

ТЯЖЕЛАЯ ЗАПРОЕКТНАЯ АВАРИЯ РУ ЭГП-6 БИЛИБИНСКОЙ АЭС. АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

Р.И. Мухамадеев, Ю.Д. Баранаев, А.П. Суворов

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского»

249033, г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1

Р

Дается описание аттестованной расчетной программы ВЫБРОС-3.1, позволяющей оценить последствия радиационных аварий для персонала и населения, находящегося в районе размещения АЭС. Рассматриваются используемые для расчетного анализа метеорологические данные и данные о размещении населения вблизи Билибинской АЭС (БиАЭС). Приводятся данные об источнике выброса, сформированные на основании двух подходов к протеканию тяжелой запроектной аварии – консервативного и наиболее вероятного. С использованием программы ВЫБРОС-3.1 выполнен анализ радиационных последствий тяжелой запроектной аварии реактора ЭГП-6 БиАЭС, связанной с вводом положительной реактивности вследствие самохода двух пар стержней автоматического регулирования (АР) с наложением полного отказа срабатывания системы аварийной защиты. Развивающаяся по такому сценарию авария приводит к наибольшим возможным масштабам повреждения топлива и локализуемых барьеров безопасности и является предельной с точки зрения радиационного воздействия на население. Предложены и обоснованы технические и организационные защитные меры, позволяющие уменьшить эти последствия в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Показано, что даже при консервативном подходе к оценке выброса не потребуются введения срочных защитных мер в виде эвакуации населения.

Ключевые слова: тяжелая запроектная авария, выброс, последствия радиационной аварии, критерии принятия решения, защитные мероприятия.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ВЫБРОС-3.1

Для оценки радиационных последствий аварии использовалась программа ВЫБРОС-3.1. Программное средство (ПС) ВЫБРОС-3.1 [1, 2] предназначено для проведения расчетного анализа последствий радиоактивных выбросов, возникающих как при нормальной работе, так и в условиях радиационных аварий на АЭС. В ПС реализованы методические подходы из действующих нормативных документов, регламентирующих оценку последствий радиоактивных выбросов в атмосферу [3 – 7] с учетом дополнительных данных и подходов из источников [8 – 12]. ПС ВЫБРОС-3.1 аттестовано в Ростехнадзоре [13] в 2016 г. В качестве внешних исходных данных при оценке радиационных последствий выбросов в программе используются радиационные, тепловые и временные характеристики источника выброса, данные о рай-

© Р.И. Мухамадеев, Ю.Д. Баранаев, А.П. Суворов, 2018

оне размещения (метеорологические характеристики, орография, распределение населения и др.). Расчетный алгоритм программы основан на моделях, описывающих транспорт и дисперсию радионуклидов в атмосфере, моделях расчета индивидуальных доз населения при кратковременных и продолжительных выбросах. Структурная схема программного средства представлена на рис. 1.

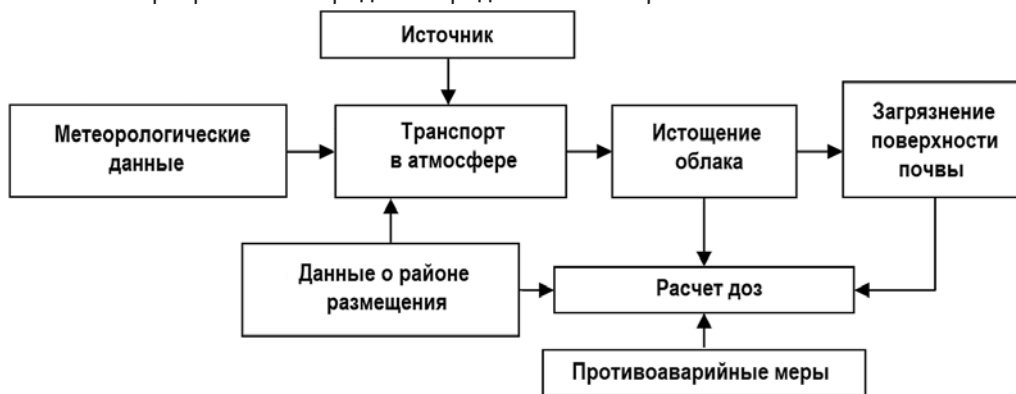


Рис. 1. Структурная схема ПС ВИБРОС-3.1

Данные о площадке размещения источника выброса описываются в модели квадратной сетки разбиения площади с постоянным заданным шагом. Файл данных о районе размещения содержит значения плотности населения, шероховатости подстилающей поверхности, высоты над уровнем моря, а также факторов защиты от внешнего и внутреннего облучения при укрытии в помещениях. Эти величины задаются для каждой ячейки квадратной сетки. В процессе расчета программа преобразует эти данные в формат полярных координат с центром в заданном месте нахождения источника выброса.

Библиотека радиационных характеристик радионуклидов содержит информацию для 99-ти наиболее важных радионуклидов – продуктов деления, активации и актиноидов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ БиАЭС

Метеорологические характеристики района размещения БиАЭС были получены на основании анализа наблюдений погодных условий метеостанцией Билибино [14]. Преобладают ветры восточного и западного направлений. В течение всего года часто отмечается штиль или слабый ветер, при этом ветровой режим отличается большей устойчивостью. При выполнении расчетов это учитывалось введением для категорий А и G дополнительно скорости ветра, равной 0.5 м/с [3]. Учитывались отмеченные в [15] приземные инверсии (70 и 150 м), вид и размеры осадков.

Таблица 1
Перечень сочетаний погодных условий для района размещения БиАЭС

Категория устойчивости	Набор рассматриваемых скоростей ветра, м/с
A	0.5; 1; 2
B	1; 2; 3
C	1; 2; 3; 4; 5; 6
D	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10
E	3; 4; 6
F	1; 2; 3
G	0.5; 1; 2

В районе размещения находятся территория АЭС и четыре населенных пункта: г. Билибино (около 15 тыс. чел.), пос. Кепервеем (1050 чел.), пос. Безымянный (100 чел.) и пос. Каральвеем (100 чел.). Город Билибино расположен в 2 км к западу от территории АЭС. Поселки Безымянный и Каральвеем расположены к северо-западу от территории АЭС, Кепервеем – северо-восточнее АЭС.

Значения параметра шероховатости подстилающей поверхности принимались в соответствии с [15] и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметров шероховатости

Тип подстилающей поверхности	Шероховатость
Поселок сельского типа	0.4
Поселок городского типа	1.0
Безлесная местность	0.1
Лесистая местность	0.4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСА ПРИ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ

Анализ запроектной аварии проводился в соответствии с [16,17]. Подробно феноменология аварии и формирование источника выброса описаны в [18]. На первом этапе запроектной аварии в течение 30-ти секунд с момента начала самопроизвольного движения стержней АР вверх в условиях несрабатывания АЗ происходит внесение положительной реактивности, что приводит к росту нейтронной мощности до ~ 450% и давления в ОЦК до ~10,0 МПа. С 30-й по 65-ю секунды аварии происходят множественные разрывы оболочек твэлов, сопровождаемые истечением теплоносителя в графитовую кладку реактора. Полное осушение основного циркуляционного контура (ОЦК) происходит к 100-й секунде аварии. Дальнейшее протекание аварии сопровождается медленным разогревом и последующим остыванием ТВС и графитовой кладки.

Оценки размера и динамики повреждений ТВС также были сделаны в [18]. Была получена следующая динамика развития повреждений ТВС.

– Стадия I: к 35-й секунде происходит разрушение оболочек твэлов в 16-ти ТВС максимальной мощности.

– Стадия II: к 100-й секунде происходит разрушение оболочек твэлов в 110-ти ТВС средней мощности. Радиоактивные продукты деления (РПД) выносятся истекающим теплоносителем через графитовую кладку реактора в реакторное пространство (РП).

– Стадия III: в интервале времени 100 – 4000 секунд с ростом температуры твэлов зона их разрушения увеличивается, что сопровождается дополнительным, в том числе диффузионным, выходом РПД из крупки топлива. Однако транспортная среда для интенсивного выноса РПД из РП на этом этапе отсутствует.

На разных стадиях выброс происходит по-разному: на I и II стадиях вследствие скоротечных процессов имеет место выброс в вентиляционную трубу и в окна ЦЗ; на III стадии для обеспечения всего спектра возможных вариантов рассматривались два предельных варианта выброса.

1. Выброс в вентиляционную трубу высотой 50 м (и скоростью на оголовке 1.5 м/с). Этот вариант является наиболее вероятным, поскольку расход системы вентиляции надреакторного пространства (12000 м³/ч) позволит собрать все конвективные токи воздуха. Эффективность фильтров (с учетом частичного их намочения из-за прохода влажного пара на стадиях I – II) принималась равной 0.9 для

нуклидов цезия и йода.

2. Выброс в окна ЦЗ реализуется в случае потери (отключения) системы вентиляции надреакторного пространства. Для обеспечения наибольшей консервативности оценки намеренно не учитывалось осаждение активности в процессе ее транспорта конвективными токами воздуха на поверхностях оборудования надреакторного пространства и ЦЗ.

Необходимые для расчета характеристики источника выброса для разных рассматриваемых этапов развития аварии определены в [18] и представлены в табл. 3. Для нуклидов йода принималось, что 50% активности выброса находится в форме аэрозолей и 50% – в виде элементарного йода.

Таблица 3

Нуклидный состав и активность выброса (Бк) при разных способах реализации для стадий рассматриваемой аварии

Нуклид	Стадия аварии			
	I, II		III	
	В окна ЦЗ	В трубу	В окна ЦЗ	В трубу
⁸⁵ Kr	1.62E10	2.04E12	8.5E12	8.5E12
^{85m} Kr	3.90E11	5.01E12	1.7E13	1.7E13
⁸⁷ Kr	7.80E11	1.02E13	2.4E13	2.4E13
⁸⁸ Kr	1.11E12	1.39E13	1.3E13	1.3E13
⁸⁹ Kr	1.02E12	1.30E13	4.6E3	4.6E3
¹³¹ I	2.37E10	2.96E10	2.2E11	2.2E10
¹³² I	3.60E10	4.44E10	1.2E12	1.2E11
¹³³ I	5.40E10	6.86E10	4.6E13	4.6E12
¹³⁴ I	6.00E10	7.70E10	2.7E9	2.7E8
¹³⁵ I	5.10E10	6.39E10	2.0E13	2.0E12
^{131m} Xe	1.05E10	1.30E11	7.8E11	7.8E11
¹³³ Xe	2.16E12	2.68E13	1.3E12	1.3E12
^{133m} Xe	6.30E10	8.07E11	1.4E12	1.4E12
¹³⁵ Xe	9.90E11	1.30E13	7.6E12	7.6E12
^{135m} Xe	3.64E11	4.64E12	2.4E9	2.4E9
¹³⁷ Xe	1.46E12	1.85E13	9.7E9	9.7E9
¹³⁴ Cs	3.96E8	2.30E8	1.1E12	1.1E11
¹³⁶ Cs	6.00E7	7.70E7	2.1E13	2.1E12
¹³⁷ Cs	3.30E8	3.97E8	5.5E11	5.5E10
¹³⁸ Cs	4.80E9	6.02E9	–	–

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

При оценке последствий выброса консервативно принималось, что на протяжении всего времени формирования аварийного выброса направление ветра не изменяется и соответствует направлению на наиболее крупный населенный пункт – город Билибино. В расчетах варьировались все типы погодных условий и осадков, характерные для района размещения БиАЭС, и учитывалась топография площадки в направлении движения облака выброса.

В процессе анализа последствий было выявлено, что наихудшие условия достигаются в летний период, поскольку для зимы сказывается тепловой подъем облака и его рассеяние в атмосфере. Поскольку роль пищевых продуктов местного произ-

водства в пищевом рационе населения незначительна и эти продукты могут быть легко исключены из употребления при аварии с выбросом, пероральный путь облучения не учитывался.

Таблица 4

Максимально возможные эффективные дозы облучения человека, находящегося на открытой местности 10 суток, от выбросов I – III стадий при выбросе в окна ЦЗ на III стадии аварии, мЗв (1 – взрослые, 2 – дети в возрасте 1 – 2 года)

X, м	Эффективная доза внешнего облучения		Эффективная доза внутреннего облучения		Суммарная эффективная доза	
	1	2	1	2	1	2
100	14	19	4.5	9.8	18	29
300	12	17	4.8	11	21	37
500	34	48	27	64	62	110
750	58	80	39	90	96	170
1000	53	74	14	32	65	98
1500	65	91	10	20	76	110
2000	39	54	6.0	11	45	65
3000	19	26	3.0	5.6	22	32
5000	29	40	4.1	7.0	33	47
7000	8.9	12	1.3	2.4	10	15
10000	0.68	0.95	0.12	0.23	0.8	1.2
15000	0.34	0.47	0.06	0.12	0.4	0.59

Таблица 5

Максимально возможные эффективные дозы облучения человека, находящегося на открытой местности 10 суток, от выбросов I – III стадий при выбросе в вентиляционную трубу на III стадии аварии, мЗв (1 – взрослые, 2 – дети в возрасте 1 – 2 года)

X, м	Эффективная доза внешнего облучения		Эффективная доза внутреннего облучения		Суммарная эффективная доза	
	1	2	1	2	1	2
100	0.34	0.46	0.04	0.08	0.35	0.49
300	0.78	1.10	0.24	0.52	1.00	1.60
500	0.72	0.99	0.28	0.59	1.00	1.60
750	0.88	1.20	0.38	0.82	1.30	2.00
1000	0.93	1.30	0.33	0.72	1.30	2.00
1500	0.94	1.30	0.33	0.73	1.30	2.20
2000	1.30	1.80	0.79	1.80	2.10	3.60
3000	1.50	2.10	0.51	1.10	2.00	3.20
5000	0.15	0.20	0.15	0.35	0.29	0.55
7000	0.16	0.22	0.11	0.25	0.27	0.47
10000	0.21	0.29	0.03	0.05	0.24	0.33
15000	0.08	0.11	0.01	0.02	0.09	0.13

Расчетные оценки огибающих – пространственного набора максимально возможных (с учетом перебора сочетаний категория устойчивости - скорость ветра - осадки) для каждого расстояния значений индивидуальных эффективных доз для разных путей облучения представителя критической группы (взрослого и ребенка в возрасте 1 – 2 года), находящегося на открытой местности в течение 10-ти дней после

аварии, приведены в табл. 4, 5. В таблицах 6, 7 приведены эквивалентные дозы на критические органы представителей рассмотренных критических групп населения. В таблице 8 приведены критерии принятия решения для проведения мероприятий по защите населения по предотвращаемой дозе облучения за первые 10 суток.

На основании анализа табл. 4 – 7 и их сравнения с табл. 8 можно сделать несколько существенных замечаний и рекомендаций, важных для обеспечения безопасности населения.

Таблица 6

Максимально возможные эквивалентные дозы облучения критических органов групп населения, находящихся на открытой местности, от выбросов I – III стадий при выбросе в окна ЦЗ на III стадии аварии, мЗв
(1 – щитовидная железа, 2 – красный костный мозг, 3 – легкие)

X, м	Дети в возрасте 1 – 2 года			Взрослые		
	1	2	3	1	2	3
2000	160.00	1.60	1.79	57.70	2.63	2.63
3000	87.00	0.75	0.86	31.00	1.24	1.25
5000	100.00	1.20	1.34	35.80	2.00	1.98

Таблица 7

Максимально возможные эквивалентные дозы облучения критических органов групп населения, находящихся на открытой местности, от выбросов I – III стадий при выбросе в вентиляционную трубу на III стадии аварии, мЗв
(1 – щитовидная железа, 2 – красный костный мозг, 3 – легкие)

X, м	Дети в возрасте 1 – 2 года			Взрослые		
	1	2	3	1	2	3
2000	34.4	3.9E-2	1.3E-1	13.8	5.5E-2	1.8E-1
3000	20.7	5.0E-2	9.7E-2	8.1	7.8E-2	1.4E-1
5000	6.8	2.3E-3	1.8E-2	2.8	2.3E-3	2.5E-1

Таблица 8

Критерии принятия решения для проведения мероприятий по защите населения. Предотвращаемая доза облучения за первые 10 суток, мГр [19]

Меры защиты	На все тело		Щитовидная железа, легкие, кожа	
	Уровень А	Уровень Б	Уровень А	Уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика				
Взрослые	–	–	250	2500
Дети	–	–	100	1000
Эвакуация	50	500	500	5000

1. Критическим для уменьшения доз как персонала, так и населения при рассматриваемой запроектной аварии является обеспечение работы системы вентиляции надреакторного пространства. Это позволяет уменьшить дозы облучения персонала, находящегося на территории АЭС и санитарно-защитной зоны (СЗЗ), и населения в 15 – 20 раз. Более того, в этом случае даже не будет достигнут дозовый предел 5 мЗв для критической группы населения – дети в возрасте от одного года до двух лет, на основании которого ситуация, квалифицируемая как радиационная авария, останется инцидентом.

Таблица 9

Максимально возможные эффективные дозы облучения человека, находящегося на открытой местности один год, от выбросов I – III стадий при выбросе в окна ЦЗ на III стадии аварии, мЗв (1 – взрослые, 2 – дети в возрасте 1 – 2 года)

X, м	Эффективная доза внешнего облучения		Эффективная доза внутреннего облучения		Суммарная эффективная доза	
	1	2	1	2	1	2
100	46	64	4.5	9.8	50	74
300	39	54	4.8	11	44	65
500	81	110	27	64	110	180
750	150	210	39	90	190	300
1000	190	270	14	32	200	290
1500	250	350	10	20	260	370
2000	150	210	6.0	11	160	220
3000	71	99	3.0	5.6	74	100
5000	120	160	4.1	7.0	120	170
7000	34	48	1.3	2.4	36	50
10000	2.5	3.5	0.12	0.23	2.6	3.7
15000	1.2	1.7	0.06	0.12	1.3	1.8

Таблица 10

Максимально возможные эффективные дозы облучения человека, находящегося на открытой местности один год, от выбросов I – III стадий при выбросе в вентиляционную трубу на III стадии аварии, мЗв (1 – взрослые, 2 – дети в возрасте 1 – 2 года)

X, м	Эффективная доза внешнего облучения		Эффективная доза внутреннего облучения		Суммарная эффективная доза	
	1	2	1	2	1	2
100	0.84	1.20	0.036	0.078	0.86	1.20
300	2.10	2.90	0.240	0.520	2.30	3.40
500	1.90	2.70	0.280	0.590	2.20	3.30
750	2.30	3.30	0.380	0.820	2.70	4.10
1000	2.60	3.60	0.330	0.720	2.90	4.40
1500	2.70	3.80	0.330	0.730	3.10	4.50
2000	3.30	4.60	0.790	1.800	4.10	6.40
3000	4.60	6.40	0.510	1.100	5.10	7.50
5000	0.33	0.46	0.078	0.180	0.41	0.63
7000	0.35	0.48	0.062	0.140	0.44	0.71
10000	0.66	0.92	0.026	0.048	0.69	0.96
15000	0.25	0.35	0.010	0.018	0.26	0.37

2. В случае отказа системы вентиляции надреакторного пространства на III стадии аварии и реализации выброса в окна ЦЗ потребуется укрытие персонала, не принимающего участия в ликвидации последствий аварии, в том числе удаление персонала с территории СЗЗ, обязательно – с его переодеванием для уменьшения доз облучения кожи β -активными нуклидами; выполнение защитных мероприятий с целью уменьшения доз внешнего облучения населения (превышен уровень А для критической группы – взрослое население и уровень Б для критической груп-

пы – дети в возрасте 1 – 2 года (см. табл. 8). Укрытие в жилых зданиях и сооружениях позволит уменьшить дозы примерно в два раза [20]. Для критической группы населения – дети в возрасте 1 – 2 года, размещенной в наиболее загрязненной части города, достигаются уровни А по критериям для внешнего облучения (возможна эвакуация) и внутреннего облучения (возможна йодная профилактика).

Расчетные оценки максимально возможных индивидуальных доз для человека, находящегося на открытой местности в течение одного года, приведены в табл. 9, 10.

В наиболее вероятном случае, когда работает вентиляция надреакторного пространства, лишь для критической группы населения (дети в возрасте 1 – 2 года) при условии постоянного пребывания на улице (что практически невозможно) условно может быть превышен уровень 5 мЗв/год. Таким образом, меры по защите населения можно не вводить, ограничиваясь радиационным мониторингом людей и объектов внешней среды в соответствии с [20], принимая необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

В случае невозможности поддержания работы системы вентиляции надреакторного пространства в процессе формирования выброса ситуация становится существенно сложнее. На территории АЭС и в 10-километровой зоне потребуется введение режима зоны радиационной аварии. В этой зоне потребуется выполнение радиационной разведки для установления детальной картины загрязнений, обследование и паспортизация источников питьевого и технического водоснабжения. Потребуется введение радиационного мониторинга людей и объектов внешней среды для снижения доз облучения населения, а также мер для снижения внешнего облучения [20, 21]. Поскольку даже с учетом того, что большая часть населения находится на открытой местности лишь ~ 2.4 часа в день (1/10 времени), эффективные дозы вследствие внешнего облучения за год от загрязненной поверхности могут превысить 15 мЗв для взрослого населения и 21 мЗв для детей в возрасте 1 – 2 года за один год проживания на загрязненной территории. Потенциально наиболее загрязненной останется территории АЭС и СЗЗ, где потребуется проведение детальной радиационной разведки для определения зон ограниченного пребывания персонала. Дозы работающих на открытом воздухе (12 часов в день) в городе и за его пределами (на расстояниях 2 – 7 км от АЭС) за год могут составить до 75 мЗв. Для части населения, проживающей в наиболее загрязненном районе города, прогнозируемые дозы могут превысить уровень А для проведения защитных мер в виде отселения [19].

Данные радиационной разведки зоны радиационной аварии должны учитываться при необходимости проведения работ, потенциально способных привести к увеличению уровней радиационного воздействия на население (ремонтные, дорожно-строительные и т.п.).

Отдельно необходимо отметить, что после завершения рассмотренной неуправляемой динамической фазы запроектной аварии, подробно рассмотренной в [18] и данной статье, сохраняется опасность продолжения выброса радиоактивных продуктов деления, которые в значительных количествах удерживаются в кладке реактора, а также на поверхностях помещений в здании АЭС. Для предотвращения предполагаемого длительного выброса необходимо проведение компенсирующих мероприятий, обеспечивающих своевременное введение в аварийный реактор достаточного количества органов регулирования для обеспечения его подкритичности, изоляцию помещений АЭС от атмосферы и восстановление нормальной схемы вентиляции помещений станции. В качестве дополнительной меры по управлению аварией, возможно, потребуется замена фильтров для повышения эффективности очистки воздуха, удаляемого в вентиляционную трубу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на масштабы постулируемой тяжелой запроектной аварии (повреждение твэлов в 126-ти ТВС) особенности самозащищенности РУ ЭГП-6 и технический фактор – обеспечение надежной работы системы вентиляции надреакторного пространства – позволяют уменьшить дозы облучения критической группы населения до значения менее 5 мЗв/год вследствие аварийного выброса.

Рассмотрены и определены защитные мероприятия, позволяющие существенно снизить дозы облучения всех критических групп населения.

Литература

1. Мухамадеев Р.И., Черкасов М.В., Баранаев Ю.Д., Суворов А.П. Программный комплекс ВЫБРОС-3.1 для оценки последствий радиоактивных выбросов в атмосферу // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. – В печати.
2. Мухамадеев Р.И., Черкасов М.В., Баранаев Ю.Д., Суворов А.П. Программа ВЫБРОС-3.1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017619705. ФСИС, 01 сентября 2017 г. – 6 с.
3. Методика определения размеров зон планирования защитных мероприятий в случае аварии на атомной станции. МТ 1.2.5.05.0110-2012 – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2012. – 48 с.
4. Расчет и обоснование размеров санитарно-защитных зон и зон наблюдения вокруг АЭС. МУ 1.3.2.06.027.0017-2010 – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2012. – 57 с.
5. Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух. Методика ПДВ АЭС-2016. МТ 1.2.1.15.1176-2016 – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2016. – 78 с.
6. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Руководство по безопасности РБ-106-15. – М.: Ростехнадзор, 2015. – 59 с.
7. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. МУ 2.6.5.010-2016. – М.: Ростехнадзор, 2016. – 77 с.
8. Eckerman K.F., Leggett R.W., Berkovski V., Likhtarev I.A., Bertelli L., Nosske D., Phipps A.W., Kendall G.M. ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of Public. Version 3, ICRP, 1998-2011. Электронный ресурс: <http://www.icrp.org/page.asp?id=145> (дата доступа 20.03.2017).
9. Eckerman K., Harrison J., Menzel H-G., Clement C.H.. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60 // ICRP Pub. 119, Elsevier, 2012 – 132 p.
10. Eckerman K.F., Ryman J.C. External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil. Federal Guidance Report NO. 12, EPA-402-R-93-081, September 1993, 238 p.
11. Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации. IAEA-TECDOC-1162/R. – Вена: МАГАТЭ, 2004. – 206 с.
12. D.C. Kocher. Dose-rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons. NUREG/CR-1918 – ORNL, Oak Ridge, 1981. – 429 p.
13. Аттестационный паспорт ПС ВЫБРОС-3.1. Ростехнадзор, № 395 от 16 июля 2016 г.
14. Создание банка данных для описания природно-климатических, топографических и демографических условий площадки Билибинской АТЭЦ / Отчет Обнинского отделения ХЦНТУ «Экоцентр». – Обнинск, 1990. – 55 с.
15. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. Руководство по безопасности РБ-053-10. – М.: Ростехнадзор, 2010. – 81 с.
16. Рекомендации к содержанию отчета по углубленной оценке безопасности действующих энергоблоков атомных станций (ОУОБ АС). Руководство по безопасности РБ-001-05. – М.: Ростехнадзор, 2005. – 74 с.
17. Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants. IAEA Safety Standards Series

No. SSG-2, STI/PUB/1428. – IAEA, Vienna, 2009. – 84 p.

18. Мухамадеев Р.И., Баранаев Ю.Д., Парафило Л.М., Суворов А.П. Анализ тяжелой запроектной аварии РУ ЭГП-6 Билибинской АЭС. Формирование источника выброса // Известия вузов. Ядерная Энергетика. – 2018. – № 1. – С. 99-111.

19. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Роспотребнадзор, 2009. – 107 с.

20. Минимизация радиационных последствий для населения и персонала при ликвидации последствий аварии на энергоблоках атомных станций разных типов. Методика оптимизации мер по защите населения и территорий. Руководство по безопасности РБ-094-14, – М.: Ростехнадзор, 2014. – 45 с.

21. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии. Методические рекомендации МР 2.6.1.0063-12 – М.: Роспотребнадзор, 2013. – 57 с.

Поступила в редакцию 11.12.2017 г.

Авторы

Мухамадеев Рубен Ильдарович: научный сотрудник
E-mail: ben@ippe.ru

Баранаев Юрий Дмитриевич: начальник лаборатории
E-mail: baranaev@ippe.ru

Суворов Альберт Петрович: старший научный сотрудник
E-mail: asuворov@ippe.ru

UDC 621.039.583+621.039.586

SEVERE BEYOND DESIGN BASIS ACCIDENT ON BILIBINO NPP EGP-6 REACTOR. ANALYSIS OF CONSEQUENCES OF THE RADIOLOGICAL ACCIDENT FOR PUBLIC

Mukhamadeev R.I., Baranaev Yu.D., Suvorov A.P.

JSC «SSC RF-IPPE n.a. A.I. Leypunsky»

1 Bondarenko sq., Obninsk, Kaluga reg., 249033 Russia

ABSTRACT

Brief description is given in the paper of features of the VYBROS-3.1 code for evaluation of radiological consequences of radioactive release during normal operation and accidents on reactors of NPP for nuclear plant personnel and population within the area in the vicinity of the NPP site. Input meteorological data and information about the distribution of people on the area surrounding the Bilibino NPP (BiAES) are examined. Information about the source of radioactivity release generated based on the worst case (conservative) and the most probable approaches to the development of severe beyond design basis accident is presented. Analysis of radiation consequences of severe beyond design basis accident on EGP-6 nuclear reactor of the BiAES caused by introduction of positive reactivity caused by spontaneous shifting of two pairs of automatic control (AC) rods aggravated by

complete failure of reactor safety system was performed using VYBROS-3.1 code. Accident developing according to the above scenario results in the severest possible scale of destruction of fuel and localizing safety barriers and represents the maximum possible case from the viewpoint of radiation impact on the population. Technical and organizational protective measures allowing mitigating these consequences in pursuance with requirements of acting regulatory documents are suggested. It is demonstrated that even in the case of radioactivity release under the conservative approach to the evaluation implementation of emergency protective measures in the form of evacuation of public will not be required.

Key words: severe accident, radioactive release, consequences of radiological accident, decision-making criteria, protective measures.

REFERENCES

1. Mukhamadeev R.I., Cherkasov M.V., Baranaev Yu.D., Suvorov A.P. Code VYBROS-3.1 for assuming of consequences of atmosphere radioactive release for public. *VANT. Ser. Nuclear reactor physics*, accepted for publication (in Russian).
2. Mukhamadeev R.I., Cherkasov M.V., Baranaev Yu.D., Suvorov A.P. Code VYBROS-3.1. Certificate of state registration for computer programs № 2017619705. Federal System of Intellectual Property, 01 September 2017, 6 p. (in Russian).
3. MT 1.2.5.05.0110-2012. *Guide on Emergency Management of Off-Site Response for NPP*. Moscow. Concern «Rosenergoatom» Publ., 2012, 48 p. (in Russian).
4. MU 1.3.2.06.027.0017-2010. *Radiation Protection Zones of NPP. Guide on Calculation and Substantiation of Size*. Moscow. Concern «Rosenergoatom» Publ., 2010, 57 p. (in Russian).
5. MT 1.2.1.15.1176-2016. *Guide to Specifications for maximum permissible release of radioactive substances of NPP to atmosphere*. Moscow. Concern «Rosenergoatom» Publ., 2016, 78 p. (in Russian).
6. RB-106-15. *Recommended calculation methods for parameters, which need to identify of specifications for maximum permissible release of radioactive substances to atmosphere*. Moscow. Rostekhnadzor Publ., 2015, 59 p. (in Russian).
7. MU 2.6.5.010-2016. *Specifications of sizes and maintainnace conditions for radiation protection zones of radiation objects*. Moscow. Rostekhnadzor Publ., 2016, 77 p. (in Russian).
8. K.F. Eckerman, R.W. Leggett, V. Berkovski, I.A. Likhtarev, L. Bertelli, D. Nosske, A.W. Phipps, G.M. Kendall. ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of Public. Version 3, ICRP, 1998-2011. Available at <http://www.icrp.org/page.asp?id=145> (accessed Mar 10 2017).
9. Eckerman K., Harrison J., Menzel H.-G., Clement C.H. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, *ICRP Pub. 119*, Elsevier, 2012, 132 p.
10. Keith F. Eckerman and Jeffrey C. Ryman. External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil. Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, September 1993, 238 p.
11. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency. IAEA-TECDOC-1162, 2004, 206 p.
12. Kocher D.C. Dose-rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons. NUREG/CR-1918, ORNL, 1981, 429 p.
13. Attestation passport for code VYBROS-3.1. Rostekhnadzor, № 395, 16.07.2016, 6 p. (in Russian).
14. Creation of Data Bank of climate, topographic & demographic conditions of Bilibino NPP situation region. Report of Obninsk department of HTSNTU «ECOCENTER», 1990, 55 p. (in Russian).
15. RB-053-10. *Specifications of accuracy increasing for calculation characterization of on-site and off-site radioactive contaminations and doses for staff and public*.

Rostehnadzor, 2010, 81 p. (in Russian).

16. RB-001-05. *Guide to Content of Advanced Safety Analysis Report for NPP in work.* Moscow. Rostehnadzor Publ., 2005, 74 p. (in Russian).

17. Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-2, STI/PUB/1428, IAEA, Vienna, 2009, 84 p.

18. Mukhamadeev R.I., Baranaev Yu.D., Parafilo L.M., Suvorov A.P. Analysis of severe accident of EGP-6 reactor facility at Bilibino NPP. Release source term formation. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika.* 2018, no. 1, pp. 99-111 (in Russian).

19. NRB-99/2009. SanPiN 2.6.1.2523-09. *Radiation Safety Guide.* Moscow. Rospotrebnadzor Publ., 2009, 107 p. (in Russian).

20. RB-094-14. *Guide to Emergency planning: How to minimize radiation consequences for staff and public due to accidents on different types of reactors of NPP. Optimization of protective actions.* Moscow. Rostehnadzor Publ., 2014, 45 p. (in Russian).

21. MR 2.6.1.0063-12. *Monitoring of doses for public near radiation object under normal maintainnace and accident conditions.* Moscow. Rospotrebnadzor Publ., 2013, 57 p. (in Russian).

Authors

Mukhamadeev Ruben Ildarovich, Researcher

E-mail: ben@ippe.ru

Baranaev Yuri Dmitrievich, Head of Laboratory

E-mail: baranaev@ippe.ru

Suvorov Albert Petrovich: Senior Researcher

E-mail: asuvorov@ippe.ru