

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.876

ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В 2020 г.

© 2022 г. В. В. Костерев^а, *, А. Г. Цовьянов^б, А. Г. Сивенков^б, В. Е. Журавлева^б

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, 115409 Россия

^бГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, 123098 Россия

*E-mail: vvkosterev@mephi.ru

Поступила в редакцию 21.01.2022 г.

После доработки 31.07.2022 г.

Принята к публикации 02.08.2022 г.

Представлена информация о профессиональном внешнем и внутреннем облучении в 2020 г. персонала организаций, включая АЭС, на территориях, обслуживаемых ФМБА России. Приведено количественное распределение 532 объектов, эксплуатирующих источники ионизирующего излучения, по ведомственной принадлежности и виду деятельности. Доза облучения персонала сгруппирована по ведомственной принадлежности объектов. Рассчитаны параметры дозовых распределений: мода, медиана, среднее, среднее квадратичное отклонение, квантиль и коэффициент вариации. Представлено распределение численности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения или подвергающегося воздействию ионизирующих излучений, по дозовым интервалам учета индивидуальных доз облучения на объектах разной ведомственной принадлежности. Приведено значение коллективной дозы с учетом вклада прикомандированного персонала, а также значение средней индивидуальной дозы для АЭС, объединенных по типу реакторов. Проведен анализ доз облучения в зависимости от профессии. Отмечено большое количество нулевой индивидуальной дозы облучения на АЭС. Сделан вывод об удовлетворительной радиационной обстановке в организациях, обслуживаемых Федеральным медико-биологическим агентством. Проведено сравнение с дозами облучения персонала в 2013 и 2017 гг. и с данными для других стран: Франции, США, Германии, Великобритании и Китая.

Ключевые слова: доза облучения, индивидуальная доза, коллективная доза, параметры дозовых распределений, персонал

DOI: 10.56304/S2079562922030265

ВВЕДЕНИЕ

Единая государственная система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД) создана в целях реализации статьи 18 Федерального закона Российской Федерации от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ “О радиационной безопасности населения”, а также во исполнение Постановления Правительства Российской Федерации от 16 июня 1997 г. № 718 “О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан”. Составной частью ЕСКИД является Федеральный банк данных (ФБД) по индивидуальным дозам облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых ФМБА России.

Основными документами, характеризующими состояние радиационной безопасности организаций и территорий, являются радиационно-гигиенические паспорта организаций и территорий (РГП). Радиационно-гигиеническая паспортизация функционирует во исполнение Постановления Правительства Российской Федерации от

28 января 1997 г. № 93 “О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий”. Одним из основных показателей оценки радиационной безопасности являются индивидуальные и коллективные эффективные дозы облучения.

Исходным материалом для анализа послужили поступившие в ФГБУ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России годовые формы федерального государственного статистического наблюдения, утвержденные постановлениями Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации (Росстата) от 18.11.2005 г. № 84: № 1-ДОЗ “Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений”.

ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИЙ

Приведены данные о дозах облучения персонала в нормальных условиях эксплуатации техно-

генных источников. Они получены на основе анализа и обобщения информации за 2020 г. из радиационно-гигиенических паспортов предприятий и территорий, обслуживаемых ФМБА России. Данные о дозах облучения персонала в 2013 и 2017 гг. приведены в [1, 2] соответственно.

Количественное распределение 532 объектов, эксплуатирующих источники ионизирующего излучения, по ведомственной принадлежности и виду деятельности приведены в табл. 1. Для каждой группы объектов показано распределение составляющего их числа по категории радиационной опасности. В распределении по ведомственной принадлежности выделено 236 объектов медицинского профиля, в большинстве подчиненных ФМБА России, 137 организаций, подведомственных Госкорпорации “Росатом”, 1 – Министерству обороны, 12 – Объединенной судостроительной корпорации (ОСК), 31 – Госкорпорации “Роскосмос”, 7 – РАН и 133 – прочих, которые относятся к другим ведомствам или не имеют ведомственного подчинения.

Доза облучения персонала сгруппирована по ведомственной принадлежности объектов (табл. 2). Средняя эффективная доза персонала группы А за 2020 г. составила 1.42 мЗв, группы Б – 0.09 мЗв. Наибольшая средняя эффективная годовая доза облучения персонала группы А зарегистрирована в Госкорпорации “Росатом” 1.53 мЗв (1.57 мЗв в 2016 г., 1.59 мЗв в 2017 г.), группы Б – в медицинских организациях 0.76 мЗв (0.77 мЗв в 2016 г., 1.01 мЗв в 2017 г.). Суммарная коллективная доза облучения персонала Госкорпорации “Росатом” составила 96.80 чел-Зв (109.18 чел-Зв в 2016 г., 111.02 чел-Зв в 2017 г.), медицинских учреждений – 3.04 чел-Зв (2.9 чел-Зв в 2016 г.).

На предприятиях, отнесенных к категории “прочие”, средняя эффективная годовая доза облучения персонала составила для группы А 1.02 мЗв (1.24 мЗв в 2016 г., 1.23 мЗв в 2017 г.), группы Б – 0.18 мЗв (0.27 мЗв в 2016 г., 0.15 мЗв в 2017 г.). Суммарная коллективная доза облучения персонала предприятий категории “прочие” – 6.92 чел-Зв (9.23 чел-Зв в 2016 г., 8.13 чел-Зв в 2017 г.).

На предприятиях Объединенной судостроительной корпорации средняя эффективная годовая доза облучения для персонала группы А составила 0.98 мЗв (1.28 мЗв в 2016 г., 1.35 мЗв в 2017 г.), группы Б – 0.06 мЗв (0.08 мЗв в 2016 г., 0.05 мЗв в 2017 г.), суммарная коллективная – 7.63 чел-Зв (9.17 чел-Зв в 2016 г., 8.33 чел-Зв в 2017 г.).

В табл. 3 представлено распределение численности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения или подвергающегося воздействию ионизирующего излучения, по дозовым интервалам учета индивидуальной дозы облучения на объектах разной ведомственной принадлежности.

Общая численность персонала составила 156334 человек, что на 2704 меньше, чем в 2017 г., при этом численность персонала категории А составила 78 754 чел., что на 2321 чел. меньше, чем в 2017 г., категории Б – 77580, или на 383 меньше, чем в 2017 г. Доза облучения большей части персонала 124446 чел. включена в диапазон 0–1 мЗв/год, 17213 чел. в 1–2 мЗв/год, 9972 чел. в 2–5 мЗв/год.

Зарегистрирован один случай облучения работника из персонала группы А выше 20, но менее 50 мЗв/год на предприятии Объединенной судостроительной корпорации. Превышения годовой эффективной дозы 50 мЗв в 2020 г. не зафиксировано. Аварий и происшествий при работе с ядерными материалами и радиоактивными веществами, выходящими за рамки локальных, классифицированных по Международной шкале ядерных событий ИНЕС (INES) выше уровня “0” в 2020 г. не было.

Анализ табл. 4 выявил большое количество нулевой индивидуальной дозы облучения на АЭС: 1063 на Балаковской – 66%, 1428 на Белоярской – 56%, 1233 на Ростовской – 42%, 1006 на Калининской – 53%, 1000 на Нововоронежской – 51%. На остальных АЭС процент нулевой индивидуальной дозы облучения ниже и колеблется от 0 на Билибинской до 35% на Кольской АЭС. При числе нулевых значений больше 50%, медиана распределения индивидуальной дозы равняется нулю. Соответственно на Балаковской, Белоярской, Калининской и Нововоронежской АЭС медиана равна нулю. Мода, т.е. наиболее часто встречающаяся доза персонала всех АЭС, кроме Билибинской, также равна нулю. Среднее значение дозы, как правило, превышает медиану больше, чем в 2 раза, причем на Кольской АЭС это превышение максимально и равно 10. Среднеквадратичное отклонение дозового распределения персонала минимально на АЭС “Академик Ломоносов” и равно 0.21, максимально на Билибинской АЭС – 4.33.

При исключении из анализа нулевой дозы средняя доза возрастет пропорционально отброшенному числу доз. Одновременно немного увеличивается 95%-ый квантиль, но снижается коэффициент вариации. Последнее указывает на большую однородность выборки, сформированной без нулевых значений.

При расчете статистических характеристик распределения индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего и внутреннего облучения персонала с учетом нулевой дозы было проверено соответствие данных нормальному закону распределения случайных величин. Анализ позволяет сделать вывод о несоответствии распределения доз нормальному закону: в сформированных выборках как медиана, так и мода значительно отли-

Таблица 1. Распределение объектов, эксплуатирующих источники ионизирующих излучений, по ведомственной принадлежности, виду деятельности и категории опасности

Виды организаций	Число организаций данного вида				
	всего	в том числе по категориям			
		I	II	III	IV
Госкорпорация “Росатом”					
Атомные электростанции	11	10	1		
Геологоразведочные и добывающие	4			3	1
Медучреждения	1				1
Научные и учебные	20	4		7	9
Промышленные	44	5	1	7	31
Пункты захоронения РАО	23	2	3	17	1
Прочие особо радиационноопасные	13	1	1	9	2
Прочие	21		1	2	18
ВСЕГО	137	22	7	45	63
Медицинские					
Медучреждения	236	1			235
Научные и учебные	4			1	3
Промышленные	1				1
Прочие	3				3
ВСЕГО	244	1		1	242
РАН					
Научные и учебные	6			1	5
Промышленные	1				1
ВСЕГО	7			1	6
ОСК					
Промышленные	12	5		4	3
ВСЕГО	12	5		4	3
Роскосмос					
Научные и учебные	5				5
Промышленные	15			2	13
Прочие	1				1
ВСЕГО	21			2	19
Прочие					
Геологоразведочные и добывающие	1				1
Медучреждения	3				3
Научные и учебные	22	1	3	3	15
Промышленные	53	1		4	48
Таможенные	1				1
Прочие особо радиационноопасные	2			2	
Прочие	29				29
ВСЕГО	111	2	3	9	97
ИТОГО	532	30	10	62	430

Таблица 2. Эффективные годовые дозы облучения персонала организаций разной ведомственной принадлежности на территории, обслуживаемой ФМБА России

Ведомственная принадлежность	Эффективные годовые дозы персонала					
	Средняя, мЗв			Коллективная, чел-Зв		
	А	Б	всего	А	Б	всего
Госкорпорация “Росатом”	1.53	0.14	1.10	96.80	3.87	100.68
Медицинские	0.93	0.76	0.90	2.55	0.41	2.96
РАН	0.58	0.03	0.52	0.16	0.00	0.16
ОСК	0.98	0.06	0.15	5.07	2.55	7.63
Роскосмос	0.86	0.37	0.74	0.39	0.05	0.44
прочие	1.02	0.18	0.77	6.46	0.46	6.92
ВСЕГО	1.42	0.09	0.76	111.43	7.35	118.78

Таблица 3. Распределение персонала с учетом индивидуальной дозы облучения

Группа персонала	Численность, чел.	Численность персонала (чел.), имеющего индивидуальную дозу в диапазоне, мЗв/год						
		0—1	1—2	2—5	5—12.5	12.5—20	20—50	>50
Госкорпорация “Росатом”								
Группа А	63337	36452	13516	9062	3664	643	0	0
Группа Б	28400	27872	483	45	0	0	0	0
ВСЕГО	91737	64324	13999	9107	3664	643	0	0
Медицинские								
Группа А	2781	1831	812	104	29	5	0	0
Группа Б	554	396	151	7	0	0	0	0
ВСЕГО	3335	2227	963	111	29	5	0	0
РАН								
Группа А	271	246	20	5	0	0	0	0
Группа Б	37	37	0	0	0	0	0	0
ВСЕГО	308	283	20	5	0	0	0	0
ОСК								
Группа А	5153	3651	1124	248	112	17	1	0
Группа Б	45811	45811	0	0	0	0	0	0
ВСЕГО	50964	49462	1124	248	112	17	1	0
Роскосмос								
Группа А	452	278	168	2	4	0	0	0
Группа Б	138	136	2	0	0	0	0	0
ВСЕГО	590	414	170	2	4	0	0	0
Прочие								
Группа А	6760	5118	916	498	192	36	0	0
Группа Б	2640	2618	21	1	0	0	0	0
ВСЕГО	9400	7736	937	499	192	36	0	0
Все организации								
Группа А	78754	47576	16566	9919	4001	701	1	
Группа Б	77580	76870	657	53	0	0	0	
Итого	156334	124446	17213	9972	4001	701	1	

Таблица 4. Внешнее и внутреннее облучение персонала АЭС

АЭС	Численность персонала, чел.	Число нулевых значений доз	Среднее, мЗв	Стандартное отклонение, мЗв	Медиана, мЗв	Мода, мЗв	Квантиль, мЗв		Коэффициент вариации, %
							5%	95%	
С учетом нулевой индивидуальной дозы									
Балаковская	1609	1063	0.38	1.11	0	0	0	2.2	296.81
Белоярская	2549	1428	0.52	1.5	0	0	0	3.73	287.74
Билибинская	682	0	3.71	4.33	1.55	0.1	0.01	13.8	116.72
Калининская	1884	1006	0.63	1.79	0	0	0	3.55	283.92
Кольская	1999	697	1	2.07	0.1	0	0	5.79	206.49
Курская	3049	127	1.5	2.39	0.63	0	0.03	6.71	159.14
Ленинградская	3555	580	1.98	3.03	0.89	0	0	9.08	152.59
Нововоронежская	1975	1000	0.6	1.64	0	0	0	3.1	275.87
“Академик Ломоносов”	255	52	0.24	0.21	0.17	0	0	0.63	88.33
Ростовская	2930	1233	0.31	0.81	0.07	0	0	1.62	261.57
Смоленская	2575	52	1.75	1.89	1.11	0	0.22	5.82	108.17
Всего	23062	7238	1.15	1.89	0.41	0.01	0.02	5.09	203.4
Без учета нулевой индивидуальной дозы									
Балаковская	546	—	1.11	1.69	0.4	0.1	0.1	5.4	152.68
Белоярская	1121	—	1.18	2.08	0.24	0.02	0.01	5.55	175.56
Билибинская	682	—	3.71	4.33	1.55	0.1	0.01	13.8	116.72
Калининская	878	—	1.35	2.43	0.37	0.05	0.03	6.59	179.57
Кольская	1302	—	1.54	2.4	0.41	0.02	0.02	7	155.85
Курская	2922	—	1.57	2.42	0.66	0.44	0.13	6.89	154.45
Ленинградская	2975	—	2.37	3.17	1.16	0.06	0.09	10.41	133.62
Нововоронежская	975	—	1.21	2.17	0.4	0.1	0.1	5.4	180.34
“Академик Ломоносов”	203	—	0.3	0.19	0.28	0.1	0.06	0.65	64.56
Ростовская	1697	—	0.53	1.01	0.14	0.07	0.06	2.75	188.22
Смоленская	2523	—	1.79	1.9	1.14	0.53	0.31	5.9	106.13
Всего	15824	—	1.51	2.16	0.61	0.14	0.08	6.39	146.15

чаются от среднего значения, что свидетельствует о существенной несимметричности распределения.

Наибольшая коллективная доза 7.06 чел-Зв зарегистрирована на Ленинградской АЭС, наименьшая 0.06 чел-Зв на ПАТЭС Академик Ломоносов (табл. 5). Вклад прикомандированного персонала 3606 чел., находящегося на индивидуальном дозиметрическом контроле, в общую численность персонала АЭС 23 062 чел. составил 16%; а вклад в общую коллективную дозу 25.93 чел-Зв составил 2.42 чел-Зв (9.3%).

В табл. 6 АЭС, объединенные по типу реакторов, расположены в порядке возрастания средней дозы облучения персонала — минимальное 0.24 мЗв на ПАТЭС “Академик Ломоносов”, максимальное 3.71 мЗв на Билибинской АЭС. Медианные значения и тем более моды дозового распределения, как правило, существенно ниже.

В 2020 г. наибольшие средние дозы персонала группы А для 25 наиболее распространенных профессий и должностей наблюдались у дефектоскопистов рентгено-, гамма-графирования — 3.23 мЗв и слесарей по ремонту реакторно-турбинного оборудования — 2.94 мЗв (табл. 7). Для остальных специальностей из списка характерны средние дозы в 2–4 раза меньше. Максимальные дозы зарегистрированы у дефектоскопистов рентгено-, гаммаграфирования — 26.38 мЗв и слесарей по контрольно-измерительным приборам и автоматике — 19.76 мЗв. Близкие к последнему значению максимальные дозы зарегистрированы у слесарей-ремонтников, инженеров-технологов, электро-газосварщиков, рентген лаборантов и специалистов.

Сравнение с 2017 г. показывает, что среднее профессиональное внешнее и внутреннее облучение на АЭС, объединенных по типу реакторов,

Таблица 5. Численность и коллективная доза персонала АЭС

АЭС	Численность персонала, чел.	Численность прикомандированного персонала, чел	Общая коллективная доза, чел-Зв	Коллективная доза прикомандированного персонала, чел-Зв
Балаковская	1609	7	0.59	0
Белоярская	2549	967	1.32	0.19
Билибинская	682	226	2.53	0.83
Калининская	1884	149	1.18	0.03
Кольская	1999	850	2.01	0.87
Курская	3049	7	4.58	0.02
Ленинградская	3555	0	7.06	0
Нововоронежская	1975	8	1.18	0.01
ПАТЭС	255	58	0.06	0.01
Ростовская	2930	1310	0.91	0.41
Смоленская	2575	24	4.51	0.04
Всего	23062	3606	25.93	2.42

Таблица 6. Внешнее и внутреннее облучение персонала АЭС по типу реакторов с учетом нулевой индивидуальной дозы

Тип реактора	Численность персонала, чел.	Число нулевых значений дозы	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	Стандартное отклонение, мЗв	Квантиль, мЗв		Коэффициент вариации, %
							5%	95%	
КЛТ (ПАТЭС “Академик Ломоносов”)	255	52		0.17	0.24	0.21		0.63	88.33
БН (Белоярская АЭС)	2549	1428	0	0	0.52	1.5	0	3.73	287.74
ВВЭР (Балаковская. Калининская. Кольская. Нововоронежская. Ростовская АЭС)	10397	4999	0	0.04	0.57	1.53	0	3.3	271.38
РБМК (Смоленская. Ленинградская. Курская АЭС)	9179	759	0	0.85	1.76	2.55	0	7.16	144.93
ЭГП (Билибинская АЭС)	682	0	0.1	1.55	3.71	4.33	0.01	13.8	116.72
Всего	23062	7238	0.02	0.52	1.36	2.02	0.01	5.72	181.82

с учетом нулевой индивидуальной дозы в 2020 г. уменьшилось с 1.75 до 1.36 мЗв. Особенно заметное уменьшение отмечено на АЭС с РБМК — с 2.11 до 1.76 мЗв при росте численности персонала, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле, с 8629 до 9179 чел. Аналогичное уменьшение наблюдается и для медианы дозового распределения с 0.98 до 0.75 мЗв. Исключение составляет Белоярская АЭС — для нее характерно увеличение среднего значения с 0.44 до 0.52 мЗв при уменьшении численности персонала, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле, с 3008 (число значений нулевой дозы равно 1736) до 2549 (число значений нулевой дозы равно 1428). На АЭС с ВВЭР среднее значение дозы

практически не изменилось — с 0.58 до 0.57 мЗв при уменьшении численности персонала с 11 711 чел. до 10 397 чел. Для Билибинской АЭС аналогичное уменьшение: с 3.86 мЗв (694 чел.) до 3.71 мЗв (682 чел.).

В результате можно сделать вывод об удовлетворительной радиационной обстановке в организациях, обслуживаемых Федеральным медико-биологическим агентством.

При проведении сравнения полученных результатов для РФ с данными для других стран необходимо учитывать различные факторы: в каждой стране действует своя структура учета и систематизации доз и, как правило, неизвестна методика обработки данных. Даже в пределах од-

Таблица 7. Средние индивидуальные годовые дозы облучения персонала группы А для 25 наиболее распространенных профессий и должностей в 2020 г

Профессия/должность	Количество, чел.	Средняя доза, мЗв/год	Макс. доза, мЗв/год
Инженер	7721	0.72	18.35
Слесарь по ремонту реакторно-турбинного оборудования	3978	2.94	15.41
Слесарь-ремонтник	2572	1.97	19.44
Дезактиваторщик	2232	1.18	16.10
Инженер-технолог	2036	1.18	19.36
Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования	1900	1.11	12.62
Дозиметрист	1559	1.75	16.08
Электрослесарь по ремонту и обслуживанию автоматики и средств измерений электростанций	1424	0.90	13.49
Слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике	1308	1.61	19.76
Мастер	1261	1.46	14.80
Уборщик производственных и служебных помещений	1228	0.86	8.93
Дефектоскопист рентгено-гаммаграфирования	1113	3.23	26.38
Научный сотрудник (в области физики и астрономии)	1088	0.54	9.01
Инженер-исследователь	1084	0.70	17.51
Оператор реакторного отделения	995	1.69	14.80
Электрогазосварщик	989	1.66	19.39
Водитель автомобиля	976	0.83	12.87
Слесарь-монтажник судовой	972	0.76	7.64
Рентгенолаборант	967	0.87	19.15
Электрослесарь по обслуживанию автоматики и средств измерений электростанций	931	0.65	8.70
Лаборант химического анализа	916	0.80	8.58
Начальник смены (в промышленности)	827	0.87	10.90
Специалист	790	0.57	19.22
Маляр	768	0.68	8.05
Врач-специалист	762	0.80	15.85

ной страны результаты одного года не всегда напрямую сопоставимы с результатами других лет. Тем не менее некоторые сравнения провести можно. Например, наибольшие средние дозы персонала АЭС Франции [3] регистрируются у тех, кто отвечает за установку и демонтаж теплоизоляции (2.6–3.2 мЗв) и сварщиков (1.7–2.1 мЗв). Изменения соответствуют данным, полученным в 2013–2016 гг. Видно, что наибольшие средние дозы персонала АЭС Франции близки к аналогичным значениям для Российской Федерации.

В 2020 г. анализ доз за 2019 г. во Франции осуществлялся с использованием новой методологии [4]. В этой связи средняя индивидуальная доза групп А и Б приведена только суммарно для всей контролируемой когорты, включая медицинское облучение – 1.20 и 0.85 мЗв для 395040 и 369712 работников, соответственно. Что касается профессионального облучения работников гражд-

данской сферы атомной отрасли, констатируется только, что превышения 20 мЗв/год для 77374 работников не было (четыре случая было зарегистрировано в области медицинского применения ионизирующего излучения и один в частных надзорных организациях). В 2019 г. коллективная доза работников группы А всей контролируемой когорты достигла 112.31 чел-Зв, значение, которое увеличилось почти на 8% по сравнению с 2018 г., в то время как средняя индивидуальная доза увеличилась на 7%. Это увеличение в первую очередь связано с увеличением объема работ по техническому обслуживанию в ядерном секторе и увеличением доз, получаемых летными экипажами.

Для организаций министерства энергетики США средняя индивидуальная доза снизилась на 20 процентов с 0.74 мЗв в 2015 г. до 0.59 мЗв в 2016 г. [5]. Причем, девяносто девять процентов всех обследованных лиц имели дозы менее 2.5 мЗв. Ни

один человек не превысил нормативный лимит 20 мЗв за период с 2012 по 2016 гг.

В качестве примера различной ситуации на разных АЭС Германии в 2009 г. среднегодовая индивидуальная эффективная доза для контролируемого персонала варьировалась от 0.46 до 1.78 мЗв [6]. Доля персонала с дозами больше 1 мЗв показывает общую тенденцию к снижению. В случае реакторов Konvoi только несколько процентов доз превышает значение 1 мЗв. Сравнение данных немецких АЭС при выводе их из эксплуатации с данными эксплуатационной фазы показывает, что, как правило, средние годовые эффективные дозы контролируемого персонала составляют от 10 до 20% эксплуатационной дозы, но это соотношение зависит от конкретной АЭС.

Средние профессиональные дозы в Соединенном Королевстве [7] уменьшались во второй половине 20-го века. Например, сообщалось о среднегодовых дозах 4 мЗв или более в период 1955–1974 гг. по сравнению с 1.6 мЗв в 1985–1989 гг. и 0.9 мЗв в 1990–1994 гг. По оценкам, средняя годовая доза составила 1.4 мЗв среди работников с годовой зарегистрированной дозой не менее 0.1 мЗв в течение 1986–2005 гг.

Что касается профессионального облучения в Китае [8], отмечается, что уровень охвата индивидуальным мониторингом (для всех когорт) постепенно увеличивался и в 2013 г. достиг более 80 процентов, с некоторой разницей по отраслям и районам. Средняя доза облучения работников снизилась с 2 мЗв в 1980-х гг. до 1 мЗв в 1990-х гг., а затем снижалась до 0.5 мЗв в г. в 2010-х гг., что в основном связано с техническими усовершенствованиями оборудования прежде всего для медицинского использования ионизирующего излучения.

В публикации [9] приводится оценка динамики средних годовых доз для действующих коммерческих реакторов: от 3.1 мЗв в 1993 г. с ростом до 0.32 мЗв в 1994 и 1995 гг. с дальнейшим уменьшением до 2.4 мЗв в 2002 г.

Таким образом, общей мировой тенденцией является снижение индивидуальных доз облучения, при том, что конкретные значения доз не сильно различаются в разных странах в более-менее схожих условиях облучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ приведенных данных позволяет констатировать удовлетворительную, в целом, радиационную обстановку в 2020 г. на территориях, обслуживаемых ФМБА России. Ни в одном из контролируемых регионов не наблюдалось превышения предельно допустимых уровней радиоактивного загрязнения воздуха и воды открытых водоёмов в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

Дозы облучения персонала, по большей части существенно ниже предельно допустимых, причем превышения этих доз не зафиксировано.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Kosterev V.V., Tsov'yanov A.G., Sivenkov A.G., Bragin Yu.N. // *At. Energy*. 2016. V. 120 (2). P. 148.
2. Kosterev V.V., Tsov'yanov A.G., Sivenkov A.G., Zhuravleva V.E. // *At. Energy*. 2020. V. 127 (6). P. 382.
3. ASN Report on the State of Nuclear Safety and Radiation Protection in France in 2016. 2016. Montrouge. France.
4. ASN Report on the State of Nuclear Safety and Radiation Protection in France in 2020. 2020. Montrouge. France.
5. DOE 2016 Occupational Radiation Exposure. 2017. Oak Ridge.
6. Strub E., Schmidt C., Kaulard J. Occupational Radiation Exposure of Workers in German NPPs. 2010.
7. Muirhead C.R., Haylock R. // *Brit. J. Cancer*. 2012. V. 107. P. 1660.
8. Occupational Exposure in China. <https://www.researchgate.net/publication/306002907>.
9. Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactors and other Facilities. Annual Report NUREG-0713. 2003. Nuclear Regulatory Commission. V. 24.

Personnel Radiation Dose in 2020

V. V. Kosterev¹ *, A. G. Tsovyanov², A. G. Sivenkov², and V. E. Zhuravleva²

¹ National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

² Burnasyan Federal Medical Biophysical Centre of Federal Medical Biological Agency of Russia (FMBA), Moscow, 123098 Russia

*e-mail: vykosterev@mephi.ru

Received July 21, 2022; revised July 31, 2022; accepted August 2, 2022

Abstract—Information is provided on professional external and internal irradiation in 2020 of personnel of organizations, including nuclear power plants, in the territories serviced by the FMBA of Russia. The quantitative distribution of 532 objects operating ionizing radiation sources by departmental affiliation and type of activity is given. The radiation dose of the personnel is grouped according to the departmental affiliation of

the objects. The parameters of dose distributions are calculated: mode, median, mean, mean square deviation, quantile and coefficient of variation. The distribution of the number of personnel working with ionizing radiation sources is presented according to the dose intervals for taking into account individual radiation doses at facilities of different departmental affiliation. The value of the collective dose is given, taking into account the contribution of seconded personnel, as well as the value of the average individual dose for nuclear power plants united by reactor type. The analysis of radiation doses depending on the profession was carried out. A large number of zero individual radiation doses at nuclear power plants were noted. The conclusion is made about the satisfactory radiation situation in organizations serviced by the Federal Biomedical Agency. A comparison was made with the radiation doses of personnel in 2013 and 2017 and with data for other countries: France, USA, Germany, Great Britain and China.

Keywords: radiation dose, individual dose, collective dose, parameters of dose distributions, personnel