4. Анализ показал, что значительное число лиц из персонала АЭС имеет нулевую дозу облучения: на Балаковской — 1372 чел. (65,15%), Ростовской — 907 чел. (49,75%), Калининской — 1094 чел. (43,55%), Белоярской — 519 чел. (33,27%), Кольской — 791 чел. (33,15%). Общее число нулевых значений составляет 23,17%. На остальных АЭС процент нулевой индивидуальной дозы облучения значительно ниже и колеблется от 0 на Билибинской до 13,71% на Нововоронежской АЭС. Поскольку нулевая доза облучения на Балаковской АЭС превышает 50%, медиана распределения равняется нулю. При отбрасывании нулевых значений средняя доза пропорционально увеличивается, одновременно немного возрастает

95%-ный квантиль, но снижается коэффициент вариации. Последний указывает на большую однородность выборки, сформированной без нулевых значений.

В целом представляется, что процедура отбрасывания нулевой дозы облучения — задача не математическая, а концептуальная. Так, если необходимо оценить облучение персонала, то должен быть взят облученный контингент, и отбрасывание нулевой дозы здесь правомочно. Если необходимо иметь характеристику облучения конкретной группы людей, то отбрасывание неправомерно. Тогда возникает вопрос о том, как в персонал группы А или Б попадают люди, в течение нескольких лет не находящиеся в сфере воздействия источников ионизирующего излучения, насколько корректно сформирована данная группа для анализа.

Таблица 3. Профессиональное внешнее и внутреннее облучение персонала АЭС с учетом нулевой индивидуальной дозы

АЭС	Численность персонала на контроле, чел.	Число нулевых значений	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО, мЗв	Квантиль, мЗв		Коэффициент вариации, %
							5%	95%	
Балаковская	2106	1372	0	0	0,3	0,91	0	1,98	304,23
Белоярская	1560	519	0	0,05	0,31	0,73	0	1,59	235,94
Билибинская	796	0	0,3	1,3	2,93	3,61	0,10	10,5	123,11
Калининская	2512	1094	0	0,03	0,41	0,98	0	2,13	240,79
Кольская	2386	791	0	0,11	1,25	2,58	0	7,28	206,89
Курская	3324	64	0	0,89	1,86	2,6	0,15	8,27	140,33
Ленинградская	3958	352	0	0,8	1,81	2,85	0	8,65	157,37
Нововоронежская	2144	294	0	0,21	1,37	2,82	0	8,21	206,04
Ростовская	1823	907	0	0,01	0,12	0,36	0	0,67	297,16
Смоленская	3117	104	0	0,89	2,18	3,42	0,09	11,57	156,65
Всего	23 726	5497	0,03	0,43	1,25	2,09	0,03	6,09	206,85

Таблица 4. Профессиональное внешнее и внутреннее облучение персонала АЭС без учета нулевой индивидуальной дозы

АЭС	Численность персонала на контроле, чел.	Число ненулевых значений	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО, мЗв	Квантиль, мЗв		Коэффициент вариации, %
							5%	95%	
Балаковская	2106	734	0,01	0,23	0,86	1,38	0,01	4,08	160,51
Белоярская	1560	1041	0,01	0,14	0,46	0,85	0,01	2,17	183,93
Билибинская	796	796	0,3	1,3	2,93	3,61	0,1	10,5	123,11
Калининская	2512	1418	0,01	0,26	0,72	1,21	0,01	2,84	168,47
Кольская	2386	1595	0,02	0,48	1,87	2,97	0,02	9,02	159,07
Курская	3324	3260	0,65	0,9	1,89	2,62	0,25	8,36	138,28
Ленинградская	3958	3606	0,1	0,9	1,98	2,92	0,08	8,98	147,22
Нововоронежская	2144	1850	0,01	0,31	1,58	2,97	0,02	8,7	187,78
Ростовская	1823	916	0,01	0,06	0,24	0,47	0,01	1,06	198,53
Смоленская	3117	3013	0,25	0,93	2,26	3,45	0,18	11,89	152,93
Всего	23 726	18 229	0,14	0,55	1,48	2,25	0,07	6,76	161,98

При расчете статистических характеристик распределения индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего и внутреннего облучения персонала с учетом нулевой дозы облучения проверяли соответствие данных нормальному закону распределения случайных величин. Анализ позволяет сделать вывод о несоответствии распределения нормальному закону: в сформированных выборках по предприятиям Росатома как медиана, так и мода значительно отличаются от среднего значения, что свидетельствует о несимметричности распределения.

В табл. 5 АЭС, объединенные по типу реакторов, расположены в порядке возрастания средней дозы облучения персонала — минимальное 0,31 мЗв на Белоярской, максимальное 2,93 мЗв — на Билибинской АЭС.

В 2013 г. наиболее дозозатратными профессиями на АЭС по коллективной дозе являлись (в порядке убывания дозы) слесарь по ремонту реакторно-турбинного оборудования (6458,7 чел.-мЗв), инженер (2220,9 чел.-мЗв), оператор транспортно-технологического оборудования реакторного отделения (1901,2 чел.-мЗв). Наибольшая средняя эффективная доза облучения оператора транспортно-технологического оборудования реакторного отделения составляла 13,8 мЗв, машиниста компрессорных установок РБМК — 10,5 мЗв, дефектоскописта рентгенодиагностики на РБМК — 9,2 мЗв, при этом средняя эффективная доза специалистов данных профессий по всем типам реакторов равна 5,8, 10,5 и 4,2 мЗв соответственно. Наиболее многочисленными специальностями на АЭС

Таблица 5. Профессиональное внешнее и внутреннее облучение персонала АЭС, сгруппированное по типу реактора, с учетом нулевой индивидуальной дозы

Тип реактора (АЭС)	Численность персонала на контроле, чел.	Число нулевых значений	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО, мЗв	Квантиль, мЗв		Коэффициент вариации, %
							5%	95%	
Быстрый (Белоярская)	1560	519	0	0,05	0,31	0,73	0	1,59	235,94
ВВЭР (Балаковская, Кольская, Калининская, Ростовская, Нововоронежская)	10 971	4458	0	0,04	0,71	1,91	0	4,12	269,7
РБМК (Смоленская, Ленинградская, Курская)	10 399	520	0	0,87	1,94	2,96	0	9,18	153,07
ЭГП (Билибинская)	796	0	0,3	1,3	2,93	3,61	0,1	10,5	123,11
Всего	23 726	5497	0,08	0,57	1,47	2,3	0,03	6,35	195,46

Таблица 6. Численность прикомандированного персонала и его вклад в коллективную дозу

Ведомство	Численность персонала на контроле, чел.	Прикомандированный персонал		Коллективная доза персонала, чел.-Зв		Вклад прикомандированного персонала в общую дозу, %
		Число	Доля, %	Всего	Прикомандированного	
Росатом	73 861	3088	4,18	122,17	2,32	1,9
ФМБА России	3154	120	3,8	2,84	0,09	3,06
Объединенная судостроительная корпорация	5378	51	0,95	8,86	0,04	0,4
РАН	1715	92	5,36	0,89	0,05	5,16
Роскосмос	683	11	1,61	0,54	0,01	0,92
Прочие	12 078	274	2,27	14,62	0,34	2,35
Всего	96 869	3636	3,75	149,92	2,85	1,9

в 2013 г. являлись инженеры (2512), слесари по ремонту реакторно-турбинного оборудования (1577) и электрослесари по ремонту и обслуживанию автоматики и средств измерений электростанций (959). Наименее дозозатратные профессии по коллективной дозе (менее 0,01 чел.-мЗв) — слесарь механосборочных работ (быстрые реакторы), электромонтажник по силовым сетям и электрооборудованию (ВВЭР), инженер по АСУП (ВВЭР). Их средняя годовая эффективная доза не превышает 0,002 мЗв, число лиц, имеющих данные профессии, составляет 5, 7 и 18 чел. соответственно.

Доза внутреннего облучения была зарегистрирована у 22 426 чел. из персонала 79 организаций. Максимальная коллективная доза внутреннего облучения работников ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» составила 10,5 чел.-Зв, ПО «Маяк» — 3,9 чел.-Зв, ОАО «Чепецкий механический завод» — 1,9 чел.-Зв, ОАО «Сибирский химический комбинат» — 1,3 чел.-Зв, число лиц из персонала — 5230, 4296, 900, 1923 чел. соответственно. Минимальная коллективная доза внутреннего облучения составила $\leq 10^{-4}$ чел.-Зв в стоматологической клинике ООО «Премьер Дент», ООО «АЛЬФАДЕНТ», ЗАО «Балтстроймонтаж». Доля коллективной дозы внутреннего облучения от суммарной варьируется в диапазоне от 0,46% ЗАО «ЭКОМЕТ-С» до 93,82% ООО «Управление автомобильного транспорта». Средняя индивидуальная доза внутреннего облучения персонала в представленных организациях в 2013 г. варьирует от 0,01 мЗв в ЦНИИКМ «Прометей», ООО «Уралприбор» до 3,9 мЗв в ООО «Энергоремонт».

В табл. 6 приведен вклад прикомандированного персонала, находящегося на индивидуальном дозиметрическом контроле, в общую численность и коллективную дозу. Из всей численности персонала 96 869 прикомандированный персонал составляет 3636 чел. (3,75%). Его вклад в коллективную дозу равен 1,9%.

Сравнение показывает, что профессиональное среднее внешнее и внутреннее облучение персонала, сгруппированного по ведомству, с учетом нулевой индивидуальной дозы облучения в 2012 и 2013 гг. почти не изменилось. Исключение составляет Российская академия наук, где средняя доза уменьшилась вдвое с 1,04 до 0,52 мЗв при снижении численности персонала на контроле с 2691 до 1715 чел. Средняя годовая эффективная доза персонала категорий А и Б и средняя для всего персонала в 2013 г. составила 1,65, 0,17 и 0,93 мЗв соответственно.

Сравнение с 2010 г. показывает, что профессиональное среднее внешнее и внутреннее облучение на АЭС, объединенных по типу реакторов, с учетом нулевой индивидуальной дозы в 2013 г. уменьшилось. Особенно существенное уменьшение отмечено на Белоярской АЭС — с 0,85 до 0,31 мЗв при росте численности персонала, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле, с 1289 до 1560 чел. Аналогичное уменьшение наблюдается и для медианы дозового распределения. Исключение составляют РБМК (Смоленская, Ленинградская, Курская АЭС) — для них характерно увеличение медианного значения с 0,74 до 0,87 мЗв при уменьшении численности персонала, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле, с 14 725 (число нулевой дозы равно 1440) до 10 399 (число нулевой дозы равно 520).