

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАЗИНЬКОВ Н.Д., ОВЧИННИКОВА Т.В.,
КУПРИЕНКО П.С.

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ
АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС**

2020

Разиников Н.Д.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

Разиников Н.Д., Овчинникова Т.В.,
Куприенко П.С.

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС**

Монография

Воронеж
Издательство «Цифровая полиграфия»
2020

УДК 621.039 + 504.055

ББК 31.47 + 20.1

Рецензенты:

А.Н. Кошель – начальник главного управления МЧС России по Воронежской области, полковник внутренней службы.

В.М. Смольянинов – профессор кафедры географии Воронежского государственного педагогического университета, доктор географических наук.

Разиньков Н.Д. Потенциальные риски аварийных ситуаций Нововоронежской АЭС: Монография. / Разиньков Н.Д., Овчинникова Т.В., Куприенко П.С. – Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2020.

Монография «Потенциальные риски аварийных ситуаций Нововоронежской АЭС» явилась итогом обобщения многочисленных материалов, опубликованных воронежскими исследователями в области радиоэкологии, отчётов санитарных и экологических служб в регионе, которые выходили систематически на протяжении более полувека существования Нововоронежской АЭС.

В монографии освещены особенности технологических решений обеспечения безопасности Нововоронежской АЭС, радиоэкологическая обстановка в регионе и районе расположения атомной станции.

Издание рассчитано на специалистов, занимающихся вопросами радиоэкологии, безопасности жизнедеятельности и безопасности природной и техногенной среды. Монография будет полезна преподавателям университетов региона, преподающим по направлениям экологии, геоэкологии, техносферной и природной безопасности, а студентам окажется подспорьем при написании курсовых и дипломных работ.

Ил. 38, табл. 42, библиограф.: 39 назв.

© Разиньков Н.Д., Овчинникова Т.В.,
Куприенко П.С., 2020

Оглавление

Введение	4
1. Влияние техносреды на природный радиационный фон Земли	5
2. Нововоронежская АЭС – пионер атомной энергетики России	12
3. Характеристика природных условий места расположения НВАЭС и её радиоэкологический аспект.....	23
4. Мониторинг радиационной обстановки вокруг НВАЭС и его основные итоговые показатели.....	35
5. Особенности оценки радиационных рисков АЭС.....	42
6. Нормативное обеспечение радиационной безопасности на НВАЭС.....	57
7. Физико-геологические процессы и явления и их возможное влияние на безопасность НВАЭС.....	66
8. Гидрологические риски для НВАЭС и величина их возможной реализации.....	75
8.1. Рассматриваемые сценарии наводнений в районе НВАЭС.....	75
8.2. Риск маловодья на р. Дон для безаварийной эксплуатации НВАЭС	78
8.3. Риск возникновения сложной ледовой обстановки, которая может повлиять на водозабор технической воды для НВАЭС.....	81
9. Метеорологические риски для НВАЭС и величина их возможной реализуемости	83
10. Потенциальные техногенные риски для НВАЭС и оценка их реализуемости	86
10.1. Техногенные риски для НВАЭС, обусловленные пожарами и взрывами.....	88
10.2. Оценка риска падения самолёта на промплощадку НВАЭС.....	89
10.3. Анализ возможности падения авиабомб и ракет класса «воздух-земля».....	95
11. Потенциальные радиационные риски для населения, проживающего в зоне влияния НВАЭС.....	97
11.1. Штатная эксплуатация НВАЭС и регистрируемые технологические выбросы радионуклидов в окружающую среду.....	97
11.2. Оценка радиационных рисков для населения при проектных аварийных ситуациях на НВАЭС	101
11.3. Оценка радиационных рисков для населения при запроектных аварийных ситуациях на НВАЭС.....	108
12. Методические подходы, облегчающие принятие решений о введении мер радиационной защиты населения.....	112
Заключение	116
Список литературы	118

Введение.

Общемировая проблема обеспечения радиоэкологической безопасности ещё более чётко обозначилась после «Фукусимской» катастрофы (2011 г.) – радиационной аварии 7 уровня по международной шкале ядерных событий МАГАТЭ.

Получение ядерного топлива для атомных электростанций, ядерных зарядов для военной отрасли, создания иных приборов и оборудования, использующих радиоактивные источники, в конечном итоге приводят к одному – образованию радиоактивных отходов, которых накоплено в настоящее время в мире несколько млн. тонн. Стало несложным изготовить «грязную» радиоактивную бомбу международным террористам. Это держит весь мир в постоянном напряжении не хуже произошедшей пандемии, обусловленной коронавирусом (COVID-19) в 2020 г.

Обеспокоенность в настоящее время вызывают радиационно фонящие предметы, обнаруживаемые на предприятиях и у населения, поступающие на передел металлом и иные отходы в переработку, строительные материалы, имеющие повышенное содержание природных радионуклидов. Экономические ущербы по ликвидации таких радиационных инцидентов существенны, не упоминая при этом о самой социальной опасности – натуральном вреде для людей, получающих радиоактивное облучение.

По данным территориального управления Роспотребнадзора по Воронежской области в 2015 – 2018 гг. регистрировались следующие радиационно-опасные происшествия.

1. 12.03.2015. На территории бывшего ОАО «Воронежского экскаваторного завода им. Коминтерна» обнаружен бесхозный источник радиоактивного излучения. Источник изъят и размещён в р.п. Хохольском во временном хранилище областного учреждения.

2. 02.02.2018. На территории склада временного хранения ЗАО «СВТ-Сервис» (г. Воронеж) сотрудниками таможенной службы был задержан автомобиль XF (Латвия) с полуприцепом, перевозивший партию лома легированной стали в количестве 21,0 т по причине повышенного гамма-фона от полуприцепа автомобиля. Мощность дозы на расстоянии 0,1 м составляла 7,5 мкЗв/ч (норматив 0,2 мкЗв/ч). При разгрузке автомобиля были обнаружены две металлические трубы, с повышенным фоном, которые были переданы в филиал концерна «Росэнергоатом» Нововоронежской атомной станции (далее – НВ АЭС), где имеется хранилище радиоактивных отходов.

3. В зоне таможенного контроля зала прилёта Международного сектора аэропорта г. Воронежа в багаже гражданина Узбекистана обнаружен авиационный термометр со светящимися шкалами и стрелками. Мощность дозы на расстоянии 0,1 м составляла 1,8 2,1 мкЗв/ч (норматив 1,0 мкЗв/ч). Термометр был изъят и передан в филиал концерна «Росэнергоатом» НВ АЭС.

4. С 18.02.2018 по 07.03.2018 было четыре обращения от жителей г. Воронежа с просьбами проверить имеющиеся у них часы со светящимися стрелками и шкалами. Замеры мощностей дозы радиоактивных излучений на расстоянии

0,1 м от циферблатов часов составляли от 0,39 до 5,2 мкЗв/ч (норматив 1,0 мкЗв/ч). Термометр был изъят и передан в филиал концерна «Росэнергоатом» НВ АЭС. Часы были изъяты и переданы в филиал концерна «Росэнергоатом» НВ АЭС.

В этих условиях вопрос мониторинга и рубежного контроля радиационной обстановки являются необходимыми. Радиационный природный фоновый мониторинг, контроль радиационной обстановки вокруг атомных опасных объектов, радиационный контроль проходящих через регион транспортных потоков с радиоактивными отходами и различным сырьем, в том числе формирующихся в самом регионе, являются обязательными и требуют постоянного улучшения вместе с ростом знаний о радиационной опасности и совершенствованием мониторингового оборудования за радиационной обстановкой как фоновой, так и объектовой.

1. Влияние техносреды на природный радиационный фон Земли.

В условиях радиационного облучения зарождалась жизнь на Земле, возник и человек, успешно увеличивая народонаселение нашей планеты. Человек, как итог, даже сам несколько радиоактивен: в любой его составляющей биологической ткани присутствуют в следовых количествах радиоактивные вещества [1]. Мало того, в XX – XXI вв. человечество стало создавать дополнительную, теперь уже техногенную радиационную нагрузку, проводя ядерные взрывы в военных и мирных целях (рис. 1) и возводя ядерные объекты, в число которых входят атомные электростанции (далее – АЭС). Размещение атомных электростанций в России показано на рис. 2.

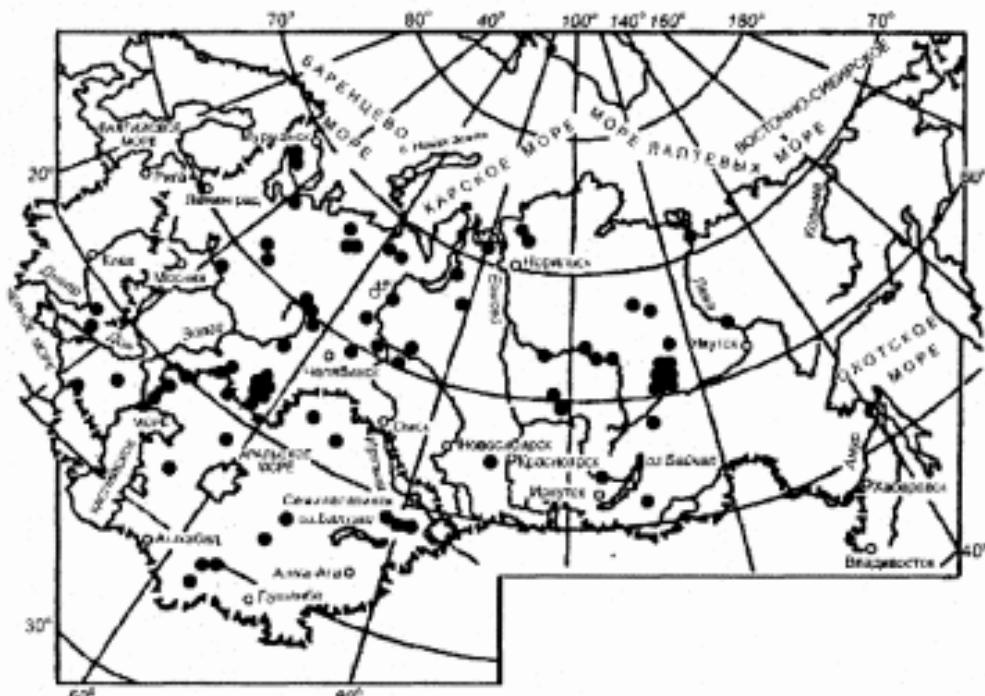


Рис. 1 – Географическое положение проведённых в XX в. ядерных взрывов в «мирных» целях на территории бывшего СССР.

«Мирные» ядерные взрывы на территории бывшего СССР осуществлялись в целях создания водохранилища, интенсификации добычи нефти, для ликвидации газового фонтана, горевшего 3 года, для дробления руды, создания подземной ёмкости для захоронения жидких отходов и др.

«Военные» ядерные взрывы на территории бывшего СССР производились с 1949 г. по 1990 г. Всего же в мире было произведено 2059 ядерных взрывов, из них непосредственно в атмосфере 501.

В течение четырёх десятков лет, когда проводились ядерные испытания, в природной среде происходило накопление радиоактивности на поверхности Земли, по сути, было выброшено 12.5 т продуктов деления [2]. В результате проведённых ядерных взрывов изменилось равновесное содержание углерода-14 в атмосфере на 2,6 %, произошло увеличение содержания трития почти в 100 раз. О существенном влиянии ядерных взрывов свидетельствует тот факт, что после запрещения ядерных испытаний в атмосфере радиационный фон поверхности Земли в среднем вырос на 2 %. Как итог, глобальный радиационный фон заметно повысился и в XX в. составлял в мире в среднем 10 – 15 мкР/ч [3].



Рис. 2 – Размещение АЭС в России в соответствии с перспективным планом развития атомной энергетики.

На техногенно изменённый радиационный фон на Земле существенно влияли и другие причины: радиационные аварии (рис. 3 – 7), извлечение и перераспределение радиационно фонящих минералов, выбросы радиационно опасных объектов, сжигание органического топлива, многочисленные техногенные источники проникающей радиации (исследовательские установки, медицинская аппаратура, многочисленные технические локационные уст-

новки, радиационная дефектоскопия, источники сигнальной индикации и др.).

Нарастание поверхностной радиоактивности Земли при радиационных авариях на АЭС зафиксировано достаточно чётко, так как среда жизнедеятельности людей. «Чернобыльская» авария стала фактом выброса в окружающую среду 15 т радиоактивных веществ, что является большим чем при всех радиоактивных выбросах при ядерных взрывах [3]. В результате этого были радиационно загрязнены многие страны (рис. 3).

В России до сих пор имеются территории, загрязнённые радиоактивными выпадениями, данным территориям присвоен льготный статус, они учтены в нормативных региональных документах территориального планирования. Не обошло загрязнение и Воронежскую область (рис. 4, 5).

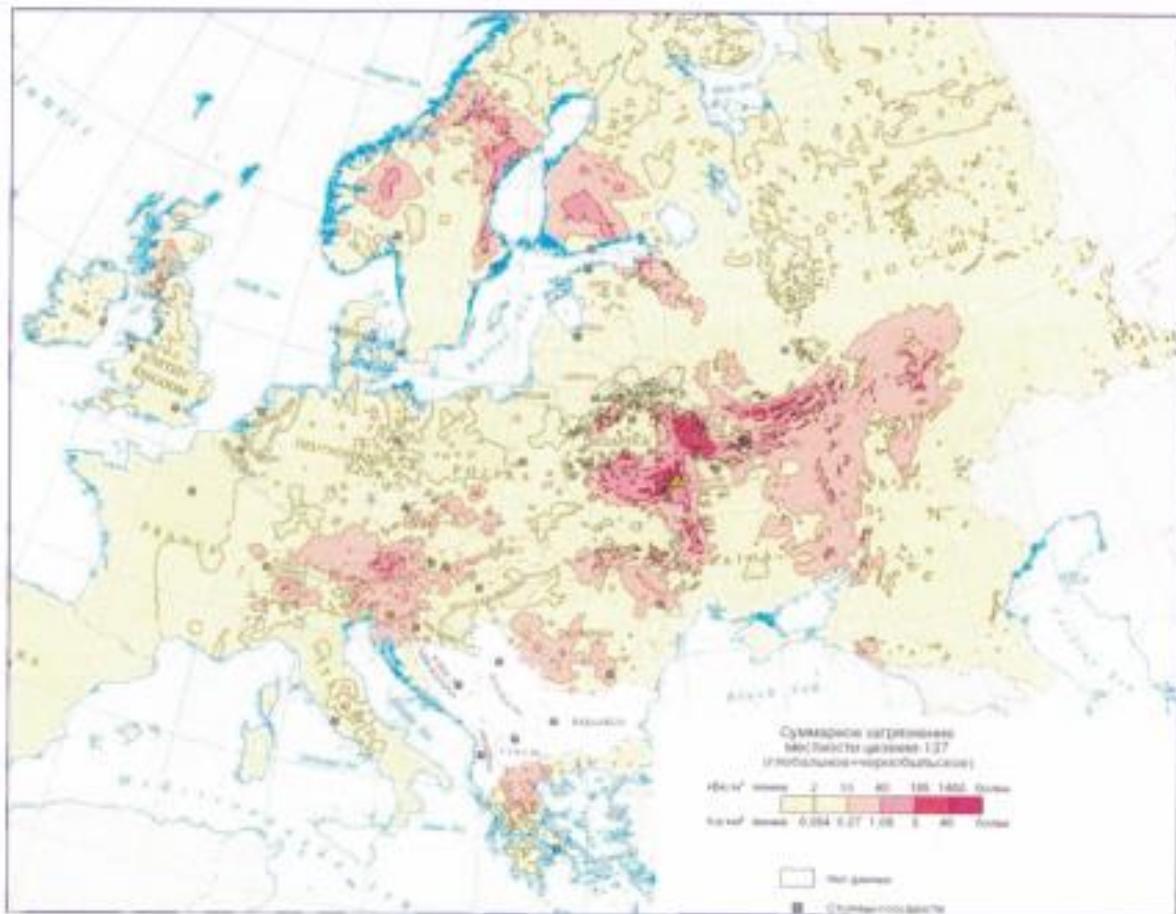


Рис. 3 – «Чернобыльский след» – суммарное радиационное загрязнение местности цезием-137 (1986 г.).

Первые выпадения радиоактивных веществ Чернобыльского происхождения на территории Воронежской области были зарегистрированы 29.04.1986, уровень радиации достигал до 300 мкР/ч, особенно пострадали Нижнедевицкий, Хохольский и Репьевский районы. (рис. 5). В 1993 г. максимальный уровень загрязнения составил в отдельных районах 50 мкР/ч.

В 1986 г. было проведено широкомасштабное радиологическое обследование территорий уполномоченными комиссиями, в которые входили специалисты гидрометеослужбы и санэпиднадзора.

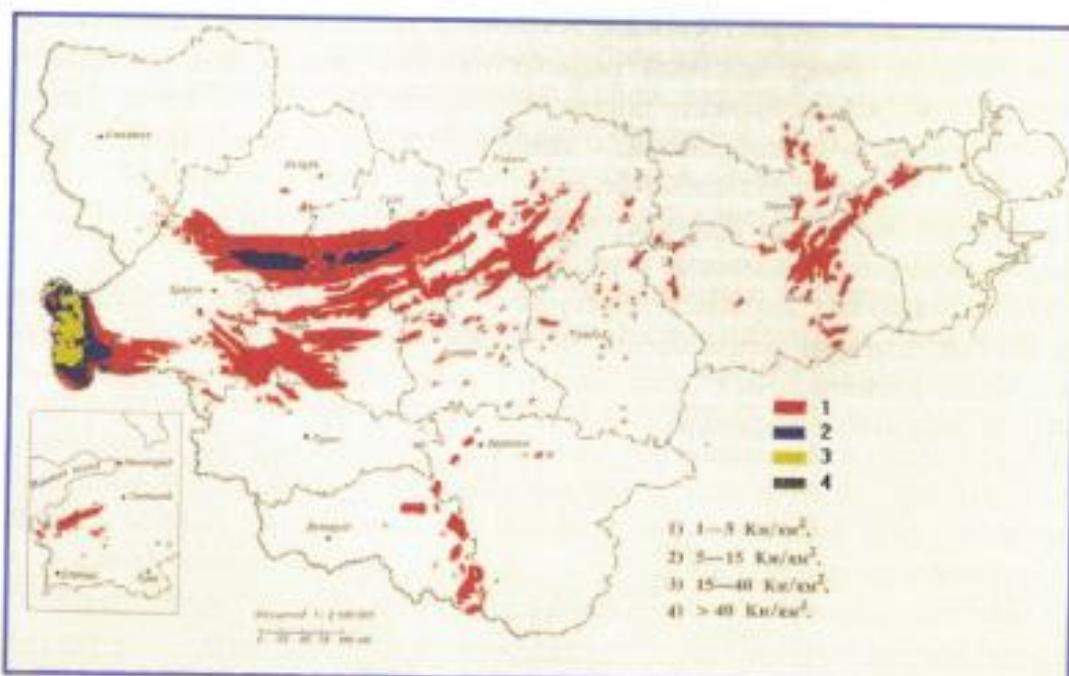


Рис. 4 – Схема плотности загрязнения цезием-137 с запасом более 1 Ки/км² территории европейской части России по состоянию на 30.12.1991.



Рис. 5 – Территории Воронежской области в разрезе административных районов Воронежской области оказавшиеся в зоне радиоактивного «Чернобыльского» загрязнения только IV степени: 1 + 5 Ки/км².

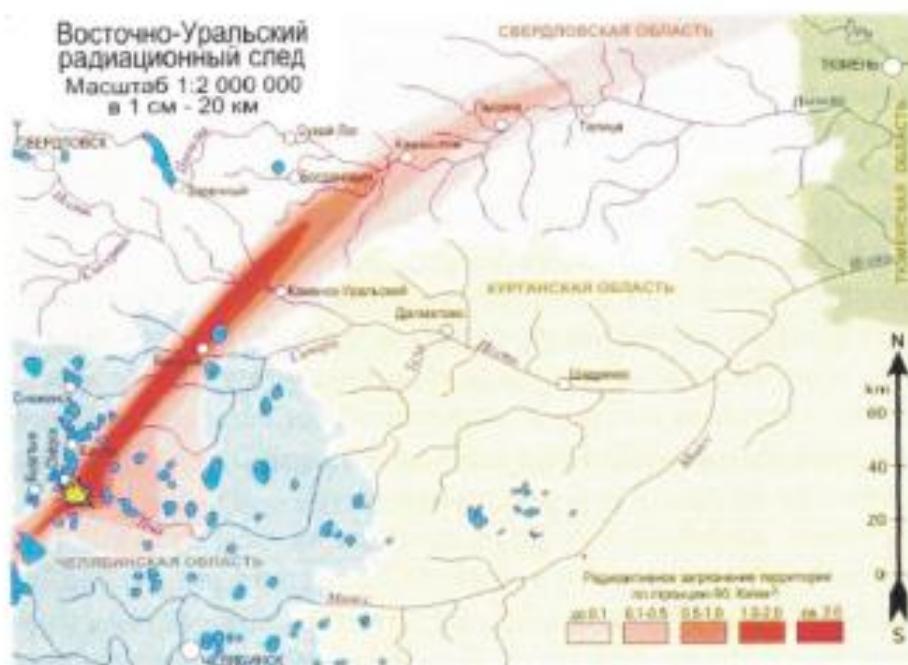


Рис. 6 – Восточно-уральский след (авария на ПО «Маяк», г. Кыштым, 1957 г.).

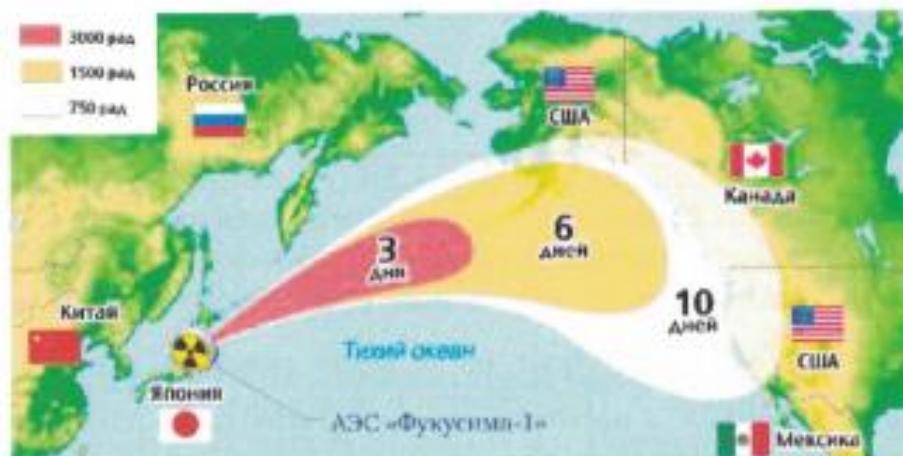


Рис. 7 – Распространение радиационного загрязнения после радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1» (Япония, 2011 г.).

По результатам радиологических обследований, проведённым в 1986 г. межведомственной группой специалистов, 8 административных районов Воронежской области были отнесены к радиоактивно загрязнённым территориям (рис. 5). Для принятия адекватных административных мер по отселению людей либо иным видам ограничений жизнедеятельности была установлена классификация по степени радиоактивного загрязнения: 1-я $> 40 \text{ Ки}/\text{км}^2$; 2-я – $15 + 40 \text{ Ки}/\text{км}^2$; 3-я – $5 + 15 \text{ Ки}/\text{км}^2$; 4-я – $1 + 5 \text{ Ки}/\text{км}^2$.

В Воронежской области радиоактивно загрязнённые территории после обследования были отнесены к 4-ой степени – $1 + 5 \text{ Ки}/\text{км}^2$. Наиболее радиоактивно загрязнёнными оказались населённые пункты Острогожского района: с. Петренково, с. Ближняя Полубянка, х. Пахолок. В этих населённых пунктах

среднегодовая эффективная доза критической группы населения составляла в это время $7,40 \pm 7,83$ мЗв/год.

Прошло после Чернобыльской аварии уже более 40 лет. Периоды полу-распада цезия-137 составляет 30,2 года, стронция-90 – 28,6 года. Естественно, уровень загрязнённости отмеченных земель существенно снизился: по цезию-137 в 1,90 раз (с 3,15 до 1,66 КИ/км²); по стронцию-90 в 1,91 раза (с 0,063 до 0,033 КИ/км²) [4].

Интересен сам предмет рассматриваемого в монографии исследования – экологическая обстановка в районе размещения атомной станции. Вместе со становлением экологии как науки в нашей стране стала развиваться и одно из её направлений – радиоэкология. У радиоэкологии есть своя специфика – нет однозначно принимаемых учёным сообществом критерии вредного радиационного воздействия на людей и природную среду.

В настоящее время превалирует концепция безусловной генетической опасности любых андрогенных радиационных воздействий, которая основывается на предположении отсутствия порога вредного воздействия в зависимости «доза – эффект» (радиационный риск). Исходя из этой концепции используются более трёх десятков лет исключительно гигиенические критерии радиационной безопасности [5], которые предназначены только для человека.

Попытки ввести критерии для оценки радиоэкологической обстановки для биоты в целом предпринимались после Чернобыльской аварии украинскими учёными [6], но далее научных обсуждений на конференциях эта тема развита так и не была.

После «Фукусимской» аварии (11.03.2011) в направлении оценки радиационной опасности продвинул Росгидромет, но правда только в фиксации радиационного всплеска, начиная с которого требуется объявлять либо экстремально высокое радиоактивное загрязнение (ЭВ3) либо высокое загрязнение (В3) [7].

Последствия радиационной аварии на Фукусиме-1 в Японии не являются полностью обобщёнными, в настоящее время производится накопление экологической информации с точки зрения последствий как в самой Японии, так и в странах мира. Ввиду географического местоположения аварийной станции и благоприятных погодных условий – преобладающий ветер после радиационной аварии был направлен в сторону американского континента через Тихий океан, – радиационные последствия были несколько смягчены для проживающего населения Земли (рис. 7).

Территорию Центрально-Чернозёмного района следы радиоактивного загрязнения достигли только спустя 16 суток после начала аварии, а пик загрязнений оказался в точке замера (г. Курск) через 23 суток после начала аварии. Здесь же следует заметить, что за 23 дня произошло почти три периода полу-распада радиоактивного йода-131 (период полураспада йода-131 составляет 8,04 суток [5]). Тем не менее, имеющиеся результаты оперативного гамма-спектрометрического анализа проб аэрозолей, проведённого региональной радиометрической лабораторией ЦЧ Управления Росгидромета России (г. Курск) [8], свидетельствуют о значительности события, в том числе и для территории Российской Федерации.

ской Федерации.

Радиометрическая лаборатория г. Курска производила замеры объёмной активности следующих радионуклидов: I-131, I-132, Cs-137, Cs-136, Cs-134, Te-132, Te-129M. Всплеск радиационной активности в соответствии с представленными данными наблюдался с 27 марта по 8 апреля 2011 г. в точке наблюдения (табл. 1). Замер производился посutoчно по 18 часов в сутки, что при сравнении со среднесуточным критерием безопасности для населения необходимо умножить на коэффициент пересчёта $K_n = 1,33$. Для удобства восприятия построен соответствующий график результатов проведённых замеров объёмной активности радионуклидов (рис. 8).

Таблица 1

Результаты оперативного гамма-спектрометрического анализа проб аэрозолей – ФВУ Курск, фильтр ФПП-15

Дата замера	Радионуклиды, $N \cdot 10^{-5}$ Бк/м ³						
	I-131	I-132	Cs-137	Cs-136	Cs-134	Te-132	Te-129M
27.03.2011	8,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
28.03.2011	58	0,2	1,6	0,2	1,7	0,2	0,2
29.03.2011	81	3,2	4,6	0,2	4,5	0,2	0,2
30.03.2011	228	4,9	29	2	29	8,4	0,2
31.03.2011	235	4,9	28	1,9	29	8,8	0,2
01.04.2011	326	7,7	67	4,7	68	9,1	63
02.04.2011	361	8,1	90	6	91	11	56
03.04.2011	372	7,4	96	5,4	96	11	98
04.04.2011	164	0,2	23	1,7	25	0,2	0,2
05.04.2011	162	1,8	38	2,6	39	0,2	0,2
06.04.2011	171	2,5	67	3,1	69	0,2	42
07.04.2011	49	0,2	17	1,1	18	0,2	0,2
08.04.2011	2,8	0,2	0,7	0,2	0,7	0,2	0,2

Аналогичная ситуация была и на территории Воронежской области. Воронежским гидрометеоцентром 1 апреля 2011 г. отмечалась максимальная измеренная объёмная активность цезия-137 в г. Нововоронеже – $87,7 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, что ещё раз подтверждает о глобальном радиоактивном следе, образовавшемся в результате радиационной аварии на АЭС Фукусима-1 (Япония).

Возникает вопрос: существенен ли выявленный всплеск радиоактивности, либо нет? С этой целью имеется возможность сравнить с двумя критериями:

1) Критерий, соответствующий Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [5], – допустимая суточная доза для человека составляет $2 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³;

2) Критерий аварии на промышленных реакторах, соответствующий чрезвычайной ситуации [9], – измеренная объёмная активность йода-131 является более 7 Бк/м³.

Проводя сравнение с приведёнными критериями следует ряд выводов и проблемных вопросов, требующих своего разрешения.

1) Радиоактивное загрязнение не привело к глобальной чрезвычайной ситуации (критерий ЧС гораздо выше всплеска радиоактивности в регионе).

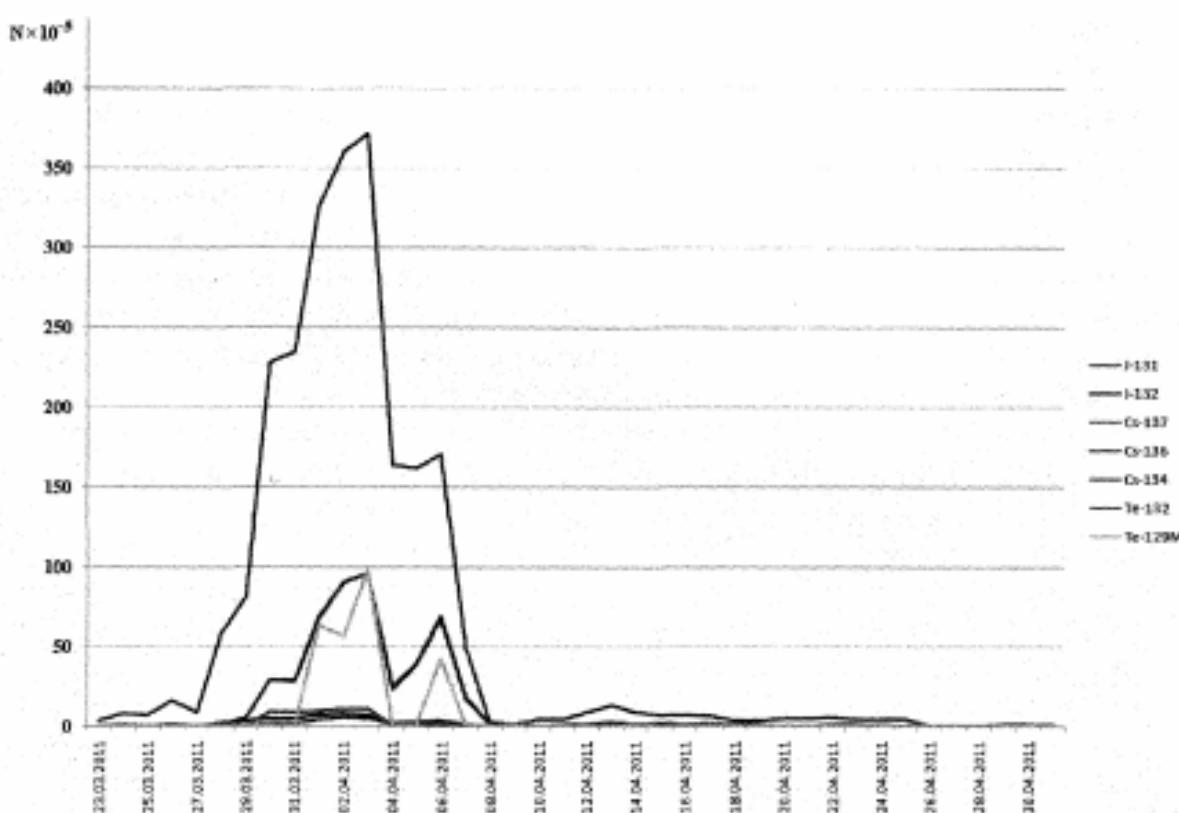


Рис. 8 – Результаты проведённых замеров объёмной активности радионуклидов на территории ЦЧО после аварии на АЭС Фукусима-1 (Япония).

2) Радиоактивное загрязнение, конечно же, не превысило данных критериев безопасности для населения, но, тем не менее, остаётся открытым вопрос: почему о всплеске радиационной активности в регионе в период с 27.03.2011 по 08.04.2011 никто не сообщил? В соответствии с Конституцией РФ (1993) ст. 42: «Каждый имеет право на благоприятную среду, достоверную информацию о её состоянии ...».

3) В Воронежской области до настоящего времени отсутствует возможность замерять объёмную активность йода-131, что является неудовлетворительным состоянием дела, так как в регионе располагается атомная станция.

2. Нововоронежская АЭС – пионер атомной энергетики России.

История Нововоронежской АЭС (НВАЭС) уникальна, в этом месте многое делалось впервые, так как здесь впервые в России реализовывался проект новой серии энергоблоков типа ВВЭР – водо-водяных энергетических реакторов. Строительство НВ АЭС началось в 1958 г. Стартплощадка была выбрана в удобном месте: недалеко находится крупный промышленный центр – Воронеж 45 км по трассе (38 км по прямой), место выбрано на берегу крупной реки Дон, что обеспечивает гарантированное водоснабжение АЭС в нужных объемах в любое время года несмотря ни на какие климатические изменения, геологическое основание – благоприятное, строительный песок для станции забирался из близлежащих карьеров, геологическое основание – аллювиальные отложения,

сейсмичность – приемлемая, 6 баллов по карте С (7 баллов по карте D) шкалы MSK-64 [10]. Необходимо сказать, что вначале атомная станция называлась Нововоронежская ГРЭС (государственная районная электрическая станция), об этом свидетельствуют члены семей первых инженеров-эксплуатационников НВАЭС [11]. Это говорит о том, что Нововоронежская АЭС строилась, когда атомная промышленная энергетика ещё не оформилась в отдельное ведомство, НВАЭС являлась действительно пионером в создаваемой атомной энергетике в нашей стране. Первый инженерный эксплуатирующий персонал набирался из отставных офицеров атомного подводного флота, об этом с гордостью рассказывают современные экскурсоводы атомной станции. НВАЭС стала школой атомной энергетики.

Основные этапы деятельности НВАЭС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные этапы развития Нововоронежской АЭС

Этапы освоения	Станционный номер блока, тип реактора						
	1 ВВЭР- 210	2 ВВЭР- 365	3 ВВЭР- 440	4 ВВЭР- 440	5 ВВЭР- 1000	6 ВВЭР- 1200	7 ВВЭР- 1200
Начало строительства	1958	1964	1967	1967	1972	2007	2007
Энергетический пуск, месяц, год	сентябрь 1964	декабрь 1969	декабрь 1971	декабрь 1972	май 1980	август 2016	май 2019
Достижение 100 % мощности, месяц, год	декабрь 1964	апрель 1970	июнь 1972	май 1973	февраль 1981	февраль 2017	декабрь 2019
Завершение срока эксплуатации, год	1984	1990	останов декабрь 2017	модерни- зирован 2032	продлён 2036	срок экс- плуата- ции 60 лет	срок экс- плуата- ции 60 лет

Атомная станция является особым радиационным объектом, на котором трудится значительное количество персонала, невдалеке расположен городок атомщиков. Атомная станция, как крупный производственный объект, связан транспортными артериями с хозяйствующими субъектами страны; имеются автомобильные дороги, подходит, как правило, железнодорожная технологическая ветка.

Технологическая схема ныне эксплуатируемых энергоблоков имеет два контура.

Первый контур – радиоактивный. Он включает в себя реактор ВВЭР и циркуляционные петли (рис. 21). Каждая петля содержит главный циркуляционный насос (ГЦН), парогенератор и две главные запорные задвижки (ГЗЗ), на 6, 7 блоках нет ГЗЗ. К одной из циркуляционных петель первого контура подсоединен компенсатор давления, с помощью которого в контуре поддерживается заданное давление воды, являющейся в реакторе одновременно и теплоносителем и замедлителем нейтронов. На энергоблоках №3 и №4 имеется по 6 циркуляционных петель, на энергоблоке №5 – четыре циркуляционные петли. Энергоблок №1 имел шесть циркуляционных петель, энергоблок №2 – восемь.

Второй контур – нерадиоактивный. Он включает в себя парогенераторы, паропроводы, паровые турбины, сепараторы-пароперегреватели, питательные насосы и трубопроводы, деаэраторы и регенеративные подогреватели. Парогенератор является общим оборудованием для первого и второго контуров. В нём тепловая энергия, выработанная в реакторе, от первого контура через теплообменные трубы передаётся второму контуру. Насыщенный пар, образующийся в парогенераторе, по паропроводу поступает на турбину, которая приводит во вращение генератор, вырабатывающий электрический ток.

В системе охлаждения и технического водоснабжения на НВАЭС используются башенные градирни – 7 штук (энергоблоки №3 и №4), пруд-охладитель (энергоблок №5), башенные градирни по одной на энергоблок (энергоблоки №6 и №7).

На энергоблоках №1 и №2 применялась прямоточная система охлаждения с забором воды из реки Дон и сбросом в неё.

Подпитка систем охлаждения и технического водоснабжения энергоблоков производится водой из реки Дон.

Систему охлаждения конденсаторов и технического водоснабжения энергоблока с реактором ВВЭР иногда называют третьим контуром.

Корпуса всех реакторов Нововоронежской АЭС изготовлены ПО «Ижорский завод» г. Колпино Ленинградской области.

Оборудование реакторных установок (РУ) размещено в герметичных боксах (у энергоблоков №3 (останов энергоблока состоялся 25.12.2017) и №4), в защитной герметичной оболочке (энергоблок №5), в двойной защитной оболочке (энергоблоки №6 и №7), которые обеспечивают удержание в этих помещениях радиоактивных веществ при разуплотнении первого контура.

Реакторные установки энергоблоков №3 и №4 идентичны и являются головными блоками РУ с ВВЭР-440 (модификация В-179).

Реакторная установка ВВЭР-1000 (модификация В-187) энергоблока №5 является головной с РУ с ВВЭР-1000. Технико-экономические показатели энергоблока №5 по сравнению с другими энергоблоками Нововоронежской АЭС были улучшены за счёт увеличения мощности, укрупнения и усовершенствования оборудования, снижения капитальных затрат.

Реакторные установки ВВЭР-1200 сооружены по проекту «АЭС-2006» (РУ В-392М) энергоблоков №6 и №7.

Реактор ВВЭР обладает важным свойством саморегулирования: при повышении температуры теплоносителя или мощности реактора происходит самопроизвольное снижение интенсивности цепной реакции в активной зоне и в конечном итоге – снижение мощности реактора.

Активная зона размещается во внутрикорпусных устройствах реактора и собирается из шестигранных тепловыделяющих сборок (ТВС), содержащих тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) стержневого типа с сердечником из диоксида урана в виде таблеток, находящихся в оболочке из циркониевого сплава. В тепловыделяющих сборках ТВЭЛы размещены в треугольной решётке и заключены в чехол из циркониевого сплава. В свою очередь, ТВС также собраны в треугольную решётку с шагом 147 мм (энергоблоки №3 и №4) и 241 мм

(энергоблок №5).

В качестве ядерного топлива используется спечённый диоксид урана с начальным обогащением ураном-235 в диапазоне от 2,4 до 4,4 % (масс.).

На всех энергоблоках применяется зонная загрузка ядерного топлива (с различным обогащением или выгоранием урана в зонах) для выравнивания распределения энерговыделения по диаметру активной зоны.

Замена отработавших тепловыделяющих сборок «свежими» производится на остановленном и разуплотнённом реакторе под водой специальными перегрузочными машинами с дистанционным управлением. Графиком перегрузки предусматривается поочерёдная остановка реакторов, причём, как правило, перегрузки выполняются в весенне-летний период, когда нагрузка энергосистемы минимальна.

Турбины энергоблоков №3 и №4 (тип К-220-44) – конденсационные, одновальные, трёхцилиндровые (ЦВД + 2 ЦНД), номинальной мощностью 220 МВт, частотой вращения 3000 об/мин, с восемью регенеративными отборами (из них третий и пятый – одновременно и теплофикационные), с сепарацией и промежуточным паровым двухступенчатым перегревом отборным и свежим паром, без регулируемых отборов.

Турбины энергоблока №5 (тип К-500-60/1500) – конденсационные, одновальные, двухцилиндровые (ЦВСД + ЦНД), номинальной мощностью 500 МВт, частотой вращения 1500 об/мин, с семью регенеративными отборами, с сепарацией и промежуточным паровым двухступенчатым перегревом отборным и свежим паром, без регулируемых отборов.

Многолетняя эксплуатация энергоблоков с ВВЭР-440 первого поколения показала их высокую надёжность, правильность выбранных проектных принципов обеспечения безопасности, что очевидно.

Заложенные в исходном проекте положительные свойства энергоблоков с ВВЭР-440 – значительная консервативность проекта и развитые свойства внутренней самозащищённости – соответствуют рекомендациям МАГАТЭ (INSAG-5 – документ международной группы по ядерной безопасности) для АЭС. С учётом развития нормативных требований к безопасности АЭС со второй половины 1980-х гг. на энергоблоках атомных станций реализуется принцип непрерывного поэтапного повышения безопасности за счёт модернизации.

Инженерно-техническая стратегия модернизации в целях повышения безопасности энергоблоков базируется на анализах их соответствия требованиям современных нормативных документов по безопасности, вероятностных анализа безопасности (ВАБ), анализах аварийных ситуаций и опыта эксплуатации. При планировании модернизации учитываются и рекомендации МАГАТЭ. Так, в 2018 г. 4-й энергоблок НВАЭС прошёл капитальный ремонт и был модернизирован, в результате чего срок эксплуатации продлён на 15 лет (табл. 2); 3-й энергоблок остановлен, в настоящее время разрабатывается проект на вывод его из эксплуатации.

В результате выполненных работ была существенно повышена безопасность энергоблоков №4 и №5 Нововоронежской АЭС. Частота повреждения активной зоны уменьшилась с $1,8 \cdot 10^{-5}$ до $3,44 \cdot 10^{-5}$ (энергоблок №3) и до $5,12 \cdot 10^{-5}$

(энергоблок №4) $\text{реактор}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$, значение показателя приблизилось к нормативному (НП-001-15 [25]).

Выполненные работы по обоснованию остаточного ресурса зданий, сооружений, систем и оборудования энергоблоков и углубленная оценка безопасности энергоблоков №3 и №4 НВАЭС показали возможность их дальнейшей безопасной эксплуатации в течение 15 лет. Это было сделано впервые в российской и мировой практике.

В рамках «Программы подготовки энергоблока №5 к дополнительному сроку эксплуатации» были проведены следующие организационные и инженерно-технические мероприятия:

- выполнены исследования экономической целесообразности продления срока эксплуатации энергоблока;
- проведена модернизация энергоблока с целью повышения безопасности;
- выполнен комплекс работ по обоснованию остаточного ресурса оборудования;
- произведена замена выработавшего ресурс оборудования;
- разработан отчет по углубленной оценке безопасности.

В итоге было обеспечено выполнение установленных требований по радиационному воздействию АЭС на персонал, население и окружающую среду при проектных и запроектных авариях.

Частота повреждения активной зоны в результате проведенных работ на энергоблоке стала соответствовать нормативной (НП-001-15 [25]) и стала отвечать рекомендациям МАГАТЭ (INSAG-12) – $9,4 \cdot 10^{-6} \text{ реактор}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$.

Обоснован остаточный ресурс элементов энергоблока, важных для безопасности, в том числе «незаменимых» элементов, на срок до 30 лет (корпус реактора на 26 лет). На основе критериев норм и правил в области использования атомной энергии обоснована безопасность энергоблока в период дополнительного срока эксплуатации, который продлен до 2036 г. (табл. 2).

В период модернизации 5-го энергоблока был проанализирован и учтён опыт аварии на АЭС Фукусима. В частности, выполнен расчёт сейсмостойкости строительных конструкций и оборудования энергоблока, смонтированы системы дожигания водорода в герметичной оболочке и система индустриальной антисейсмической защиты.

Для ликвидации запроектной аварии на НВАЭС применяются передвижные насосные установки для подачи воды в парогенераторы и передвижные дизель-генераторные установки.

Энергоблоки нового поколения проекта «АЭС-2006», который реализован при строительстве 6-го и 7-го блоков НВАЭС, соответствуют всем российским и международным требованиям безопасности. Отличительная черта данного проекта – усовершенствованная система безопасности. Она обеспечивает существенное преимущество проекта по характеристикам уровня безопасности.

По сравнению с серийными АЭС с реакторами ВВЭР-1000 в проекте «АЭС-2006» предусмотрены дополнительные системы безопасности (рис. 9):

- 1) вторая ступень гидроёмкостей пассивного охлаждения активной зоны;

- 2) система пассивного отвода тепла в атмосферу;
- 3) двойная защитная оболочка;
- 4) система пассивной фильтрации межоболочечного пространства;
- 5) система аварийного расхолаживания парогенераторов (замкнутый контур);
- 6) устройство локализации расплава.

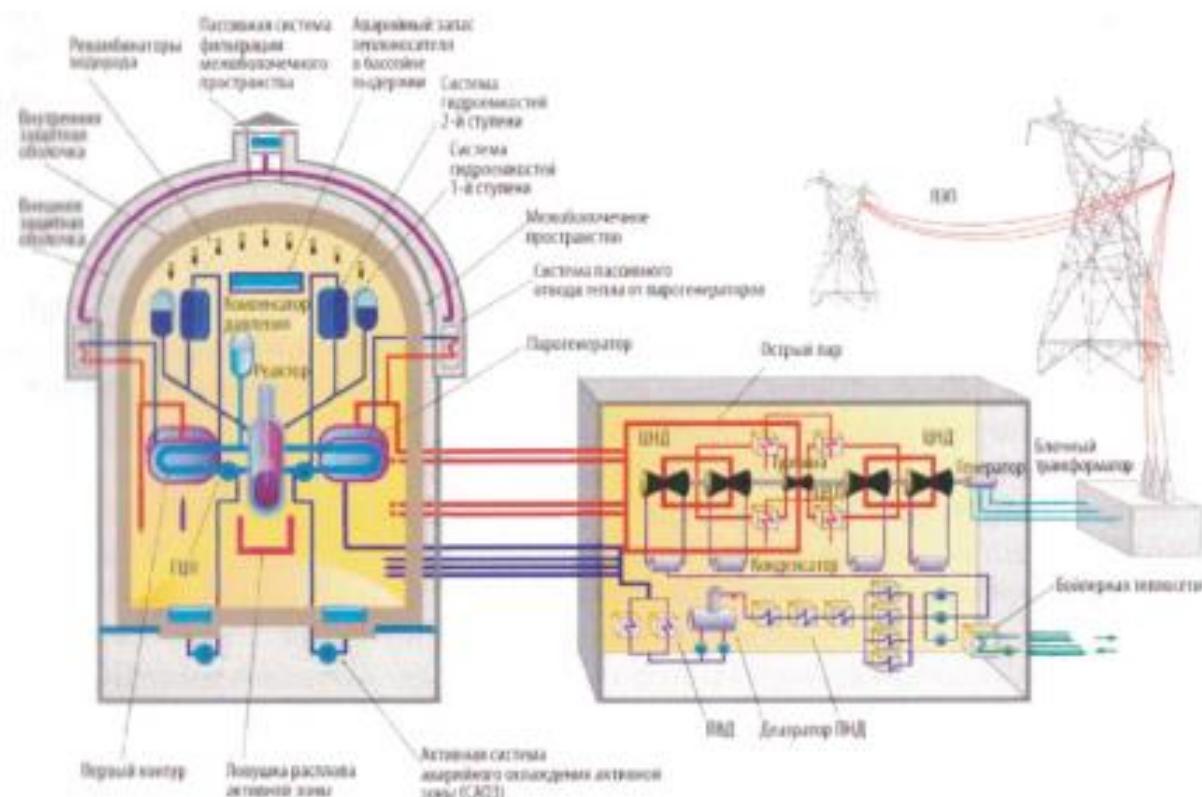


Рис. 9 – Схема энергоблока ВВЭР-1200 (проект «АЭС-2006» (РУ В-392М)) и системы безопасности.

Выдача генерирующей мощности Нововоронежской АЭС в Единую энергосистему России осуществляется через распределительные устройства ОРУ-110, 220, 500 кВ, ПС 500 кВ Новая и ПС 500 кВ Донская, по воздушным линиям (ВЛ) 110, 220, 500 кВ.

Распределительные устройства НВАЭС являются также узлом связи между энергосистемами ОДУ Центра и ОДУ Юга России, имеют связь с Донбасской энергосистемой НЭК «Укрэнерго».

Проектной документацией Нововоронежской АЭС предусмотрены технические средства для безопасного обращения с твёрдыми и жидкими радиоактивными отходами, образующимися при эксплуатации и выводе из эксплуатации энергоблоков.

Основную долю общего объёма твёрдых радиоактивных отходов (ТРО) – около 98 %, образующихся в процессе эксплуатации НВАЭС, составляют низко- и среднеактивные отходы.

Хранение ТРО производится в хранилищах, которые представляют собой

железобетонные сооружения, имеющие внутреннюю гидроизоляцию.

На Нововоронежской АЭС разработана и действует технологическая схема обращения с ТРО, предусматривающая их сбор, сортировку, переработку (прессование), транспортировку, временное хранение и отправку на захоронение в специализированные организации.

В последние годы была выполнена работа по совершенствованию системы обращения с твёрдыми радиоактивными отходами:

- введён в работу узел измерения активности, радионуклидного состава ТРО, что позволило повысить качество паспортизации ТРО и сократить объём образующихся ТРО. Например, бетон, образующийся в ходе модернизации работ и ранее относящийся к ТРО, стал подвергаться тщательной сортировке, что позволило отнести значительную его часть к нерадиоактивным отходам;
- создан новый узел сортировки твёрдых радиоактивных отходов в помещениях 1 – 2 блоков НВ АЭС, остановленных для вывода из эксплуатации;
- введены в работу установки для дезактивации ТРО, что позволило сократить объёмы образующихся твёрдых радиоактивных отходов, подготовить металлические ТРО к отправке на переработку в специализированные организации;
- создана установка электрохимической дезактивации (ЭХД);
- введён в работу комплекс беспылевой абразивно-струйной очистки (КБАС);
- смонтирован комплекс гидрорезный (КГР);
- сооружена ванна ультразвуковой дезактивации (УЗД);
- организована систематическая отправка образующихся металлических ТРО на переработку в специализированные организации (до 500 т/сжегодно);
- осуществлена замена установки прессования на более современную модель;
- внедрены комплекс плазменного сжигания радиоактивных отходов, комплекс извлечения ТРО из хранилищ.

Переработка ТРО производится экологически безопасным способом комплексом плазменной переработки РАО, прошедшим экологическую экспертизу.

В результате работы комплекса плазменной переработки объём ТРО значительно сокращён. Образующиеся вторичные отходы в виде твёрдого шлакового компаунда затариваются в невозвратные защитные контейнеры (НЗК).

Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), образующиеся на Нововоронежской АЭС, хранятся в емкостях из нержавеющей стали в помещениях, имеющих надёжную гидроизоляцию.

С помощью установок глубокого упаривания (УГУ) производится переработка ЖРО в солевой концентрат, который в горячем расплавленном состоянии заливается в металлические бочки, превращаясь после охлаждения в монолит, т.е. в твёрдые отходы. Это позволяет сокращать объёмы жидких радиоактивных отходов.

Металлические бочки хранятся до 30 лет в специальных хранилищах. По истечении указанного срока бочки затариваются в железобетонные контейнеры

типа НЗК, храниться в которых они могут до 300 лет, после чего, вследствие естественного распада радионуклидов, радиоактивные отходы становятся безопасны для окружающей среды и населения.

В последние годы проводится работа в части совершенствования системы обращения с ЖРО:

- введено в эксплуатацию новое хранилище ХТРО-10000, которое позволяет перевести в твёрдое состояние все имеющиеся на НВАЭС жидкие отходы;
- внедрены новые методы переработки ЖРО на основе ионоселективной очистки.

Для жидких нерадиоактивных отходов с энергоблоков №6 и №7 устроен специальный четырёхсекционный шламоотвал, который предназначен для приёма сточных вод и складирования отходов от зданий обессоливающих установок и сооружения нейтрализации сбросных вод на шламоотвале с последующим возвратом осветлённой воды в продувочные воды, в процессе производства глубоко химобессоленной воды (ХОВ) для нужд технологических систем энергоблоков №6 и №7 (проектное название: НВАЭС 4-й очереди).

Шламоотвал обеспечивает замкнутый цикл обращения с нерадиоактивными жидкими производственными отходами, образующимися при эксплуатации общестанционных систем, и снижающим воздействия НВАЭС 4-й очереди на окружающую среду в части ограничения сбросов солевых стоков в водные объекты (р. Дон) и твёрдых отходов в виде шлама на полигоны промышленных отходов.

Шламоотвал представляет собой гидротехническое сооружение равнинного типа, сооружаемый из насыпного грунта путём отсыпки дамб, образующих открытые объёмные карты-секции типа искусственных водоёмов. Площадь карт шламоотвала: 1 карта – 8,27 га, 2 карта – 2,79 га, 3 карта – 0,32 га, 4 карта – 0,043 га.

Карты-секции шламоотвала имеют противофильтрационный экран в виде покрытия из гидротехнического асфальтобетона, с дренажной прослойкой, которое устраивается по днищу и внутренним откосам секций.

Для контроля за состоянием противофильтрационного экрана по периметру шламоотвала осуществлена установка контрольных скважин. Шламоотвал технологических связей с радиоактивными средами не имеет.

По дну и откосам карт устроен асфальтобетонный экран. Экран выполнен из двух слоёв асфальтобетона толщиной 50 мм каждый. Экран уложен на подготовку, состоящую из слоя щебня фракцией 5 + 20 мм толщиной 15 см, и слоя среднезернистого песка толщиной 15 см. Основание и песчаная подготовка обработаны гербицидами. Поверх асфальтового покрытия нанесён слой битума с присыпкой крупнозернистым песком. Покрытие из гидротехнического асфальтобетона, с дренажной прослойкой, которое устраивается по днищу и внутренним откосам секций, полностью исключает попадание загрязнённых шламовых вод в грунтовые воды.

Карта-секция №1 с расположенным объемом заполнения 258 тыс. м³ предназначена для приёма содержащих шлам нерадиоактивных продувочных

вод осветлителей химвodoочистки и приёма нерадиоактивного шлама, собираемого при промывке трубопроводов турбинного отделения станции после завершения их монтажа перед пуском 4-й очереди НВАЭС. Шламовые воды от химвodoочистки содержат взвешенные вещества, состоящие из окислов алюминия (соль сернокислого алюминия используется в качестве коагулянта в технологии очистки исходной воды из р. Дон) и веществ, которые извлекаются из речной воды при коагуляции в осветлителях (гумусы – органические вещества, твёрдые частицы песка, глины, водоросли и т.д.). Количество шламовых вод, поступающих на карту №1 шламоотвала от ХВО, по проекту – до 14 тыс. м³ в год с содержанием взвешенных веществ до 20 г/м³ (максимально), солесодержанием до 570 мг/л (максимально) и pH = 6,5 ± 7,5. Шламовые воды от послемонтажных промывок трубопроводов содержат металлическую окалину, сварочный грат, окислы железа (ржавчину). После поступления шламосодержащих вод на карту-секцию №1, содержащийся в ней шлам отстаивается (оседает на дно), а сброс осветлённой воды с верхнего слоя осуществляется через шахтные колодцы из металлического профиля на бетонном основании в насосную станцию перекачки осветлённой воды и по мере необходимости, откачивается насосами (устанавливаются в здании насосной станции откачки осветлённой воды) в систему нейтрализованной воды. Собранный на карте №1 твёрдый шлам в виде осадка хранится в объёме карты в течение всего срока службы объекта.

Карта-секция №2 шламоотвала (единого комплекса гидротехнических сооружений) с располагаемым объёмом заполнения 105,8 тыс. м³ предназначена для приёма и хранения нерадиоактивных нейтрализованных вод от регенерации ионообменных фильтров химвodoочистки, нейтрализованных вод от регенерации ионообменных фильтров автономной обессоливающей установки и фильтров очистки продувочной воды второго контура энергоблока из парогенераторов. Регенерационные воды от установок очистки воды содержат в своём составе соли химических веществ, которые извлекаются из воды р. Дон при очистке воды на ионообменных фильтрах и удаляются из фильтров в ходе проведения технологических операций по регенерации смолы в фильтрах растворами кислоты или щёлочи. Направляемые на карту №2 шламоотвала регенерационные воды предварительно на узлах нейтрализации установок водоподготовки подвергаются нейтрализации путём добавления в эти воды необходимого количества кислоты или щёлочи для создания pH воды на уровне 8,5 ед. Собранный на карте №2 солевой концентрат не используется и хранится в объёме карты в течение всего срока службы объекта. Так как, с карты №2 отсутствует выход стоков в окружающую среду (связь с водными источниками отсутствует), то нормирование показателей качества для поступающих на карту нейтрализованных регенерационных вод нормативными документами и проектом не предусматривается.

Карта-секция №3 шламоотвала с располагаемым объёмом заполнения 7,3 тыс. м³ предназначена для приёма и хранения сухих нерадиоактивных отработанных ионообменных смол из фильтров установок очистки воды. Ионообменные смолы – специальные полимерные материалы, которые обладают

свойствами извлечения из воды, которая пропускается через их слой, различных химических веществ – катионов и анионов, растворённых в воде солей, что является основой технологии очистки воды методом ионного обмена. Ионообменные смолы при работе в фильтрах водоочистки имеют определённый срок службы (до 10 лет), по истечении которого требуется замена рабочего материала на новый. Ионообменные смолы из фильтров установки химводоочистки (очистка исходной воды р. Дон для технологических нужд НВАЭС 4-й очереди), из фильтров автономной обессоливающей установки (очистка конденсата турбинного отделения) и фильтров очистки продувочной воды второго контура из парогенераторов по истечению установленного срока службы будут выгружаться из фильтров указанных установок и доставляться автотранспортом на шламоотвал для складирования в ячейке №3 и хранения в течение всего срока службы НВАЭС 4-й очереди.

Карта-секция №4 шламоотвала с располагаемым объёмом заполнения 150 м³ предназначена для приёма и хранения в ней нефтесодержащего шлама. Энергетическое производство предусматривает применение широкого спектра жидкых продуктов нефтепереработки – масел (турбинного, изоляционного, индустриального, компрессорного), смазок, дизельного топлива и др. Учитывая жёсткие требования по допустимому содержанию нефтепродуктов в сбросах технологических объектов в открытые водные источники, на 4-й очереди НВАЭС предусмотрены очистные сооружения нефтесодержащих вод станции. Нефтесодержащий шлам, являющийся отходом технологического процесса утилизации очистных сооружений, требует специальной переработки или хранения в специальных условиях. Учитывая незначительные объёмы нефтесодержащих вод на 4-й очереди НВАЭС, переработка нефтесодержащих шламов экономически не выгодна. Поэтому, проектом предусматривается периодический вывоз автотранспортом нефтесодержащего шлама с очистных сооружений на шламоотвал и хранение его в ячейке №4 без ущерба для окружающей среды.

В итоге, сброс дебалансных вод в водоёмы или в р. Дон не производится.

В целях снижения потенциальных радиационных рисков для персонала и населения нормативно введены санитарно-защитные зоны (СЗЗ) и зоны наблюдения (ЗН) [10, 11].

Под санитарно-защитной зоной для радиационно-опасных объектов (РОО) принято понимать территорию вокруг источников радиоактивных выбросов (РВ), где в условиях нормальной эксплуатации (безаварийная работа) может быть превышен предел установленной дозы (ПД) облучения, на этой территории устанавливаются ограничения (запрещается проживание), обязательно проходит радиационный контроль.

Под зоной наблюдения принято понимать территорию, выходящую за СЗЗ, где облучение у проживающего населения может достигать ПД. В этой зоне проводится радиационный контроль.

Определение СЗЗ и ЗН производится согласно имеющихся нормативных методических рекомендаций [11].

В 2017 г. зона наблюдения для НВАЭС была пересмотрена – сократилась

в радиусе с 30 до 20 км (рис. 10) согласно ОСПОРБ-99/2010 [12]. Об этом сообщено региональным органом власти по природопользованию и экологии в радиационно-гигиеническом паспорте территории Воронежской области за 2018 г. [13].

Подтверждением надлежащего уровня экологической безопасности является у Нововоронежской АЭС:

- сертификата DQS (регистрационный №477507 UM от 20.06.2012) соответствия требованиям ISO 14001:2004;
- сертификата IQNet (регистрационный №DE-477507 UM от 20.06.2012) соответствия требованиям ISO 14001:2004;
- экологического сертификата соответствия требованиям ГОСТ Р ИСО 14001-2007 и НД 7-2000 Системы обязательной сертификации по экологическим требованиям.



Рис. 10 – Зона наблюдения НВАЭС радиусом 20 км взамен существовавшей ранее 30-км ЗН.

3. Характеристика природных условий места расположения НВАЭС и её радиоэкологический аспект.

Промплощадка Нововоронежской АЭС находится в 28 км юго-восточнее проектной границы городской застройки г. Воронежа и в 35 км юго-западнее райцентра с. Каширское. На север от промплощадки на расстоянии 5 км расположен посёлок энергетиков г. Нововоронеж. Юго-восточнее промплощадки на расстоянии 45 км расположен районный центр г. Лиски.

Зона наблюдения захватывает правобережную часть Дона и левобережную. Характерной чертой низменной и правобережной частей зоны наблюдения является меридиональное направление водотоков (временных и постоянных) и водоразделов. Возвышенное правобережье Дона зоны наблюдения НВАЭС представляет собой сильно расчленённое долиной и балочной сетью плато, превратившееся благодаря этому расчленению в резко волнистую возвышенную равнину. Высоты водоразделов здесь достигают 200 м БС.

Слоны долины Дона, особенно левобережная, имеют ясно выраженные террасы. Распространёнными формами рельефа в рассматриваемой зоне являются балки. Поверхностные воды в основном сосредоточены в зоне наблюдения НВАЭС в главной реке – Дону, имеются прирусловые искусственно созданные водоёмы: пруд-охладитель 5-го блока НВАЭС, прудовое хозяйство южнее по реке НВАЭС. Долина реки Дон на рассматриваемом участке широкая, достигает 2 + 3 км.

Промплощадка НВАЭС расположена на низменной левобережной части реки Дон. Рельеф участка спокойный, относительно ровный с общим понижением к западу в сторону долины реки Дон. В естественных условиях участок производственной площадки имеет абсолютные отметки от 96,2 до 100,0 м. В процессе строительства территория спланирована. Абсолютная отметка планировки площадки – 96,3 м. Пустоты, карсты, выработки под объектом отсутствуют. Водоёмов, лесных массивов, заболоченных участков вблизи производственной площадки нет.

Естественным основанием фундаментов служат известняки, перекрытые достаточно мощным (2,5 + 6,0 м) слоем водоупорных пород.

Уровень грунтовых вод на участке отмечен на глубине 10 + 50 м. Результаты режимных наблюдений за подземными водами показывают очень малое значение градиента вертикальной фильтрации подземных вод и практически исключает возможность фильтрационных деформаций в грунтах оснований зданий и сооружений.

В 2011 г. было организовано централизованное водоснабжение крупных объектов НВАЭС за счёт ввода в эксплуатацию Каменно-Верховского месторождения с запасами 36,8 тыс. м³/сут. на верхнедевонский водоносный комплекс. Водоотбор составил 3,432 тыс. м³/сут. Наблюдательная сеть на водозаборе отсутствует, так как наблюдательные скважины, оставшиеся после разведки, были уничтожены при строительстве водозабора [14].

Изменение уровней подземных вод на участках водозаборов в районе г. Нововоронежа определялось динамикой водоотбора (рис. 11).

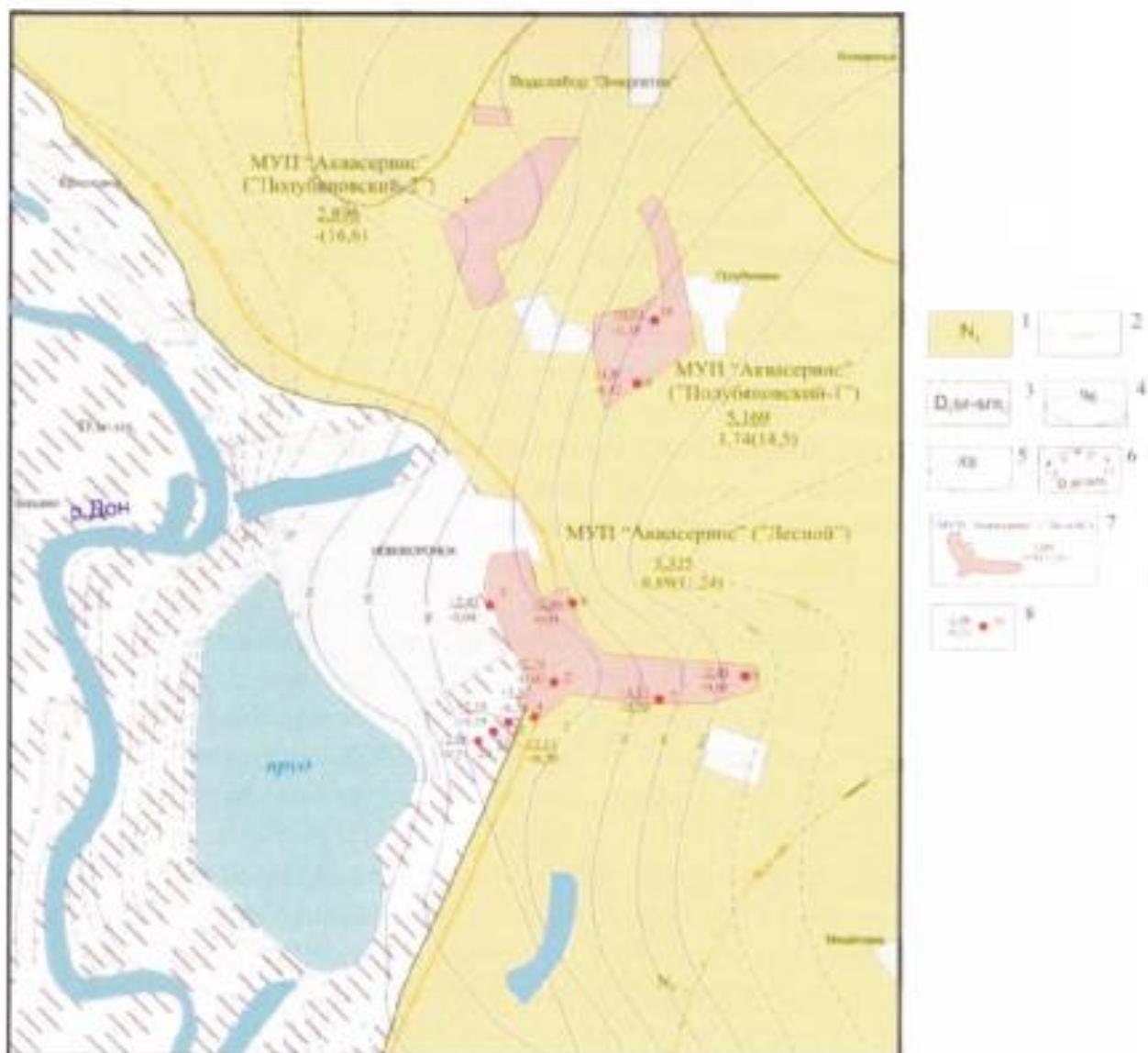


Рис. 11 – Схематическая карта условий эксплуатации неоген-четвертичного водоносного комплекса района г. Нововоронеж:

- 1 – водоносный плиоценовый терригенный комплекс;
 2 – водоупорный верхнесемилукский терригенный горизонт;
 3 – слабоводоносный локально водоносный саргаевско-
 нижнесемилукский карбонатный комплекс; 4 – гидроизогипсы
 (в метрах абр.в.); 5 – то же предполагаемые гидроизогипсы;
 6 – участки развития напорных вод; 7 – группа водозаборных
 скважин, вверху – название водозaborа, цифры в числителе –
 суммарный дебит (тыс. м³/сут.), в знаменателе – фактическое
 понижение уровня на 2011 г., в скобках допустимое понижение;
 8 – наблюдательная скважина – цифры справа – её номер,
 слева – в числителе – общее снижение (–) или повышение (+)
 уровня от первоначального, в знаменателе – снижение (–)
 или повышение (+) уровня за 2011 г.

Водоносные горизонты и комплексы девона гидравлически связаны с вышележащим неоген-четвертичным водоносным комплексом и, следовательно, уровни подземных вод в нижележащих горизонтах и комплексах также как и в неоген-четвертичном комплексе начали восстанавливаться.

Схема «Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации» (ОСР-2015), определяет для района расположения площадки НВ АЭС интенсивность сотрясений в 6 баллов не чаще, чем раз в 5000 лет.

Воронежская область, на территории которой расположена НВАЭС, находится в зоне умеренно континентального климата. Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*» территория размещения НВ АЭС относится к II климатическому району, II В подрайону, характеризующемуся следующими показателями:

- температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92: -29°C ;
- температура наиболее холодных пятидневки обеспеченностью 0,92: -24°C ;
- абсолютная минимальная температура воздуха: -37°C ;
- абсолютная максимальная температура воздуха: $+41^{\circ}\text{C}$;
- среднегодовая температура воздуха: $+6,6^{\circ}\text{C}$;
- средняя температура самого холодного месяца (января): $-7,5^{\circ}\text{C}$;
- средняя температура самого тёплого месяца (июля): $+20,1^{\circ}\text{C}$;
- количество осадков:
 - а) за ноябрь-март 201 мм;
 - б) за апрель-октябрь 370 мм.

В месте расположения площадки НВ АЭС преобладающее направление ветра:

- а) декабрь-февраль западное;
- б) июнь-август западное.

Продолжительность периода со среднесуточной температурой ниже либо равной 0°C для рассматриваемой территории 130 суток.

Среднее число дней в году с сильным ветром (равным и более 15 м/с) – 14 дней, наибольшее – 33 дня. Расчётная максимальная скорость ветра, возможная 1 раз в 10 тыс. лет равна 48 м/с и 56 м/с с учётом порывов. Годовая вероятность прохождения смерча для любой расчётной точки в пределах площадки НВ АЭС составляет $7,7 \cdot 10^{-6}$.

Относительная влажность воздуха в среднем за год составляет 74 %. Наибольшая среднемесячная относительная влажность воздуха отмечается в холодный период года (декабрь) – 86 %, тёплый период (май) – 59 %.

Средняя месячная относительная влажность воздуха в 13 часов дня для наиболее холодного месяца – 76 %, для наиболее жаркого – 50 %.

Коэффициенты, определяющие условия рассеивания, согласно ОНД-86 для выполнения расчёта рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере:

- коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы – 160;
- коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности – рельеф юго-западного района ровный и спокойный – 1;

* безразмерный коэффициент (учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере) для газообразных выбросов – 1,0; для твёрдых с очисткой – 2,0; для твёрдых без очистки – 3,0.

В зоне наблюдения НВ АЭС большую часть года преобладает западный ветер – 22 %, обеспеченность на рис. 12 определена без учёта штиля, что удобно для последующего определения радиационных рисков для населения по наихудшему сценарию; роза ветров определена по метеостанции, обслуживающей НВАЭС.

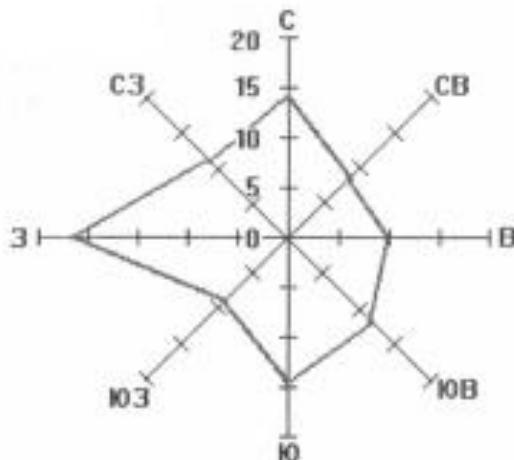


Рис. 12 – Роза ветров для г. Нововоронеж.

Средняя годовая скорость ветра составляет 4,8 м/с; минимальный ветер наблюдается летом 0 + 3 м/с (июль – август), среднее годовое число штилей – 10 %. Отмечается существенная зависимость скорости ветра от местных условий, так как зона наблюдения рассекается поймой большой реки Дон фактически по середине.

Во время половодья уже при 50 % обеспеченности пойма реки Дон в зоне наблюдения полностью затапливается. В потенциальной зоне затопления находятся следующие населённые пункты, располагающиеся в зоне наблюдения: с. Борщёво Хохольского района, отдельные строения микрорайона Северный г. Нововоронежа, с. Архангельское Хохольского района.

Половодья последних более чем двух десятков лет не являются многоводными, за это время обеспеченность не была меньше 50 % на рассматриваемом участке. При 1 % обеспеченности расчётный подъём уровня воды во время половодья составляет 10,7 м относительно летней межени (81,0 м БС). 2020 г. отметил уникальным явлением, Воронежским гидрометеоцентром ранее не фиксированным. На гидропосту «Гремячье», находящемся выше по реке от г. Нововоронеж на 25 км сразу после зимней межени началось понижение уровня воды в Дону, т.е. половодья в 2020 г. на рассматриваемом участке реки фактически не было; ледовый покров также не сформировался ввиду аномально тёплой зимы, ранее не наблюдавшейся в Воронежской области.

Территория промышленной площадки НВАЭС имеет прямоугольную форму, вытянутую параллельно р. Дон. Территория на севере примыкает к пруду-охладителю 5 блока и лесному массиву, на юге к сосновым лесопосадкам.

кам, на западе к левобережной пойме р. Дон, на востоке к атомной станции примыкает посаженный сосновый лес на глубину 2,5 ÷ 3 км.

Ближайший крупный населённый пункт – город атомщиков Новоронеж (проживает 36 тыс. чел.) расположен на расстоянии 5 км на север от промплощадки НВАЭС.

Санитарно-защитная зона представляет собой объединение двух окружностей (рис. 13): одна – с радиусом 2,25 км от венттрубы 3,4-х блоков, другая – с радиусом 2,0 км от венттрубы 5-го энергоблока; площадь данной объединённой СЗЗ составляет 18 км². У построенных в последние годы 6, 7-х блоков НВАЭС санитарно-защитная зона находится в границах объединённой промплощадки этих блоков, её площадь – 76,79 га. Зона наблюдения, как указывалось выше, имеет радиус 20 км от НВАЭС (рис. 10).

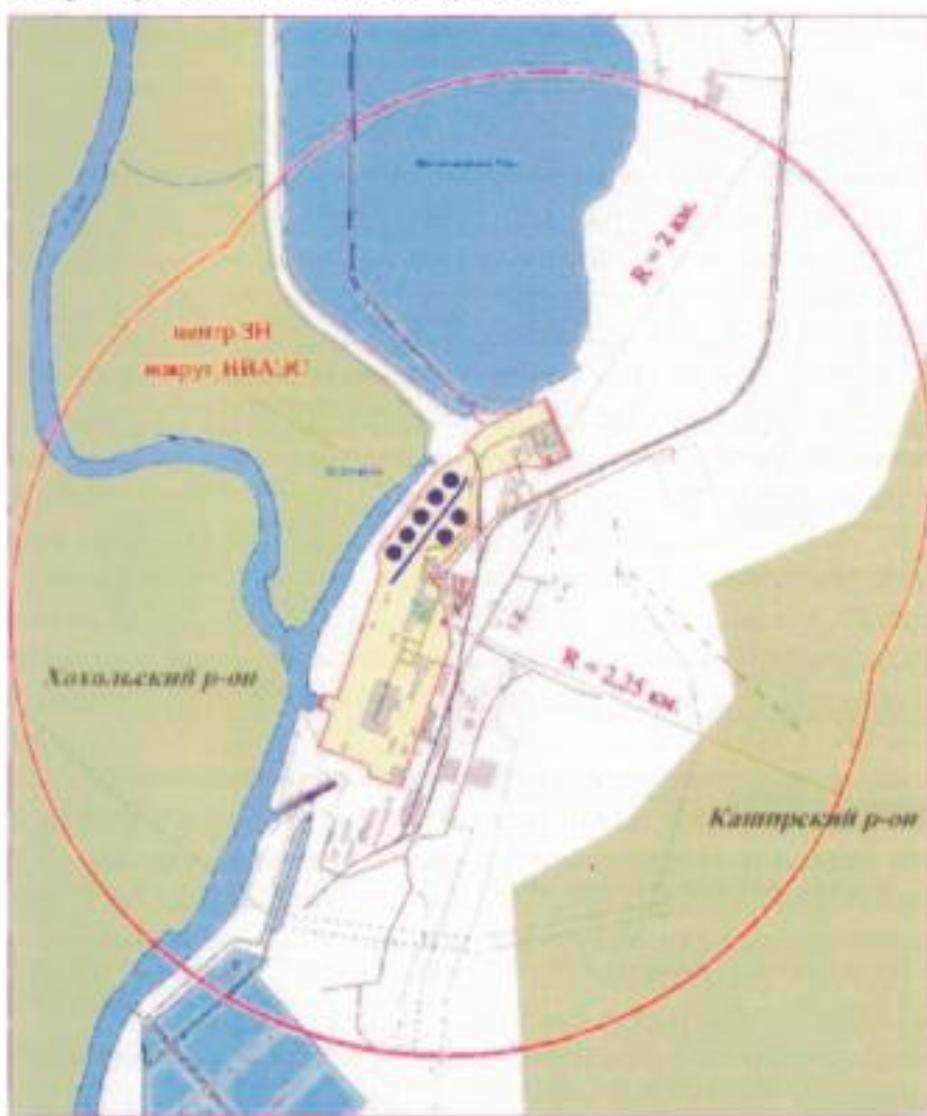


Рис. 13 – Расположение санитарно-защитной зоны НВ АЭС.

Для атомных станций существуют рекомендации МАГАТЭ [15, 16], в соответствии с которыми устанавливаются аварийные зоны и аварийные расстояния для проведения соответствующих превентивных мер в зависимости от

близости к АЭС (табл. 2).

Нововоронежская АЭС рассматривает максимальное аварийное расстояние до 100 км в соответствии с упомянутыми рекомендациями МАГАТЭ. По этой причине целесообразно дать лесную и природно-почвенную характеристику зоне, соответствующей радиусу 100 км согласно табл. 3.

Таблица 3

Аварийные зоны и аварийные расстояния для АЭС

<i>Аварийные зоны</i>	<i>Радиус</i>
Зона предупредительных мер (ЗПМ)	от 3 до 5 км
Зона планирования срочных защитных мер (ЗПСМ)	от 15 до 30 км
<i>Аварийные расстояния</i>	<i>Протяжённость</i>
Расстояния для расширенного планирования (РРП)	до 100 км
Расстояние для планирования мер в отношении продуктов питания и товаров (РППТ)	до 300 км

Территория, ограниченная аварийным расстоянием находится в лесостепной зоне. Дубравы сохранились небольшими островами в основном приурочены к долинам рек, например, Шипов лес расположен на водоразделе по правобережью р. Осередь. По песчаным террасам рек сохранились сосновые боры. Наиболее крупные из них – Куликовский и Графский – тянутся вдоль рек Воронеж и Усмань, Хреновский – по р. Битюг.

Лесные пожары 2010 г. фактически уничтожили сосновые леса, расположенные вдоль реки Дон от Воронежа до самого г. Нововоронежа и далее местами на больших площадях. Всего в Воронежской области в этом аномальном году произошло 995 лесных пожара на общей площади 20,4 тыс. га, в том числе верховыми по оперативным сводкам – 12,6 тыс. га, после окончательных обмеров – 15 тыс. га. Восстановление лесов происходит медленно, не все саженцы приживаются, например, почва вдоль реки Дон на левом берегу является песчаной от мкр. Малышево г.о.г. Воронеж вниз по течению на 150 км.

Большая часть зоны, ограниченная аварийным расстоянием в 100 км, распахана, нетронутые участки остались только на неудобьях овражно-балочной сети.

Главное направление региональной политики – обеспечить устойчивые поставки сельхозпродукции на внутренний и международный рынок. Воронежская область занимает ведущее место в сельхозпроизводстве страны. Из полевых земледельческих культур преобладают следующие: озимая и яровая пшеница, овес, ячмень, гречиха, кукуруза, просо; из зернобобовых – горох; из технических культур – сахарная свекла, подсолнечник, картофель, который идёт в основном на обеспечение населения Воронежской области.

Почвенный покров рассматриваемой территории, ограниченной аварийным расстоянием в 100 км в основном относится к зоне типичных чернозёмов. В действительности же картина распространения почв сложная: большое количество разностей и сложностей. Зона полностью либо частично захватывает районы Воронежской области (рис. 14): Нижнедевицкий, Семилукский, Рамонский, Верхнекавский, Панинский, Новоусманский, Аннинский, Таловский, Бобровский, Бутурлиновский, Лискинский, Каширский, Павловский, Подгорен-

ский, Ольховатский, Каменский, Острогожский, Репьевский, Хохольский. Чернозёмы покрывают практически все районы, имея лишь некоторое разнообразие – выщелоченные, обыкновенные, типичные.

Механический состав почв чаще всего глинистый или тяжёлосуглинистый.

На рассматриваемой территории получила распространение водная эрозия почвы. Она проявляется как в плоскостной форме, когда происходит смыв почвы и уменьшение гумусового горизонта, так и в линейной форме – размыв почвы, образование промоин и оврагов.

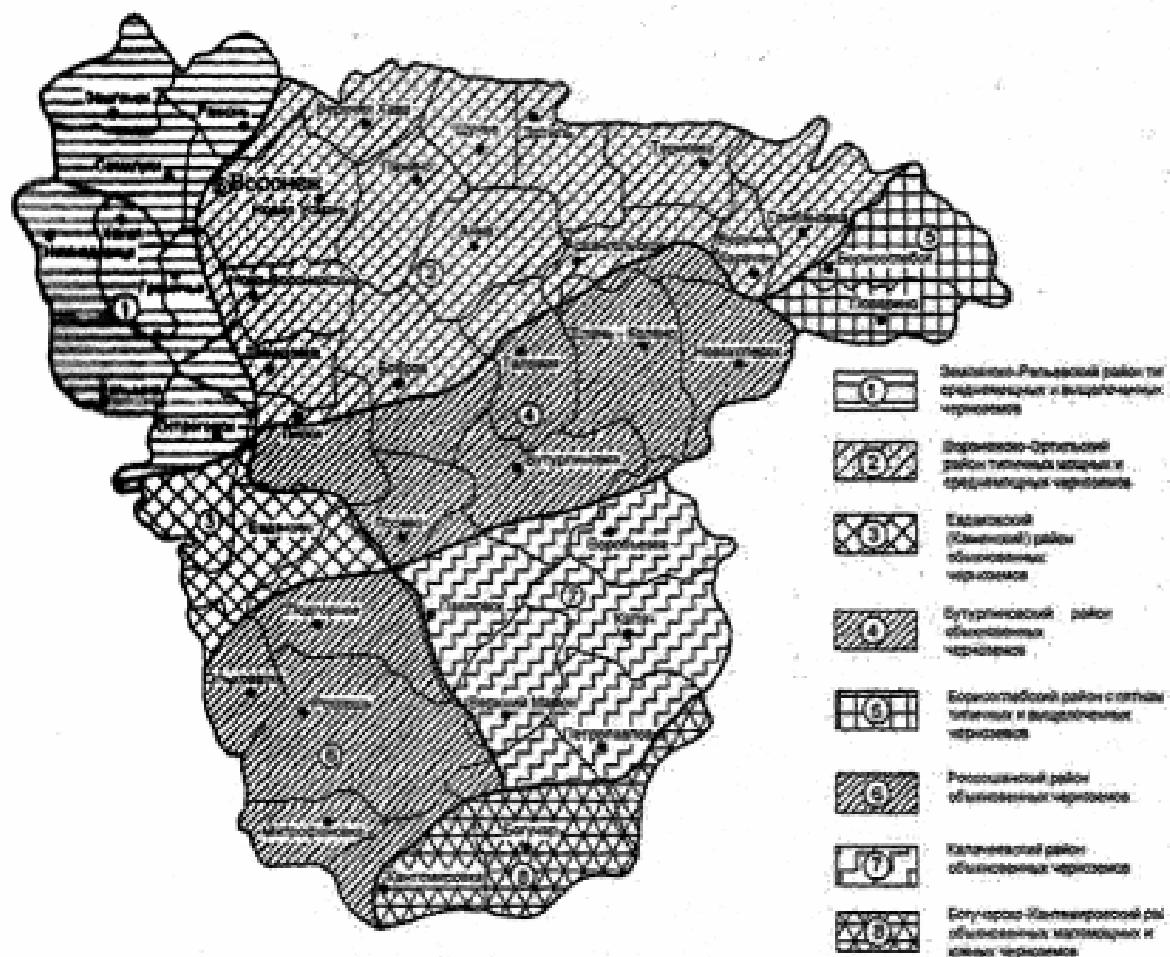


Рис. 14 – Земельное зонирование Воронежской области.

Рассматривая потенциальную возможность аварийной ситуации на НВАЭС нельзя не сказать о неблагоприятных погодных условиях, которые могут возникнуть во время выполнения защитных противорадиационных мероприятий в отношении продуктов питания и товарного растениеводческого сельхозсырья.

К неблагоприятным метеорологическим явлениям, наносящим значительный ущерб сельскохозяйственному производству, относятся заморозки, засухи, суховеи, сильные ветры, ливни и град, которые на территории области наблюдаются сравнительно редко (табл. 4 – в таблицу включены только рассматриваемые сельскохозяйственные районы), но вред, наносимый ими сельскохозяйственным культурам бывает очень велик. Например, в 1951 г. за период

с мая по август градом было уничтожено более 11 тыс. га разных сельскохозяйственных культур; заморозки 3 – 4 июня 1967 г. привели к гибели различных сельскохозяйственных культур на площади около 364 тыс. га; сильные ветры, пронёсшиеся по территории области, 21 – 22 мая 1969 г. вызвали выдувание растений сахарной свеклы на площади около 38,5 тыс. га [17].

Число дней с неблагоприятными явлениями в табл. 4 дано в десятых долях. Например, число дней с явлением 0,3 означает, что в данном месяце оно наблюдалось 3 года из 10.

Таблица 4

Число дней с неблагоприятными явлениями погоды в период вегетации сельскохозяйственных культур (по месяцам)

		Период вегетации					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
Нижнедевицк	Град	0,2	0,9	0,2	0,4	0,4	0,2
	Сильный ветер (≥ 15 м/сек)	1,8	3,0	1,6	1,5	1,7	1,2
	Пыльные бури	0,05	0,0	0,2	0,05	0,2	0,05
Каменная Степь	Град	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3
	Сильный ветер (≥ 15 м/сек)	1,0	0,8	0,6	0,2	0,3	0,2
	Пыльные бури	0,0	0,1	0,1	0,0	0,04	0,1
Острогожск	Град	0,1	0,6	0,1	0,2	0,1	0,03
	Сильный ветер (≥ 15 м/сек)	0,4	0,5	0,2	0,1	0,6	0,1
	Пыльные бури	0,1	0,1	0,1	0,04	0,1	0,04

В весенний период оттаивание почвы, её просыхание и прогревание оказывают большое влияние на сроки начала полевых работ и время сева сельскохозяйственных культур.

Снеготаяние на территории области начинается, по средним многолетним данным, в конце февраля – начале марта, в ранние тёплые весны – в конце января – начале февраля, а поздние холодные – в начале апреля. Средняя продолжительность таяния снега от 19 до 26 дней.

Сход устойчивого снежного покрова наблюдается в третьей декаде марта, что почти совпадает с переходом средней суточной температуры воздуха через 0 °С. Самый ранний сход снежного покрова фиксировался до произошедших климатических изменений в XXI веке в середине февраля на юге, а самый поздний – в третьей декаде апреля на севере области. В аномальном 2020 г. устойчивый снежный покров так и не образовался, реки оставались открытыми (без ледостава) практически всю зиму. Яркий факт свидетельства происходящих климатических изменений.

Статистически до настоящего времени считается: колебание дат схода устойчивого снежного покрова из года в год довольно велико. Для рассматриваемой территории Воронежской области, ограниченной аварийным расстоянием от НВ АЭС на дистанцию 100 км, при средней дате 25 – 31 марта в 10 % лет снег сходит до 8 – 16 марта, а в 90 % лет – до 8 – 10 апреля.

Через один-два дня после схода снежного покрова начинается оттаивание почвы. До глубины 10 см почва оттаивает в конце марта – начале апреля, а до глубины 30 см – в первой декаде апреля. На рассматриваемой территории на

полную глубину почва оттаивает в начале второй декады апреля. Самое раннее оттаивание отмечалось в конце первой декады марта (1966, 2020 гг.) наиболее позднее – в первой декаде мая (1963 г.).

После оттаивания верхних слоёв почвы просыхание её в значительной степени определяет условия обработки. Наиболее качественна и производительна работа сельхозорудий при мягкопластичном состоянии почвы, которое наступает во второй декаде апреля, через три–пять дней после устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С. Один раз в 10 лет благоприятные условия для проведения полевых работ могут складываться на лекцию раньше или позже средних сроков.

Продолжительность периода от схода снежного покрова до наступления мягкопластичного состояния почвы составляет 18 – 25 дней. При дружной весне этот период сокращается до 4 – 6 дней, а при холодной затяжной увеличивается до 44 – 53 дней [17].

Исходя из этих особенностей и создаётся природный радиационный фон.

Природный радиационный фон, его ещё часто называют естественным, обуславливается наличием естественных источников ионизирующего излучения (ИИ): космическое излучение, излучение от естественных радионуклидов, находящихся и рассеянных в атмосфере, литосфере, гидросфере, также часто происходит излучение от биологических агентов, которые могут накапливать в своих организмах радионуклиды.

Космическое излучение обусловлено, прежде всего, Солнцем – ближайшей звездой, где происходят термоядерные реакции. Приповерхностное излучение на Земле, где, собственно говоря, проживают люди, формируется также излучениями от всех перечисленных сред: в атмосфере возникает вторичное излучение при взаимодействии потоков заряженных частиц с воздухом; в геологической среде – грунты, почвы; в гидросфере – в результате вымывания водой радиоактивных элементов из приповерхностной геосреды и почв.

Обычно природное гамма-излучение на высоте 1 метр над дневной поверхностью находится в диапазоне 10 – 15 мкР/ч, однако иногда природный радиационный фон достигает 25 мкР/ч.

В качестве примера для региона, чернозём имеет следующую концентрацию некоторых радионуклидов в почве Кг/г: $^{40}\text{K} = 11 \cdot 10^{-12}$; $^{238}\text{U} = 0,58 \cdot 10^{-12}$; $^{232}\text{Th} = 0,97 \cdot 10^{-12}$; мощность поглощённой дозы – 5,1 мкРад/ч [18].

При рассмотрении природного радиационного фона целесообразно раскрыть специфику содержания радиоактивных элементов в геосреде: они многочисленны с порядковыми номерами от 81 до 96, постоянно превращаются в другие изотопы в результате α - и β -распада. Общую цепь таких превращений называют радиоактивным рядом или семейством, их 4-е: урана-радия, тория, актиния, нептуния.

Периоды полураспада этих семейств огромны в сравнении с существованием человечества на Земле, просто не поддаются сопоставлению (табл. 5), в отличие техногенных радионуклидов, о чём будет говориться далее.

По результатам радиоизмерений в приповерхностной коре Земли (например, используя промысловые глубокие скважины нефти и газа) установлено

[18], что торий-232 со времени акреации почти полностью сохранился в Земле – период полураспада 14 млрд. лет, для сравнения, время существования планеты Земля примерно 4,5 млрд. лет. Уран распался к сегодняшнему дню: ^{238}U – подавляющая часть, ^{235}U – почти полностью. Нептуний к настоящему времени весь распался.

Таблица 5

Родоначальники в геологической среде
естественных радиоактивных семейств

Родоначальник семейства	Период полураспада $T_{\text{физ.}}$, годы
Торий-232	$1,4 \cdot 10^{10}$
Уран-238	$4,51 \cdot 10^9$
Уран-235	$7,13 \cdot 10^8$
Нептуний-232	$2,2 \cdot 10^6$

Современное соотношение перечисленных радиоактивных семейств (относительно тория):

$$^{232}\text{Th} : ^{238}\text{U} : ^{235}\text{U} : ^{232}\text{Np} = 1 : 5 \cdot 10^{-2} : 3,6 \cdot 10^{-4} : 0.$$

В радиоэкологии пользуются картой районирования территории России по величине природной радиации – эффективной дозе облучения населения в год от природной радиоактивности (рис. 15).

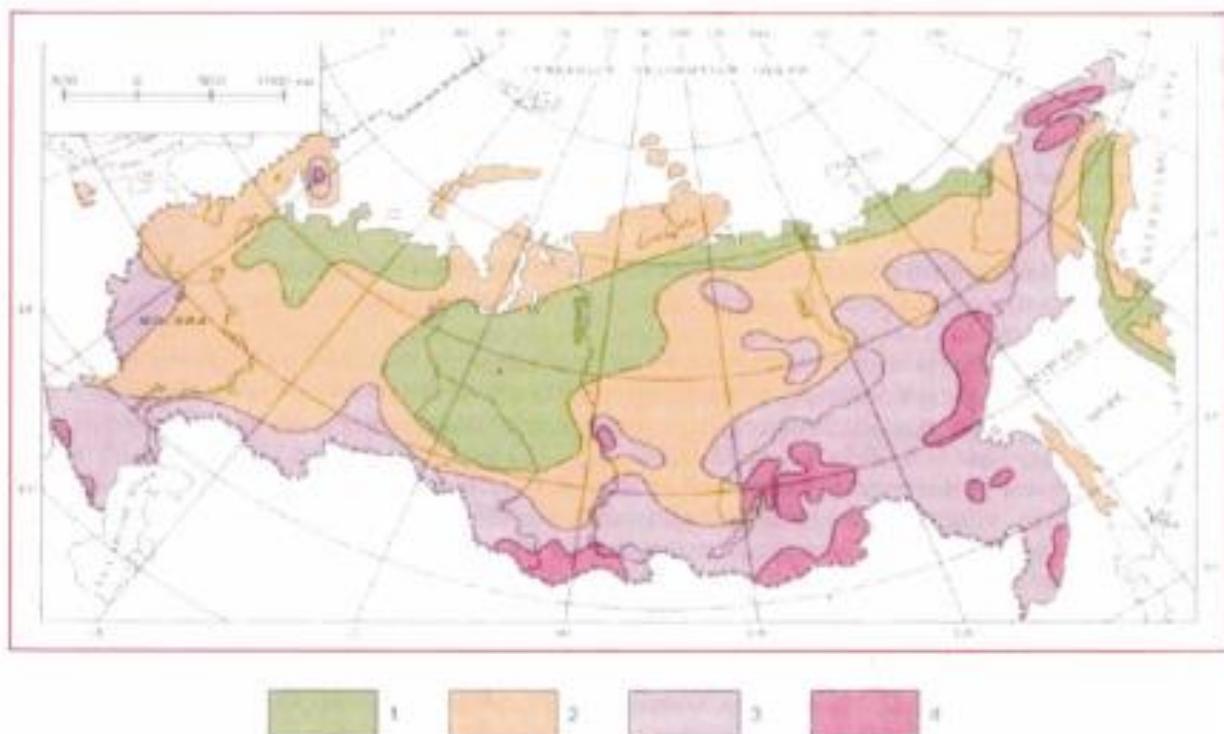


Рис. 15 – Районирование территории России по эффективной дозе облучения населения в год от природной радиоактивности, $\times 10^{-2}$ мЗв/год:

1 – пониженной (до 60); 2 – умеренной (до 60 ÷ 90);
3 – повышенной (до 90 ÷ 135); 4 – высокой (до 135 ÷ 500).

Согласно НРБ-99/2009 эффективная доза облучения природными источниками должна быть менее 5 мЗв в год, что собственно говоря, не превышает максимальных значений природной радиации (рис. 15). Воронежская область находится в 3-й и 2-й зонах, т.е. для проживающих здесь людей природная радиоактивность имеет приемлемую величину.

Основным источником природного радиоактивного фона является радон в виде нуклидов: ^{222}Rn и ^{220}Rn . Газообразный радионуклид радон изначально является продуктом распада радия. Вклад радона в среднюю коллективную дозу достигает в Воронежской области за 2015 – 2018 гг. $43,11 \div 47,40\%$ от общей (природной и техногенной) коллективной дозы согласно Радиационно-гигиенических паспортов Воронежской области [13, 19, 20, 21]. Радон является тяжелым радиоактивным газом, для сравнения, в 7,5 раз тяжелее воздуха; период полураспада радона 3,8 суток.

Часто обнаруживаются повышенные радиоактивные излучения в помещениях. В Воронежской области систематически определяются в помещениях ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Воронежской области». С целью получения усреднённой среднегодовой величины радиоактивности в строительном комплексе и в местах проживания людей данные из Радиационно-гигиенических паспортов Воронежской области [13, 19, 20, 21] сведены к единым за 4-е года (табл. 6).

Таблица 6

Удельная эффективная активность радиоактивных веществ
в строительных материалах и помещениях

Характеристика	Единица измерения	Число измерений	Среднее за год	Максимум
Удельная эффективная активность природных радионуклидов в строительных материалах	Бк/кг	202	106	311,6
ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, в том числе:	Бк/м ³	4706		
- одноэтажных деревянных домов,	Бк/м ³	785	19,5	93,8
- одноэтажных каменных домов,	Бк/м ³	1102	18,4	99,4
- многоэтажных каменных домов	Бк/м ³	2189	25,0	84,4
Мощность дозы в помещениях, в том числе:	мкЗв/ч	900		
- одноэтажных деревянных домов,	мкЗв/ч	772	0,10	0,13
- одноэтажных каменных домов,	мкЗв/ч	1167	0,105	0,16
- многоэтажных каменных домов	мкЗв/ч	4961	0,11	12,0
Мощность дозы на открытом воздухе	мкЗв/ч	10127	0,11	0,90

Примечание: ЭРОА – эквивалентная равновесная объёмная активность.

Общая структура годовой эффективной коллективной дозы облучения населения (чел.-Зв), а именно, которая получается населением от деятельности предприятий, использующих источники ионизирующего излучения (ИИ), техногенно изменённого радиационного фона природных источников представлена в табл. 7. Выведены средние значения для населения Воронежской области за 2015 – 2018 гг. [13, 19, 20, 21].

Как следует из табл. 6 средняя суммарная эффективная доза облучения в год для жителя из зоны наблюдения от техногенных источников и техногенно изменённого радиационного фона составляет 0,06 мЗв/чел., а для персонала предприятия – 0,09 мЗв/чел., что гораздо ниже предела установленной нормы для персонала и населения [5]: для населения в 16,7 раза ниже установленной дозы облучения, для персонала - в 222,2 раза.

Таблица 7

Структура годовой эффективной коллективной дозы облучения населения (чел.-Зв), усреднённая за 2015 – 2018 гг.

Виды облучения населения территории	Коллективная доза		Средняя на жителя, мЗв/чел.
	чел.-Зв/год	%	
а) деятельность предприятий, использующих ИИИ, в том числе:	7,28	0,09	0,003
- персонала	6,82	0,08	0,003
- населения, проживающего в зонах наблюдения	0,47	0,01	0,000
б) техногенно изменённого радиационного фона, в том числе:	46,67	0,017	0,006
- за счёт глобальных выпадений	11,67	0,14	0,005
- за счёт радиационных аварий прошлых лет	2,34	0,03	0,001
в) природных источников, в том числе:	7095,58	83,20	3,041
- от радона	3877,16	45,39	1,662
- от внешнего гамма-излучения	1560,49	18,35	0,669
- от космического излучения	1407,63	10,97	0,400
- от пищи и питьевой воды	1311,5	3,83	0,141
- от содержащегося в организме К-40	396,69	4,66	0,170
г) медицинских исследований	1379,34	16,17	0,591
ВСЕГО	8528,87		3,641

Подытоживая тему природной радиоактивности, нельзя не отметить и полезные свойства её. Ещё в 30-х гг. XX в. Н.И. Вавилов [22] обратил внимание на связь местонахождений крупных урановых месторождений и очагов видеообразования в биоте (рис. 16) – корреляция очевидна.

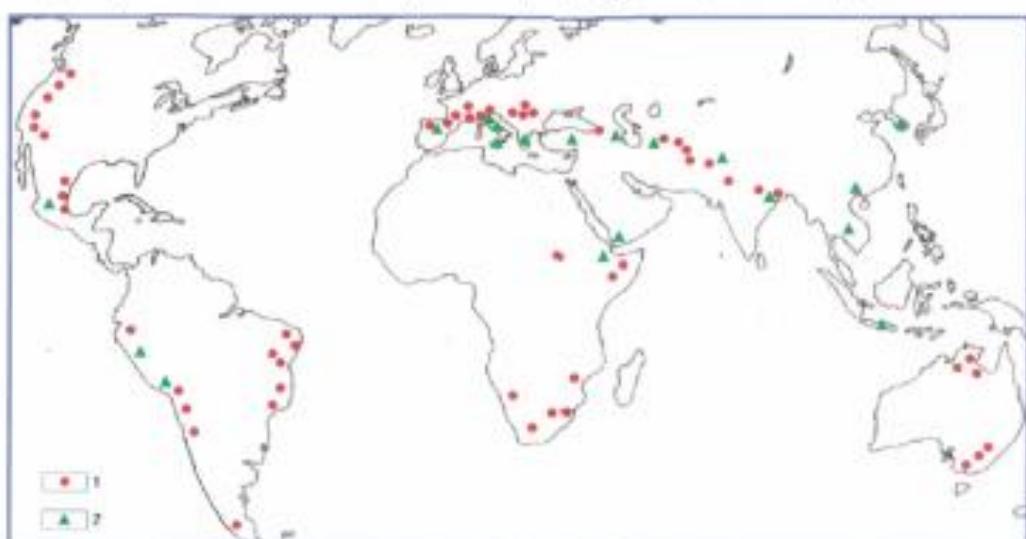


Рис. 16 – Расположение крупных урановых месторождений (1) и очагами видеообразования (2) в биоте (по Н.И. Вавилову).

4. Мониторинг радиационной обстановки вокруг НВАЭС и его основные итоговые показатели.

Руководящий менеджмент Нововоронежской атомной станции всемерно способствует прозрачности работы НВАЭС в отношении экологических рисков, объективно существующих исходя из факта существования радиационно-опасного объекта. С этой целью ежегодно готовится Отчёт по экологической безопасности НВАЭС [23]. Сведения о проведённых замерах радиоактивности в мониторинговых точках вокруг НВАЭС передаются в федеральные и региональные надзорные и контрольные органы с целью комплексного учёта радиационных излучений на население Воронежской области. Для этого представим сводные таблицы радиоактивности по видам радионуклидов в воздушной среде и гидросреде поверхностных и подземных водных объектов (табл. 8, 9, 10).

Таблица 8
Объёмная активность радиоактивных веществ в атмосферном воздухе,
среднее значение, $\text{Бк}/\text{м}^3$

Радионуклиды	На территории Воронежской области				В СЗЗ НВАЭС				В зоне наблюдения НВАЭС			
	Со-60 $\times 10^{-6}$	0,3	0,1	0,2	0,2	3,6	1,9	1,7	1,2	0,4	0,32	0,056
Cs-137 $\times 10^{-6}$	1,4	0,6	0,6	0,9	0	3,0	2,9	1,8	7,4	2,0	1,6	2,0
Mn-54 $\times 10^{-7}$	0,6	0,3	2,0	0,6	13,0	2,5	0,75	4,7	0,88	13		0,063
Год	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018

Таблица 9
Удельная активность радиоактивных веществ в воде открытых водоёмов в
санитарно-защитной зоне НВАЭС, среднее значение, $\text{Бк}/\text{л}$

Радионуклиды	Среднее значение				Максимальное значение			
	Со-60 $\times 10^{-3}$	3,3			40,0			
Cs-137 $\times 10^{-3}$	9,9	8,8	7,8	7,1	17,0	15,0	10,0	11,0
Год	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018

Таблица 10
Удельная активность радиоактивных веществ в воде источников питьевого
водоснабжения в зоне наблюдения НВАЭС, $\text{Бк}/\text{л}$

	Среднее значение				Максимальное значение			
	Суммарная α -активность	0,062	0,070	0,060	0,080	0,190	0,150	0,170
Суммарная β -активность	0,170	0,306	0,320	0,272	4,000	0,460	0,410 ⁺	0,412
^{234}U	0,017				0,030			
^{210}Po	0,005	0,004	0,004	0,004	0,007	0,005	0,006	0,005
^{222}Rn	13,5	11,4	12,2	8,7	24,0	18,0	19,0	45,9
Год	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018

Из табл. 8 следует, что величина объёмной активности радиоактивных

веществ в атмосферном воздухе имеет тенденцию к уменьшению по всем видам радионуклидов, подвергающихся исследованиям: Со-60, Cs-137, Mn-54.

Из табл. 9 также следует, что по Cs-137 также наблюдается тенденция уменьшения удельной активности радиоактивных веществ в воде открытых водоёмов вблизи НВАЭС. Этот факт важен, так как мониторинг за этим показателем по Cs-137 ведётся с 2003 г., с момента обнаружения утечки из ёмкости хранения жидких радиоактивных отходов. Схема мониторинга за радиационной обстановкой в поверхностных водоёмах в зоне наблюдения НВАЭС изображена на рис. 17 [23].

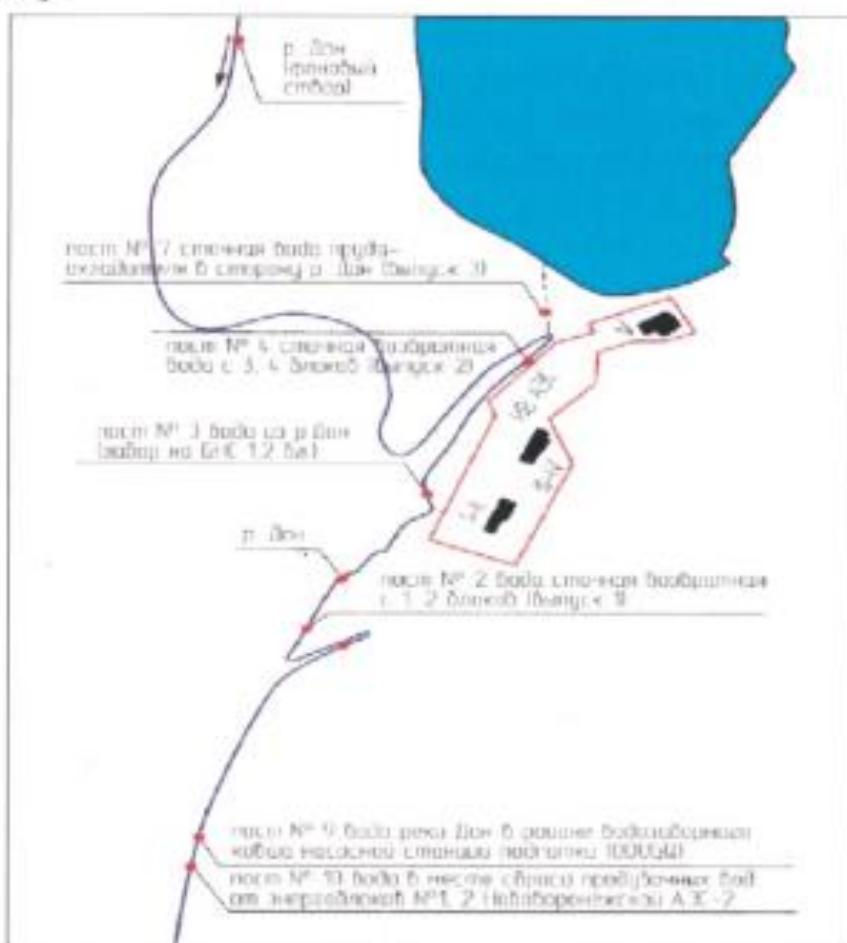


Рис. 17 – Схема мониторинга за радиационной обстановкой в поверхностных водоёмах в зоне наблюдения НВАЭС.

В сбросном канале 1, 2 блока Нововоронежской АЭС (пост №2 рис. 17), в отводящем канале на рыбхоз «Нововоронежский» (рис. 13, между шандорами и плотиной) и в р. Дон (между сбросным каналом и береговой насосной БНС-1,2) обнаруживается загрязнение водорослей и донных отложений радионуклидом кобальт-60 из зоны влияния утечки жидких радиоактивных из хранилища жидких отходов-2 ХЖО-2 – 1985 г.). Общая площадь загрязнения не превышает установленную ранее в 2003 г. – 7 тыс. м².

В настоящее время данный радиационный контроль выполняется в соответствии с «Регламентом комплексного контроля участка радиоактивного загрязнения в районе ХЖО-2 Нововоронежской АЭС».

По данным регламентного и экспедиционного контроля, проводимыми специалистами НВАЭС [20], следует:

→ радиационно-гигиеническая обстановка в прибрежных районах р. Дон вблизи атомной станции стабильна, а влияние на неё радиационного инцидента, произошедшего в 1985 г., незначительно;

→ активность кобальта-60, поступившего с загрязнёнными грунтовыми водами в р. Дон, составила 8×10^8 Бк при допустимом сбросе $1,1 \times 10^{11}$ Бк; в чеки рыбхоза $3,8 \times 10^7$ Бк при допустимом сбросе $7,0 \times 10^8$ Бк;

→ содержание кобальта-60 в рыбе, произведенной в прудах рыбхоза и отлавливаемой в р. Дон возле Новоронежской АЭС начиная с 2016 г. не обнаруживалось. Ранее его активность сохранялась на уровне 0,1 Бк/кг, что в 28 раз ниже контрольного уровня, установленного документом «Контрольные уровни радиационных параметров объектов НВАЭС и окружающей среды» №56-ОРБ, согласованным с Межрегиональным управлением №33 ФМБА России;

→ максимум радиоактивного загрязнения грунтовых вод локализован вблизи ЖКО-2;

→ усреднённое по всей контролируемой сети НВАЭС значение среднегодового содержания кобальта-60 в грунтовой воде остаётся стабильным;

→ содержание трития ^3H в воде чеки №11 рыбхоза «Новоронежский» находится на уровне 15 Бк/кг.

Удельные активности ^{210}Po , ^{222}Rn , суммарной β -активности в воде источников питьевого водоснабжения в зоне наблюдения НВАЭС находятся примерно на одном уровне (табл. 9), иногда фиксируются некие всплески, что объясняется неравномерным поступлением радионуклидов в водоносный горизонт вследствие хаотического вымывания их из залегающих горных пород.

Интересен сводный анализ удельной активности радиоактивных веществ в пищевых продуктах, составленный на основании данных радиохимических исследований ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Воронежской области», ФГБУЗ КБ №33 ФМБА России, областной ветеринарной лаборатории (табл. 11).

Таблица 11

Удельная активность радиоактивных веществ в пищевых продуктах в зоне наблюдения НВАЭС, среднее значение по годам, Бк/кг

	Цезий-137				Стронций-90			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
Молоко	2,47	0,23	1,20	0,25	0,56	0,06	0,60	0,39
Мясо	1,96	0,98	1,87	0,19	0,43	0,16	0,67	0,80
Рыба	7,39	2,92	3,17	0,33	0,87	1,26	1,23	0,54
Хлеб и хлебопродукты	1,59	1,51	1,27	0,93	0,58	0,48	0,50	0,76
Картофель	4,54	2,18	3,60	3,23	0,68	1,13	1,20	1,47
Грибы лесные	6,86	8,07	9,59	22,33	4,95	1,08	2,53	3,46
Ягоды лесные	16,57	8,17	3,07	11,74	1,12	1,38	1,40	1,06
Год	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018

Очевидно, содержание радионуклидов в продуктах питания определяется рядом факторов: это почвенно-климатический, видовой состав растений и животных, пути поступления радионуклидов. Например, будет существенной

разницей в итоге радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных растений при поступлении таковых либо через радиоактивные атмосферные выпадения либо через почву. Наименьший переход на растения радиоактивных загрязнений через почву отмечается на чернозёмах, наибольший – на торфяно-болотных почвах. Доля задержания радионуклидов растениями также различна: по мере убывания – капуста, свёкла, картофель, пшеница, трава.

В мясо животных и рыб радионуклиды попадают в основном с кормом и водой – алиментарный путь попадания. Существенно отличается накопление радионуклидов в своих организмах у животных и рыб среди разных их видов. Например, у рыб, обитающих даже в одних водоёмах, интенсивность накопления цезия-137 у хищных рыб (окунь, щука и др.) максимальна, а стронция-90 минимальна, а у растительноядных рыб (карась, карп и др.) наоборот – стронция в несколько раз больше, цезия – меньше, чем накапливают хищные рыбы.

Погодные условия явно должны влиять на подвижность радионуклидов в почве, в грунтовых водах, да и в поверхностных водах. Степень влияния крайне сложна, так как отклик среды, а в дальнейшем и роста растений, животных и рыб на погодные условия не сиюминутен, а растянут во времени.

Менеджмент НВАЭС в полной мере реализовал экологические требования по отношению к объектам I класса опасности (атомная станция): организован ПЭК – производственный экологический контроль, и ПЭМ – производственный экологический мониторинг.

К объектам ПЭК относятся:

- a)* подземные природные воды;
- b)* поверхностные стоковые воды (дождевые, талые) и сточные возвратные в рамках технологического процесса;
- c)* промвыбросы ЗВ (загрязняющих веществ) в воздушную среду;
- d)* недра на глубину потенциального влияния НВАЭС;
- e)* отходы с промплощадки НВАЭС и объектов жизнеобеспечения самой атомной станции.

Интересен методологический подход к организации ПЭК в отношении оценки негативного воздействия. Принято решение, что лучшим индикатором экологического состояния является гидросреда, окружающая НВАЭС в составе р. Дон, пруда-охладителя и других водных объектов в пределах санитарно-защитной зоны.

Экологический контроль химического и радионуклидного состава поверхностных и подземных водных объектов осуществляется аккредитованная водно-химическая лаборатория НВАЭС. Схема пунктов наблюдения (постов контроля) водных объектов в пределах СЗЗ изображена на рис. 18.

Иные необходимые лабораторные исследования в рамках ПЭК (выбросы, сбросы, загрязнения донных отложений, почвы) осуществляются на договорной основе со сторонними лабораториями, аккредитованными (имеющими право) и необходимой области проводимых исследований.

В рамках ПЭК ведутся наблюдения за состоянием гидротехнических сооружений, в том числе за дамбой пруда-охладителя, сетью пьезометрических скважин, заложенных на дамбе, уровнем грунтовых вод.

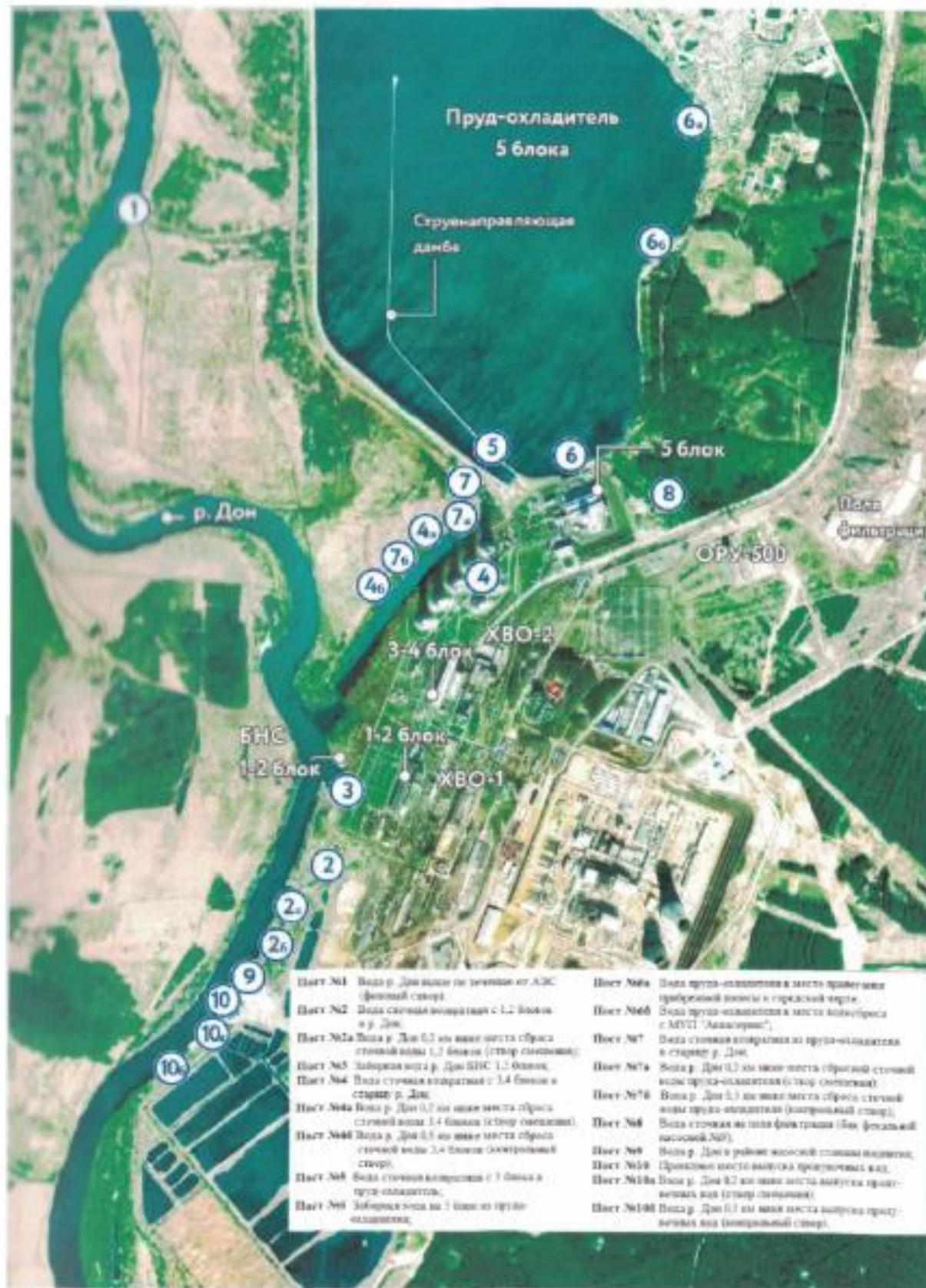


Рис. 18 - Схема пунктов наблюдения (постов контроля) водных объектов в пределах СЗЗ Нововоронежской АЭС.

После Чернобыльской аварии у населения и органов власти возникло

естественным образом некое недоверие к российской атомной отрасли. Чтобы преодолеть народную радиофобию и повысить эффективность принятия решений для случаев радиационных аварий на АЭС вполне логичным образом стала создаваться вокруг АЭС автоматизированные системы контроля за радиационной обстановкой (АСКРО). Первая такая система вокруг НВАЭС была создана в 1994 году и включала в себя 9 постов радиационного контроля в 30-ти километровой зоне. В дальнейшем данная система модернизировалась, увеличивалось количество мониторинговых точек (табл. 12, рис. 19) и расширялись задачи такой системы. Сейчас принято выделять семь укрупненных задач решаемых АСКРО:

- 1) постоянный автоматизированный контроль за радиационной обстановкой на промплощадке НВАЭС, в санитарно-защитной зоне, зоне наблюдения;
- 2) наблюдение за отдельными метеопараметрами в мониторинговых точках;
- 3) сбор и передача данных как об уровнях радиации так и об исправности датчиков - реализованы многоканальные установки радиационного контроля УМКС-99-Р;
- 4) обработка и хранение данных для представления в ГИС-формате;
- 5) обеспечение результатами радиационного мониторинга всех заинтересованных лиц;
- 6) обеспечение сопряжения со всеми информационными системами в области радиационного контроля создаваемых ведомственных мониторинговых центров.

Таблица 12
Посты АСКРО Нововоронежской АЭС и их расположение

№ п/п	Муниципальный район (городской округ)	Наименование поста	Адрес (место установки)	Расстояние от АЭС, км
1	Каширский	БОЕВО	с. Боево, ул. 25 лет Октября, 2Б	17
2		КАМЕННО-ВЕРХОВКА	с. Каменно-Верховка, ул. Мира, 16-В	10
3		КРУГЛОЕ	с. Круглое, ул. Карла Маркса, 52-Б	8
4		ЛЕВАЯ РОССОШЬ	с. Левая Рессошь, ул. Пролетарская, 36-3	15
5		ДАНКОВО	с. Данково, ул. Космонавтов, 1А/1	23
6		МИХАЙЛОВКА	х. Михайловка, ул. Садовая, 10-А	6
7		КОЛОДЕЗНОЕ	с. Колодезное, уч-к по ул. Центральная	10
8	Лискинский	АНОШКИНО	с. Аношкино, ул. Центральная, 48-А	9
9		АНОШКИНО Ж/Д	п. Аношкино, ул. Полевая, 67-А	11
10		ЛИСКИ (ЛЕДОВЫЙ ДВОРЕЦ)	г. Лиски, ул. Чехова, 53/1	37
11		ОСИНКИ	х. Осинки, 16-А	5
12		СЕЛИЯВНОЕ	с. Селиявное, ул. Краснодонская, 1-А	14
13		ВОЗНЕСЕНОВКА	с. Вознесеновка, ул. Заводская, 38	19

Продолжение таблицы 12

№ п/п	Муниципальный район (город) (округ)	Наименование поста	Адрес (место установки)	Расстояние от АЭС, км
14	Острогожский	МАСТЮГИНО	с. Мастюгино, ул. Куркина, 47-А	15
15		СТОРОЖЕВОЕ	с. Сторожевое 1-е, ул. Советская, 87	7
16		СТОРОЖЕВОЕ-2	с. Сторожевое 1-е, ул. Набережная, 38	7
17		НОВОУСПЕНКА	х. Ново-Успенка, уч-к по ул. Воронежская	14
18	Хохольский	ЯБЛОЧНОЕ	с. Яблочное, ул. 50 лет Октября, уч-к №112	15
19		ОСЬКИНО	с. Оськино, ул. Советская, участок №75-А	13
20		БОРЩЁВО	с. Борщёво, ул. Архипова, участок №34-Б	10
21		КОСТЁНКИ	с. Костёнки, ул. Протопопова, уч-к №14-А	17
22		АРХАНГЕЛЬСКОЕ	с. Архангельское, уч-к по ул. Центральная	5
23		МАСЛОВ ЛОГ	х. Маслов Лог, ул. Мира, участок №32-Б	7
24		ПАШЕНКОВО	х. Пашенково, ул. Донская, уч-к №92-Б	3
25		АТЦ	г. Нововоронеж, Промзона «Восточная», 24	6
26	г. Нововоронеж	ГОСТИНИЦА «ДОН»	г. Нововоронеж, участок в районе ул. Курчатова, 2-Б	4,5
27		СНТ «ЗДОРОВЬЕ»	г. Нововоронеж, участок №281	7
28		ПРОФИЛАКТОРИЙ АЭС	Каширский р-н, восточная часть кадастрового квартала 36:13:30 00 005	9
29		5 БЛОК (НАСОСНАЯ) НВ АЭС	г. Нововоронеж, промзона Южная, 1, в районе энергоблока №5	1,5
30		ВОДОЗАБОР «ЛЕСНОЙ»	г. Нововоронеж, промзона Восточная, территория водозабора «Лесной»	4,5
31		ЛВРК	г. Нововоронеж, ул. Набережная, 11	4
32		П. ШИЛОВО (ВОРОНЕЖСКАЯ АСТ)	г. Воронеж, мкр. Шилово, ул. Острогожская, 151	33
33	г. Воронеж	Г. ВОРОНЕЖ	г. Воронеж, ул. Плехановская, 53	45

Примечание: за точку отсчёта удаления установки радиационного контроля взят геометрический центр 3 – 7 блоков НВАЭС.

Таким образом, АСКРО вокруг НВАЭС включает в себя 33 автоматизированных дозиметрических поста. Автоматизированная система непрерывно производит замеры γ-излучения как на самой АЭС (в промзоне), так и на различных удалениях от атомной станции: в зоне наблюдения и далее; самый удалённый пост находится практически на центральном участке города Воронежа (табл. 12). Это позволяет обеспечивать информацией фактически обеспечивает информационную поддержку ЛПР (лица, принимающего решение) в случае радиационной аварии на АЭС, позволяет выработать наиболее эффективные рекомендации для действий населения в этом случае.

В ежедневном режиме при нормальной эксплуатации атомной станции данная АСКРО объективно подтверждает отсутствие превышений имеющегося радиационного фона вокруг НВАЭС. Результаты мониторинга выносятся на

интерактивную карту АСКРО, размещённую в интернете.

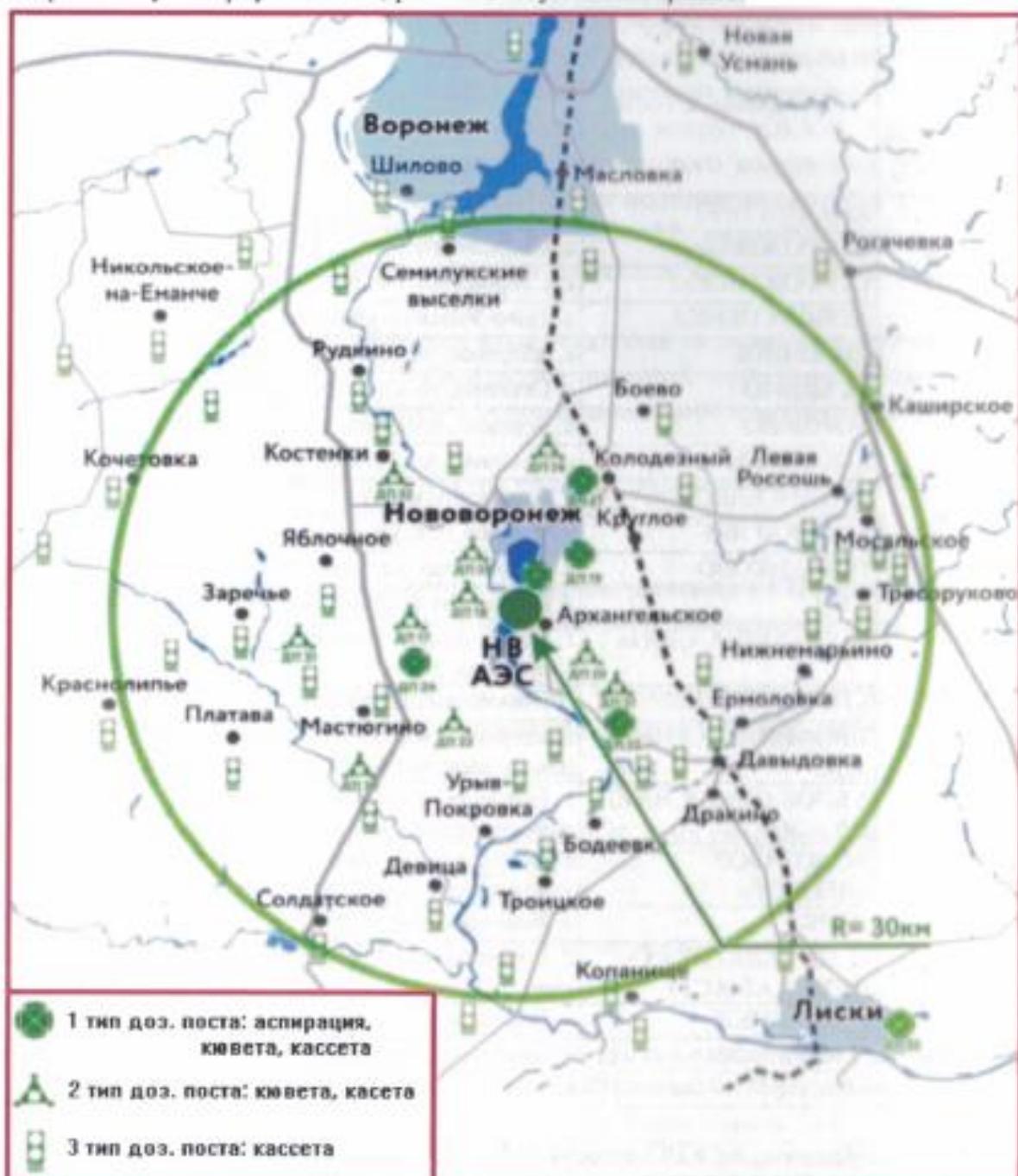


Рис. 19 – Схема размещения дозиметрических постов АСКРО вокруг НВАЭС.

5. Особенности оценки радиационных рисков АЭС.

Риск, как мера математического ожидания случайного ущерба (стоимости натурального вреда) M , в виде дискретной случайной величины имеет вид:

(1)

$$R = R_{\Sigma} = M[U] = \sum_{i=1}^n p_i U_i$$

где U_1, \dots, U_n – возможные значения случайного ущерба во время аварийных событий на АЭС;

p_1, \dots, p_n – вероятности того, что случайный ущерб во время аварийных

событий на АЭС примет значения U_1, \dots, U_n соответственно.

В общем случае число возможных значений ущерба, составляющих полную группу событий, является достаточно большим, например, при рассмотрении запроектной аварии имеется большая неопределенность в погодных условиях (направление ветра, осадки, температура). Поскольку случайный ущерб от аварийной ситуации на радиационно опасном объекте (РОО) есть следствие случайных неблагоприятных событий с ядерным реактором (далее ограничимся этим объектом на АЭС для простоты изложения), то:

(2)

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n p_i U_i,$$

где p_i – вероятность i -го неблагоприятного события за жизненный цикл ядерного реактора;

U_i – ущерб, наносимый в результате i -го неблагоприятного события на РОО; n – число возможных неблагоприятных событий на РОО.

С целью уточнения, на атомной станции РОО чаще всего несколько, например, на НВАЭС в 2020 году в работе находится 4 ядерных энергоблока.

Очевидно, что предложенный обобщенный показатель (2) представляет собой сумму рисков R_i неблагоприятных событий, возможных на АЭС в комплексе:

(3)

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i,$$

где $R_i = p_i U_i$ – риск жизнеобеспечения РОО, обусловленный возможностью i -го события (риск i -го события).

Трактуя определенные опасности технической системы в самом широком смысле, под неблагоприятным событием для РОО следует понимать любое случайное событие, результатом которого является ущерб. Любое случайное отклонение в процессе нормального функционирования: отказ элемента, выход из строя, разрушение или уничтожение объекта – требует определенных затрат, т.е. наносит ущерб и, строго говоря, является неблагоприятным событием. Проблемы, связанные с риском, отказом, выходом из строя РОО, отличаются от проблем риска на объектах традиционной техносферы. Опасность объекта традиционной техносферы определяется только выходом из строя самого объекта, поражением персонала и операторов и не связана непосредственно с потерей жизни и здоровья людей, большим экологическим и материальным ущербом на значительном расстоянии от объекта.

Опасные события, обусловленные наличием на ядерном объекте делящихся материалов и радиоактивных веществ, могут быть определены как ядерно- и радиационно-опасные события. В соответствии с этим показатель, содержащий сумму рисков по выражениям (1) – (3) только таких событий, становится интегральным показателем ядерной и радиационной опасности РОО.

Перечень рассматриваемых опасных событий и, соответственно, содержание показателя опасности РОО существенно различны для разных типов реакторов. Так, в 2020 г. на Новоронежской станции эксплуатировались три типа энергоблоков: ВВЭР-440, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200. Каждый энергоблок представляет определенный этап в развитии атомной энергетики и, как следст-

вие, на каждом этапе реализовывались те или иные рубежи защиты с наращиванием их. На последних энергоблоках реализована так называемая «глубоко-эшелонированная защита» рис. (20, 21) [24, 25].

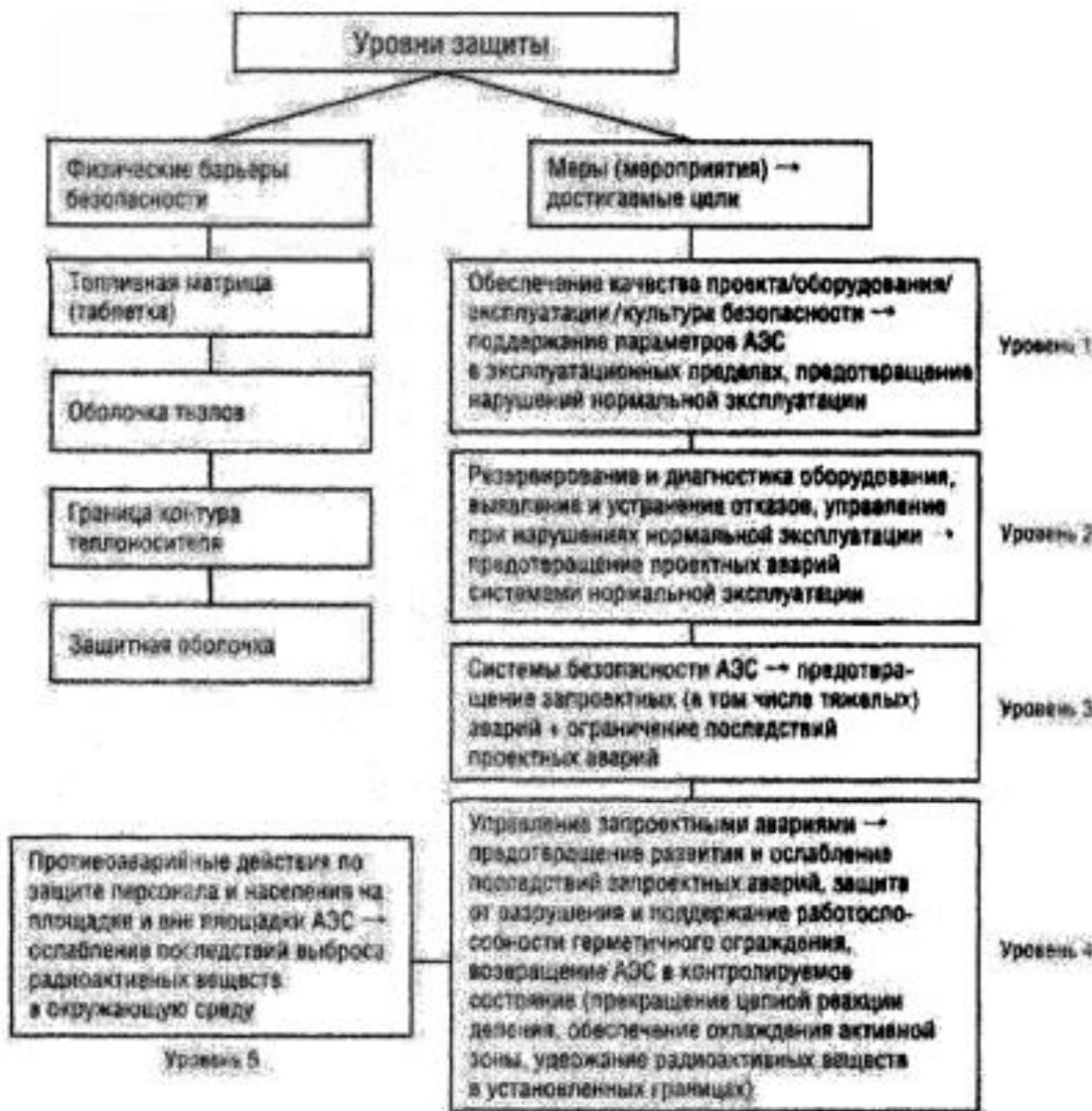


Рис. 20 – Реализация принципа «глубокоэшелонированной защиты» на энергоблоках типа ВВЭР-1000.

Выстроенная «глубокоэшелонированная защита» на энергоблоке пошагово не даёт развиваться аварийной ситуации, задействуя тот или иной физический барьер безопасности и сводя на нет запроектную аварию, делая её вероятность крайне низкой (табл. 13).

Чем шире и детальнее представлены опасные события, тем представительнее соответствующий интегральный показатель R. При этом важно, чтобы выделенные опасные события соответствовали «качественным скачкам» в изменении состояния РОО, персонала и операторов, в характере и величине действующих на население и окружающую среду поражающих факторов.

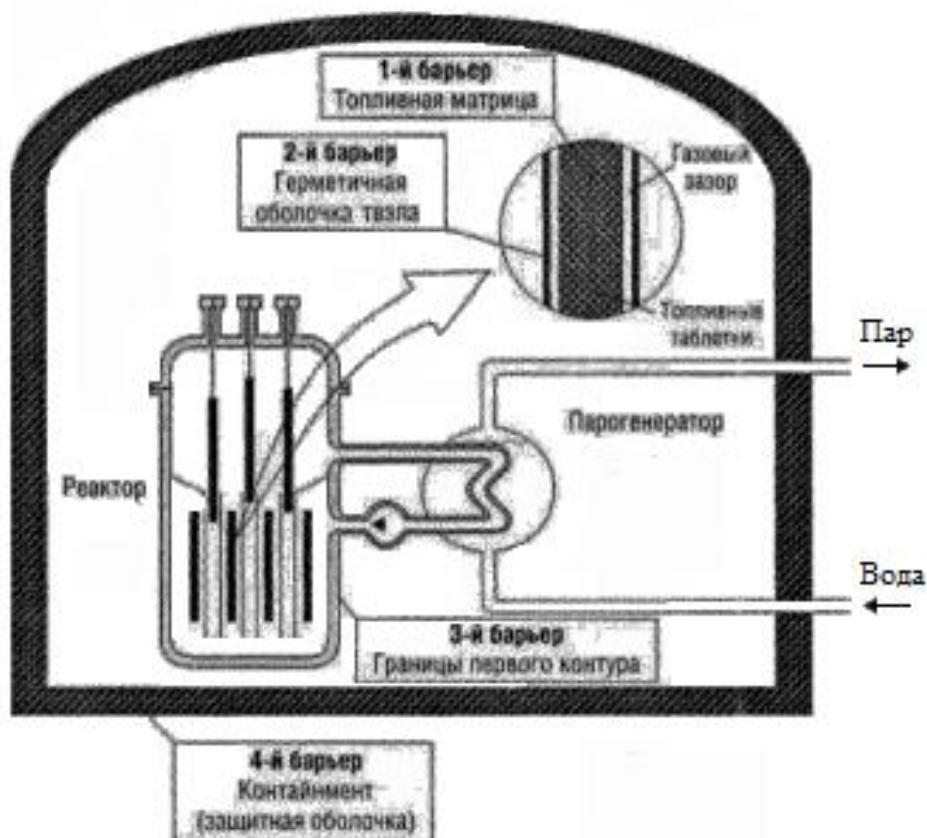


Рис. 21 – Физические барьеры безопасности на энергоблоках типа ВВЭР-1000.

Таблица 13

Результаты вероятностного анализа безопасности
для энергоблоков типа ВВЭР-1000 [24]

Исходное событие (ИС)	Частота ИС, 1/год	Частота повреждения активной зоны, 1/год	Вклад, %
Большая течь первого контура	$5,91 \cdot 10^{-4}$	$9,19 \cdot 10^{-5}$	37,84
Малая течь первого контура	$7,42 \cdot 10^{-3}$	$5,74 \cdot 10^{-5}$	23,64
Течь из первого контура во второй контур	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$3,62 \cdot 10^{-5}$	14,9
Течь паропровода парогенератора (ПГ) в неизолируемой от ПГ части	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	7,29
Обесточивание при работе на мощности	$1 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	0,99
Обесточивание при разуплотнённом реакторе (в стояночном режиме)	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$3,13 \cdot 10^{-8}$	12,89
Прочие ИС	–	–	2,45
Общая частота повреждения активной зоны	–	$2,38 \cdot 10^{-7}$	–

Таким образом, риск по (1) – (3) количественно определяет опасность всего комплекса «ядерный объект – человек – окружающая среда» и, строго говоря, является интегральным показателем опасности этого глобального комплекса. Глобальный природно-техногенный комплекс возникает при запроектной аварии, что является бесспорным (Чернобыль, Фукусима).

При определённых фиксированных характеристиках ядерного объекта, окружающей среды, персонала, населения интегральный показатель R_{Σ} может рассматриваться как один из важнейших показателей безопасности соответствующего энергоблока АЭС, использоваться для сравнения и выбора предпочтительных (по уровню опасности) вариантов схемно-конструктивного исполнения РОО, организации его функционирования и обеспечения защищённости от аварий и катастроф.

Для оценки индивидуального риска на основе (1) и (2) можно записать:

(4)

$$R_i^H = \sum_{i=1}^n p_i \cdot U_i,$$

где U_i – ущерб, наносимый индивидууму и определяющий снижение качества жизни индивидуума в результате i -го неблагоприятного события на РОО с вероятностью p_i ;

R_i^H – обобщённый показатель риска комплекса «ядерный объект – население (персонал) – окружающая среда» (ОНО) [26] для индивидуума.

Здесь под ядерным объектом понимается непосредственно сам реактор АЭС, который имеет делящиеся радиоактивные материалы, являющиеся источниками ядерной и радиационной опасности. Такие объекты одновременно относятся к ядерно- и радиационно-опасным объектам (ЯРО).

Выделяя социальные объекты – группы индивидуумов (коллектив, персонал объекта, население района или региона, общество в целом) и суммируя ущербы, наносимые членам выделенной группы в результате аварий и катастроф на РОО, получим обобщённые показатели опасности объекта – интегральные риски жизнеобеспечения для соответствующих групп в виде:

(5)

$$R_{\Sigma}^{HP} = \sum_{i=1}^n p_i \cdot U_i^{HP},$$

где U_i^{HP} – ущерб, наносимый группе и определяющий суммарное снижение качества жизни членов рассматриваемой группы в результате i -го неблагоприятного события на объекте в комплексе ОНО;

R_{Σ}^{HP} – обобщённый показатель комплексной опасности для выделенной группы.

Опасность комплекса «ядерный объект – население – окружающая среда» может характеризоваться дополнительно большим (в соответствии с количеством выделенных групп – социальных объектов) числом обобщённых показателей опасности.

Практически неограниченное количество социальных объектов и, соответственно, обобщённых показателей опасности комплекса для этих социальных объектов ставит задачу выбора из них ограниченного числа показателей, подлежащих нормированию на государственном уровне. Требуется из всей совокупности возможных для различных социальных объектов обобщённых показателей опасности комплекса выбрать несколько, ограничение которых критериями безопасности необходимо и достаточно полно учитывает противоречивые интересы различных социальных объектов. Такие критерии отдельных показателей риска в настоящее время изложены в Нормах радиационной безо-

пасности [5] и Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций [25].

По результатам оценок в соответствии с (1), (4) и (5) для общества в целом:

$$(6) \quad R_{\Sigma}^{ob} = \sum_{i=1}^n p_i \cdot U_i.$$

Обобщённый показатель опасности комплекса ОНО для произвольного индивидуума:

$$(7) \quad R_{\Sigma}^n = \sum_{i=1}^n p_i \cdot U_i.$$

Критерий безопасности R_{Σ}^{ob} ограничивает ожидаемый случайный ущерб, наносимый комплексу «ядерный объект – население – окружающая среда» всему обществу и, таким образом, учитывает общественные интересы людей, объединённых в общество и характеризуемых уровнями индивидуальных рисков по (1).

Критерий безопасности R_{Σ}^n по (7) ограничивает ожидаемое случайное снижение качества жизни любого индивидуума (члена общества) в результате аварий и катастроф на АЭС. Он учитывает интересы любого человека как индивидуума, его право на жизнь и личную безопасность.

При оценке и ограничении показателя риска R_{Σ}^n необходимо учитывать, что среди людей, попадающих в сферу возможных неблагоприятных воздействий со стороны объекта при авариях, можно выделить группы, критерии интегральной безопасности которых необходимо различать. Это, прежде всего, группа людей, профессионально занимающихся созданием и эксплуатацией ядерного объекта – операторы и обслуживающий персонал. Другая категория – население. Подобное разделение предусмотрено нормами радиационной безопасности.

Таким образом, выражением (7) фактически формализуется несколько интегральных показателей опасности для индивидуумов различных категорий.

Необходимость нормирования обобщённого показателя риска по (6) для общества в целом обусловлена тем, что именно общество в целом (государство) является обладателем АЭС. Роль этого показателя особенно велика для ядерных объектов исключительно высокой потенциальной опасности, аварии и катастрофы на которых могут нанести ущерб государственного или даже глобального масштаба (примеры: Чернобыль, Фукусима).

Следует отметить, что в дополнение к использованию и нормированию этих основных обобщённых показателей опасности ЯРО не исключено применение специализированных обобщённых показателей, критериев и безопасности и риска, установленных отдельно для АЭС для населения отдельного субъекта Российской Федерации либо его районов исходя из фактической радиационной обстановки на территории.

Радиационные события в общем случае включают в себя все возможные варианты выделения в окружающую среду радиоактивных веществ и отличаются большим разнообразием. Последствия этих событий и риски зависят от

множества факторов и, прежде всего, определяются составом, количеством и параметрами состояния (диспергирования) выбрасываемых радиоактивных веществ. Перечень рассматриваемых событий может быть существенно ограничен, если, основываясь на предварительной оценке, не рассматривать (из-за прогнозируемой относительной малости наносимого ущерба, относительной малости вероятности смерти индивидуума или вероятности осуществления) ряд возможных в принципе событий. Соответственно упрощается и система показателей радиационной опасности ЯРО.

При анализе рисков Р представляется целесообразным ограничиться рассмотрением радиационно-опасных событий, связанных с выбросом наиболее вредных радиоактивных веществ – делящихся материалов. При этом в качестве важнейшей характеристики радиоактивного выброса, позволяющей провести ранжирование по причинам и тяжести последствий события, естественно принять количество вышедшего в окружающую среду диспергированного (с определенным размером частиц, например, менее некоторого фиксированного) делящегося материала. Шкалу радиационно-опасных событий целесообразно строить в относительных и абсолютных единицах. Выражение количества выбрасываемого диспергированного делящегося материала в процентах от общего количества, содержащегося в активной зоне реактора, удобно при оценке и сравнении уровней радиационной опасности различных типов ядерных энергетических установок с целью выявления относительно лучших.

Здесь часто выделяют три диапазона [26]:

- первый – выброс в диспергированном виде до 1 % делящихся материалов;
- второй – выброс в диспергированном виде от 1 до 10 % делящихся материалов;
- третий – выброс в диспергированном виде от 10 до 100 % делящихся материалов.

Такой подход позволяет установить интегральные показатели рисков комплекса ОНО.

По своему составу ущерб, наносимый следствиями запроектной аварии на АЭС, многообразен. Он представляет собой совокупность негативных (с точки зрения социальной, природной и техногенной сферы) изменений самых разных по форме и содержанию. Необходимость количественной оценки величины наносимого ущерба для расчёта показателей опасности и риска комплекса «объект – население – окружающая среда» (ОНО) ставит задачу систематизации и классификации составляющих ущерба, а также задачу выражения их в единой мере и корректного суммирования. «Спектральное» разделение ущерба (разделение на виды ущерба) часто проводится согласно известному разделению глобальной системы «человек (социальный объект, социум, социальные сферы) – естественная среда (природная сфера) – искусственная среда (ядерные и другие объекты АЭС).

Экономический ущерб обществу – негативные изменения искусственной среды обитания человека (общества): уничтожение, повреждение, невозможность использования элементов искусственной среды обитания (жизнедеятель-

ности) общества, вынужденные расходы материальных и трудовых ресурсов общества.

Экологический ущерб обществу – негативные изменения естественной среды обитания человека (общества): уничтожение, повреждение, невозможность использования элементов естественной (природной) среды обитания (жизнедеятельности) общества.

Социальный ущерб обществу – негативные изменения социума (составлено общества), заключающиеся в гибели,увечьях, заболеваниях его членов.

Очевидно, что в пределах каждого вида ущерба можно выделить компоненты (подвиды, статьи) ущерба, сумма которых даёт величину ущерба данного вида.

При выражении ущербов различного вида (подвида) в единой мере совокупный ущерб обществу в результате реализации i -го варианта опасного события на АЭС в комплексе ОНО можно представить суммой:

(8)

$$U_i = \sum_{k=1}^K U_{ik},$$

где U_{ik} – ущерб (показатель ущерба) k -го вида (подвида), наносимый обществу в результате реализации i -го варианта ядерного взрыва в комплексе «объект – население – окружающая среда»;

K – число выделяемых видов (подвидов) наносимого ущерба.

При проектировании атомных электростанций, как говорилось выше, создаётся глубокоэшелонированная защита, исключающая запроектную аварию. Авария на АЭС с расплавлением активной зоны ядерного реактора предполагается как событие нереализуемое, поэтому этот сценарий даже не рассматривается в разрабатываемых многочисленных документах, обосновывающих безопасность АЭС. Наиболее опасный сценарий рассматривается как результат обезвоживания активной зоны реактора, нагрев топлива, нагрев и повреждение оболочек всех твэлов в активной зоне реактора, перегрев топлива и выход из него летучих и газообразных нуклидов. Тем не менее, «Фукусима» (2011 г.) показала, что радиационная авария на АЭС 7-го уровня по шкале МАГАТЭ вполне реальна, если при этом вспомнить и «Чернобыль» (1986 г.).

Поэтому при оценке второго показателя риска АЭС (2) следует обращаться к вероятностным подходам анализа безопасности или, иначе, аварийности АЭС.

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) – это методология определения вероятности аварии на АЭС [24]. При проведении ВАБ термином «вероятность события», P , обозначают количество событий за время T эксплуатации АЭС, T , $[P] = \text{реактор}^{-1}$.

Вводится понятие «расчётная частота событий» λ , $[\lambda] = \text{реактор}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Связь между вероятностью события и частотой (интенсивностью) событий определяется формулой Пуассона для потока событий:

$$P_{\text{события}} = 1 - \exp(-\lambda_{\text{события}} \cdot t). \quad (9)$$

Под потоком событий здесь имеется ввиду последовательность однородных событий, поступающих одно за другим в случайные моменты времени.

Поток событий стационарен, если частота (интенсивность потока) событий постоянна во времени. Вероятность появления m событий за промежуток времени длительностью t :

$$P_m(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} \exp(-\lambda t), \quad (10)$$

где λ – интенсивность потока событий (среднее число событий в единицу времени).

При $m = 0$ (событий за время t не происходит): $P_0(t) = \exp(-\lambda t)$. При $m = 1$ (за время t происходит одно событие) $P_1(t) = \lambda t \cdot \exp(-\lambda t)$.

Тогда $P_1(t) \approx 1 - P_0(t)$, поскольку $1 - [P_0(t) + P_1(t)] = P_{m>1}(t) = 0$.

Для «редких» событий ($\lambda t \ll 1$) $P_1(t) \approx \lambda t$.

При ВАБ в силу малой вероятности события аварии справедливо $P \approx \lambda t$, т.е. вероятность редкого события ($\lambda t \ll 1$) прямо пропорциональна времени (рис. 22).

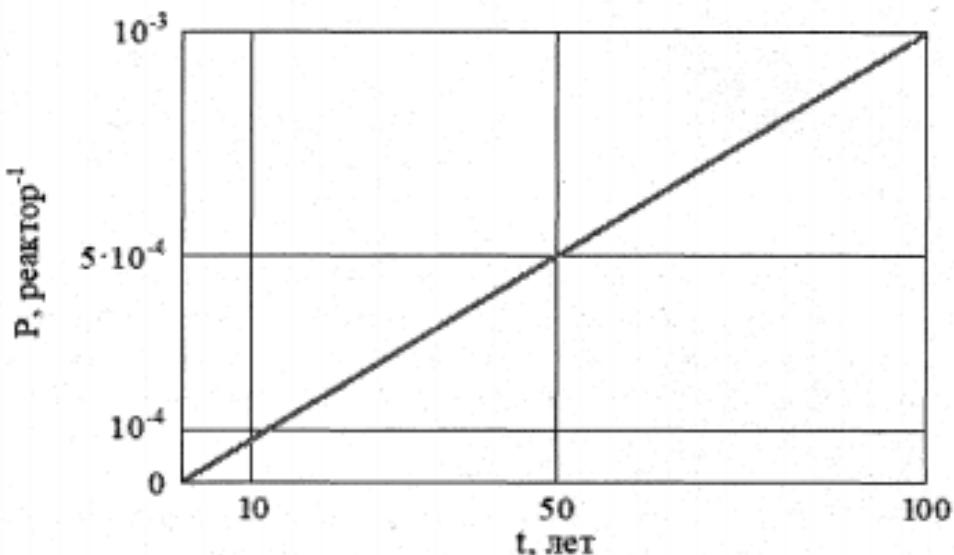


Рис. 22 – Зависимость вероятности события от времени:
вид зависимости для $t \leq 100$ лет, $\lambda = 10^{-5}$ $\text{реактор}^{-1} \square \text{год}^{-1}$ [24].

Существуют три уровня ВАБ:

- ВАБ 1-го уровня определяет вероятность расплавления активной зоны реакторной установки;
- ВАБ 2-го уровня определяет вероятность выхода радиоактивных продуктов за пределы защитной оболочки;
- ВАБ 3-го уровня определяет вероятность превышающего нормативы воздействия радиоактивных продуктов на персонал, население и окружающую среду.

ВАБ состоит из следующих этапов:

- выбор исходных событий и оценка их вероятностей (составление перечня исходных событий);
- определение последовательности развития аварии (построение «деревьев

событий»);

- анализ надёжности систем безопасности (построение «деревьев отказов») с учётом человеческого фактора;
- оценка вероятностей тяжёлых аварий.

В обобщённом виде выполнение ВАБ может выражаться следующей формулой:

$$P_k = \lambda_i \cdot P_j \cdot T_s, \quad (11)$$

где P_k – вероятность возникновения k -го аварийного состояния;

λ_i – частота возникновения i -го исходного события;

P_j – вероятность возникновения отказов систем безопасности на j -ом пути развития аварии;

T_s – время эксплуатации.

Таким образом, вероятность конечного аварийного состояния (для ВАБ 1-го уровня это расплавление активной зоны) определяется произведением частоты исходных событий и вероятности отказов систем безопасности на пути развития аварии, приводящем к конечному аварийному состоянию.

Предусмотренные в проекте АЭС исходные события могут быть внутренними (отказы оборудования, ошибки персонала) и внешними (природные явления и события, связанные с деятельностью человека). Отбор исходных событий для ВАБ проводится путём экспертной оценки их значимости с точки зрения вклада в вероятность повреждения активной зоны (выхода радиоактивных продуктов). Для оценки вероятностей исходных событий используют статистический и аналитический методы. Ограничения на использование статистического метода связаны с малой статистикой отказов (или её отсутствием) крупного оборудования АЭС. Аналитические методы позволяют рассчитывать вероятности отказа элементов оборудования с малой статистикой отказов, однако точность получаемых оценок невысока. Процедура отбора исходных событий для ВАБ по существу аналогична установлению перечня исходных событий для детерминистского анализа запроектных аварий.

Применительно к проектным авариям детерминистский анализ безопасности состоит в инженерном (как правило, расчётном) анализе поведения АЭС в ходе развития аварий, инициированных определёнными в проекте АЭС исходными событиями. При этом целью анализа является доказательство непревышения в результате аварии проектных пределов для аварий и критериев радиационной безопасности персонала и населения. Целью анализа запроектных аварий является выработка мер по управлению аварией для предотвращения повреждения активной зоны и ограничения выхода радионуклидов за пределы защитной оболочки. Расчётные программные средства, применяемые для анализа аварий, должны достоверно воспроизводить связанные нейтронно-физические и теплогидравлические процессы в активной зоне, теплообмен между теплоносителем, элементами конструкций и окружающей средой, физико-химические процессы, выход и распространение радиоактивных продуктов, прочность элементов конструкции под действием механических и термических нагрузок в условиях аварии, алгоритмы системы управления энергоблоком, характеристики оборудования.

Возвращаясь к вероятностному анализу безопасности рассмотрим кратко методику построения «деревьев событий» – вероятностных цепочек развития аварии.

При возникновении исходного события аварийный режим может развиваться различными путями в зависимости от работоспособности систем безопасности. Пути развития аварийного режима графически изображаются в виде ветвей «дерева событий», у которого верхние ветви после разветвления соответствуют срабатыванию системы безопасности, а нижние – её отказу (рис. 23).

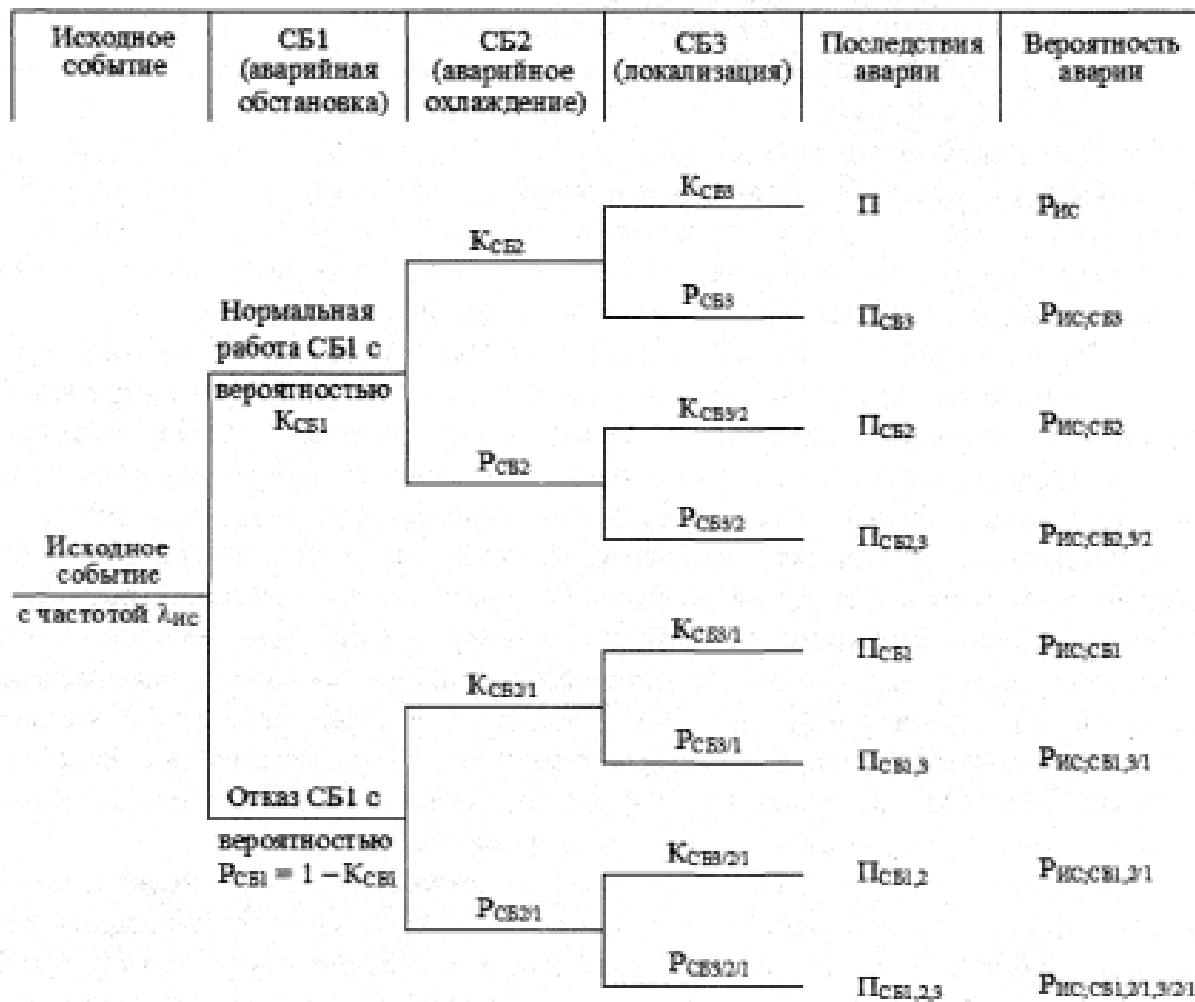


Рис. 23 – Структура дерева событий для анализа путей развития аварии:
 $P_{SB1,2,\dots,p}$ – последствия аварии при отказах СБ 1, 2, ..., п;
 $P_{SBi-1\wedge i-2}$ – вероятность отказа СБ i при произошедших отказах СБ $i-1$, СБ $i-2$ и т.д.

В зависимости от срабатывания (или иначе – отказа систем безопасности) аварийный режим идёт по тому или иному пути (сценарию). Каждой ветви дерева событий (т.е. каждому сценарию развития аварии) соответствуют последствия аварии (расплавление или сохранение целостности активной зоны) и вероятность реализации аварии, определяемая по формуле (9). В общем случае могут реализовываться 2^n путей развития аварии, где n – число независимых систем безопасности. Так, для наиболее неблагоприятного сценария развития аварии (нижняя ветвь на рис. 19) вероятность достижения конечного ава-

рийного состояния определяется формулой:

$$P_{\text{СВ},1,2/1,3/2/1} = \lambda_{\text{ИС}} \cdot P_{\text{Сы}1} \cdot P_{\text{Сы}2/1} \cdot P_{\text{Сы}3/2/1} \cdot T_3. \quad (12)$$

Для определения вероятностей отказов $P_{\text{СВ}}$ в деревьях событий необходимо выполнять анализ надёжности систем безопасности (СБ).

Надёжность – это свойство системы сохранять способность выполнять требуемые функции (сохранять работоспособность) в течение некоторого времени или некоторой наработки (надёжность \approx безотказность). При анализе надёжности системы безопасности её разбивают на элементы оборудования. Вводится понятие отказа элемента как потери функциональной работоспособности элемента. Для оценки надёжности систем используются структурно-логические схемы («деревья отказов»), показывающие, при каких комбинациях отказов элементов система теряет работоспособность. Если отказ системы в целом наступает при отказе любого её элемента, эту систему изображают на дереве отказов в виде последовательного соединения элементов. Если отказ системы в целом наступает при отказе всех входящих в неё элементов, эту систему изображают на дереве отказов в виде параллельного соединения элементов (рис. 24).

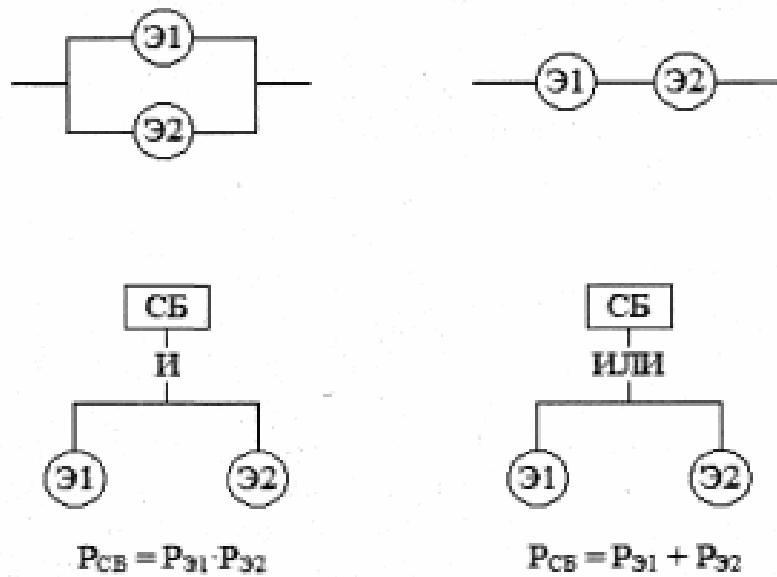


Рис. 24 – Деревья отказов при параллельном и последовательном соединении двух элементов в систему:

$P_{\text{СВ}}$ – вероятность отказа системы безопасности;
 $P_{\text{Э1}}, P_{\text{Э2}}$ – вероятности отказов элементов системы безопасности.

Связь элементов на дереве отказов осуществляется логическими операторами: для параллельного соединения элементов – «И», для последовательного соединения элементов – «ИЛИ». При параллельном соединении n элементов (из предположения, что элементы независимы, т.е. отказ любого элемента не влияет на надёжность остальных элементов) отказ ($n - 1$) элементов не вызывает отказа системы (для отказа системы должны отказать элементы Э1 «И» Э2 ... «И» Э n). При последовательном соединении элементов отказ любого элемента вызывает отказ системы (для отказа системы достаточно отказа Э1 «ИЛИ» Э2 ...

«ИЛИ» Эп).

Для системы последовательных соединений элементов

(13)

$$P_{\text{СБ}}^{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n P_{\exists i},$$

а для системы параллельных соединений элементов

(14)

$$P_{\text{СБ}}^{\text{пар}} = \sum_{i=1}^n P_{\exists i},$$

где n – число элементов в системе.

Так как $P_{\exists i} \ll 1$, то $P_{\text{СБ}}^{\text{посл}} \ll P_{\text{СБ}}^{\text{пар}}$.

Параллельное соединение элементов представляет собой резервирование – введение в систему избыточного количества элементов сверх минимально необходимого для выполнения требуемой функции системы. Без параллельного резервирования вроде бы и можно обойтись, но в атомной отрасли это недопустимо, так как требуется высокая надёжность функционирования АЭС, исключающая возможность возникновения запроектных аварий.

При выполнении ВАБ в качестве показателей надёжности элемента используются как понятие вероятности отказа элемента P_{\exists} к моменту времени t , так и понятие вероятности безотказной работы элемента R_{\exists} к моменту времени t (т.е. на интервале времени $[0, t]$):

$$P_{\exists}(t) \approx \lambda t, \quad (15)$$

$$P_{\exists}(t) + R_{\exists}(t) \approx 1, \quad (16)$$

$$t_{\text{отказа}} \approx 1/\lambda \quad (P_{\exists}(t) = 1, \text{ т.е. отказ произошёл}). \quad (17)$$

Здесь λ – интенсивность (частота) отказов – статистическая характеристика, определяемая как число отказов элементов данного типа n за единицу времени, $\lambda = n/t$; $t_{\text{отказа}}$ – средняя наработка на отказ. Параметры λ и $t_{\text{отказа}}$ оценивают опираясь на данные испытаний и опыт эксплуатации. Часто представляемый график в технической литературе о надёжности (рис. 25) показывает, что интенсивность отказов элементов изменяется в зависимости от времени их эксплуатации («времени наработки»).

Результаты ВАБ представляются в табличной форме и включают данные о частотах исходных событий, частотах либо вероятностях повреждения активной зоны вследствие исходных событий и общую (суммарную) частоту (вероятность) повреждения активной зоны (табл. 13).

Представленный в табл. 13 пример ВАБ с оценкой аварийных ситуаций для энергоблоков типа ВВЭР-1000 показывает, что преобладающий вклад в вероятность возникновения тяжёлой аварии с повреждением активной зоны вносят большие и малые течи из первого контура, течь из первого контура во второй контур и обесточивание энергоблока в стояночном режиме [24].

Действующими в России НП-001-15 установлены предельно допустимые (целевые) значения следующих вероятностных показателей безопасности

энергоблоков АЭС [25]:

- $\lambda = 10^{-5}$ реактор $^{-1}$ год $^{-1}$ для частоты тяжёлой запроектной аварии с повреждением активной зоны;
- $\lambda = 10^{-7}$ реактор $^{-1}$ год $^{-1}$ для частоты предельного аварийного выброса радиоактивных продуктов за пределы защитной оболочки.

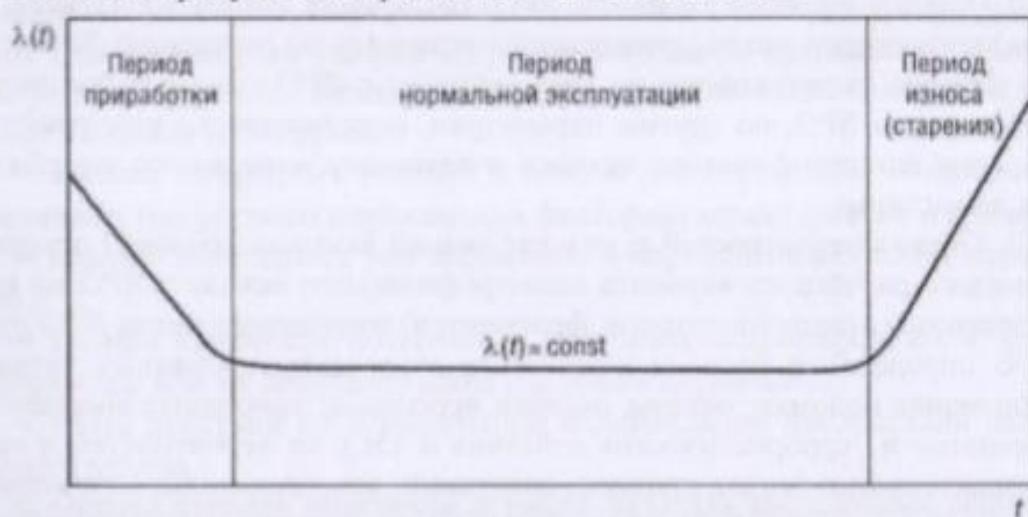


Рис. 25 – Зависимость интенсивности отказов элемента от времени эксплуатации (наработки).

Оценка приемлемости уровня безопасности АЭС осуществляется путём сравнения полученных по результатам ВАБ значений вероятностного показателя безопасности ($\lambda_{\text{ВАБ}}$) с установленными в нормативных документах предельно допустимыми (целевыми) значениями ($\lambda_{\text{нд}}$). Вероятностным критерием безопасности АЭС является выполнение неравенства $\lambda_{\text{ВАБ}} \leq \lambda_{\text{нд}}$.

Из результатов вероятностной оценки безопасности энергоблока типа ВВЭР-1000 (табл. 13) следует вывод, что общая частота повреждения активной зоны ядерного реактора составляет $2,38 \cdot 10^{-7}$ 1/год. Это значительно ниже нормативно установленной – 10^{-5} 1/год.

Результаты ВАБ для АЭС имеют оценочный характер. Однако в рамках представленной методологии оценки рисков АЭС, оперируя одними и теми же исходными данными, можно сравнивать результаты ВАБ для различных проектов АЭС, проводить сравнительные оценки влияния на надёжность проектных решений при проектировании и строительстве АЭС нового поколения, модернизации действующих АЭС, как это было сделано в 2011 г. на 5-м энергоблоке НВ АЭС.

В заключении рассмотрения особенностей оценки риска НВ АЭС приведём общий алгоритм такой оценки для ЯРО – энергетических реакторов АЭС, одновременно являющимися ядерно- и радиационно-опасными объектами.

Алгоритм включает следующие основные процедуры.

1. Анализ структуры и состава ЯРО и определение на этой основе ограниченного перечня катастрофических исходов (опасных событий, связанных со значительным негативным воздействием со стороны ЯРО на окружающую

среду и, как следствие, со значительным ущербом социальным объектам: обществу и индивидууму). Ранжирование катастрофических исходов с ЯРО по причинам (механизму) осуществления и степени тяжести. Выделение расчётных вариантов катастрофических исходов с ЯРО, существенно отличных по степени тяжести и механизму осуществления.

2. Анализ жизненного цикла ЯРО. Выделение этапов (подэтапов, фрагментов) жизненного цикла, существенно отличных по состоянию ЯРО, средствам и методам эксплуатации, по сопряжённым с ЯРО техническим системам, по размещению ЯРО, по другим параметрам, определяющим вероятности осуществления катастрофических исходов и величины возможного ущерба в случае их реализации.

3. Оценка вероятностей p_i (частот аварий высоких уровней) осуществления каждого расчётного варианта катастрофического исхода с ЯРО на каждом из выделенных этапов (подэтапов, фрагментов) жизненного цикла ЯРО путём:

↳ определения перечня возможных нерегламентированных ситуаций с ЯРО (включая поломки, отказы, ошибки персонала, природные аномалии, злоумышленные и террористические действия и т.п.), их вероятностей и важнейших характеристик (видов уровней, сочетаний, продолжительности первичных аномальных воздействий на элементы ЯРО со стороны окружающей среды, видов и сочетаний отказов элементов и подсистем ЯРО), выделение наиболее характерных и предположительно наиболее опасных нерегламентированных ситуаций;

↳ анализа развития нерегламентированных ситуаций, построения «деревьев» событий, определения уровней и вероятностных распределений воздействий на критические элементы ЯРО, выделения и количественного описания ограниченного (необходимого и достаточного) перечня вариантов аномальных воздействий на критические элементы ЯРО;

↳ анализа возможных реакций ЯРО (критических элементов ЯРО) на аномальные воздействия и отказы, определение вероятностей катастрофических исходов с ЯРО в случаях определённых вариантов отказов и аномальных действий.

4. Определение видов и уровней поражающих факторов со стороны ЯРО при катастрофических исходах. Оценка степени углубления или снижения поражающих воздействий со стороны ЯРО на окружающую природную и социальную среду, техносферу, обусловленных сопряжёнными средствами эксплуатации, действиями обслуживающего персонала.

5. Оценка вероятностей p_i смерти индивидуума в случае катастрофических исходов на каждом из выделенных фрагментов жизненного цикла ЯРО путём:

→ анализа природных условий, влияющих на «распространение» поражающих факторов со стороны ЯРО, выделения из расчётных (типовых) вариантов;

→ учёта взаимного расположения индивидуума и ЯРО;

→ анализа возможных действий индивидуума в случае катастрофического исхода с ЯРО, проводимых эвакуационных, медицинских, профилактиче-

ских мероприятий, выделения расчётных вариантов этих действий;

→ анализа реакции индивидуума на поражающие воздействия и определения их последствий для его здоровья, выделения летальных уровней поражающих воздействий.

6. Выделение видов ущерба U , наносимого обществу в случае катастрофического исхода с ЯРО. Определение показателей и единой меры ущерба U .

7. Оценка величин ущерба U , различного вида, наносимого обществу в случае катастрофических исходов с ЯРО на каждом из выделенных фрагментов жизненного цикла ЯРО, путём:

- анализа природных условий и оценки зон поражения, с определением их граничных (по уровням поражающих факторов) характеристик и размеров;

- анализа населённых зон поражения и определения степени поражения в зонах;

- оценки стоимости потерянных материальных, природных и культурных ценностей или их восстановления (по зонам поражения);

- учёта действий по ограничению и ликвидации последствий катастрофического исхода.

8. Оценка степени опасности и риска ЯРО для выделенных социальных объектов, в том числе по различным видам опасности, на различных этапах жизненного цикла, в соответствии с принятыми обобщёнными и интегральными показателями вероятности и ущербов по соотношениям (1) – (17).

6. Нормативное обеспечение радиационной безопасности на НВАЭС.

Запроектные аварии на АЭС, произошедшие в 1986 г. на Чернобыльской АЭС (СССР) и в 2011 г. на Фукусимской АЭС (Япония), подталкивают проектантов и обслуживающий инженерный персонал совершенствовать системы безопасности атомных станций, выходя на более высокий уровень.

Что подразумевается под радиационной безопасностью в ядерной энергетике? Это несколько шире, чем безопасность тепловынергетике, так как в последней в основном рассматривается риск потери электро- либо теплогенерации. В ядерной же энергетике понимается совокупность технологических решений, технических средств и организационных мероприятий, исключающих возможность нарушения пределов безопасной эксплуатации ядерного реактора, при которых происходит выход радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения за предусмотренные границы в количествах, превышающих установленные для нормальной эксплуатации энергоустановки, т.е. присовокупляется к риску потери генерации радиационный риск – угроза для жизни и здоровья людей, непосредственный вред для биоты, попавшей в зону радиоактивного заражения. Вопросы радиационной безопасности тесно связаны с ядерной безопасностью, так как ядерная авария разрушает физические барьеры технологической схемы обращения ядерного топлива или снижает их эффективность по удержанию продуктов деления.

После аварии на Чернобыльской АЭС выходят в свет нормативные документы как международные так и отечественные. В области обеспечения радиа-

ционной безопасности персонала, населения и окружающей среды это было связано в первую очередь с выходом новой публикации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) №60 в 1990 г. и основанных на ней Международных Норм безопасности (МАГАТЭ, серия безопасности №115, 1997 г.), предложившей новые дозовые пределы облучения персонала и населения, принятые впоследствии большинством стран мира. В России данные рекомендации были введены Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» [10].

Упомянутым федеральным законом и Нормами радиационной безопасности (в настоящее время это НРБ-99/2009 [5]) установлены основные пределы доз для ограничения техногенного облучения персонала и лиц из населения в контролируемых условиях. Основные пределы доз установлены для величины годовой эффективной дозы и годовой эквивалентной дозы облучения отдельного органа. Годовая эффективная доза равна сумме эффективной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Профессиональное облучение персонала ограничено так, чтобы не превышались следующие пределы:

- 1) 20 мЗв в год – для годовой эффективной дозы, усреднённой за пять последовательных лет, но не более 50 мЗв в год;
- 2) 150 мЗв в год – для годовой эквивалентной дозы на хрусталик глаза;
- 3) 500 мЗв в год – для годовой эквивалентной дозы на конечности (кисти рук и стопы ног);
- 4) 500 мЗв в год – для годовой эквивалентной дозы на кожу.

Для лиц из населения основные пределы доз установлены на следующих уровнях:

- 1) 1 мЗв в год в среднем за любые 5 лет, но не более 5 мЗв в год;
- 2) 15 мЗв, 50 мЗв и 50 мЗв – пределы годовой эквивалентной дозы на хрусталик глаза, конечности и кожу соответственно.

Дополнительно были выпущены нормативные документы Госатомнадзором России в 2001 г. НП-032-01 «Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности» [27] и Минздравом России в 2003 г. СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций» [28].

Результаты деятельности по совершенствованию радиационной защиты персонала, населения и окружающей среды при эксплуатации АЭС в нашей стране после аварии на Чернобыльской АЭС в результате оказались следующие:

- облучаемость персонала АЭС снижена в среднем примерно в 3 раза;
- радиационное воздействие АЭС на население и окружающую среду снижено в десятки раз;
- созданы и функционируют автоматизированные системы контроля радиационной обстановки в районах расположения АЭС (АСКРО) и учёта результатов индивидуального дозиметрического контроля (АСИДК);
- начата и ведётся модернизация систем радиационного контроля (СРК)

АЭС, что позволяет осуществлять радиационный контроль (РК) до окончания жизненного цикла энергоблоков на площадке АЭС;

- разработана и поставляется в настоящее время на АЭС новая аппаратура радиационного контроля.

В 2011 г. случается ещё одна запроектная авария на Фукусимской АЭС (Япония). После этого производится ревизия нормативных документов, взамен НП-032-01 Ростехнадзор выпускает в свет в 2019 г. обновлённые федеральные нормы и правила НП-032-19 «Площадка атомной станции. Требования безопасности» [29] и для придания им общефедерального статуса регистрирует их в Минюсте РФ. С выходом этих норм и правил окончательно в атомной отрасли внедряется риск-ориентированный подход к обеспечению безопасности АЭС в России.

В обновлённых нормах и правилах ужесточены требования к сейсмичности площадки: ранее допускалось строительство с сейсмичностью до IX баллов включительно по шкале Медведева-Шпонхайера-Карника MSK-64, сейчас лишь до VIII баллов включительно – ответная реакция на причину аварии у Фукусимской АЭС (землетрясение → цунами → катастрофа).

В НП-032-01 предусматривалось, что оценка радиационной обстановки для проектных и запроектных аварий должна была производиться для наименее благоприятных метеорологических условий, то начиная с 2019 г. для проектных аварий для наименее благоприятных метеорологических условий, т.е. когда население подвергается наибольшему радиационному риску, а для запроектных аварий – наиболее вероятных метеорологических условий.

Что следует за этим решением? Наихудшим сценарием для запроектной аварии на НВ АЭС является ситуация, когда радиоактивное загрязнение распространяется на миллионный город Воронеж. Согласно НП-032-19 расчёты радиоактивного загрязнения по наихудшему сценарию (запроектная авария) требуется производить для юго-западного направления (рис. 12), т.е. для малонаселённой территории Воронежской области. В этом и заключается принцип риск-ориентированного подхода. В этом случае снимается вопрос эвакуации миллионного города.

Внесена существенная новация в правила подтверждения безопасности АЭС: каждые 10 лет должна подтверждаться проектная оценка радиационного воздействия на население при нормальном функционировании энергоблока, в случае проектных и запроектных аварий. Это совпадает с нормативными сроками декларирования безопасности опасных производственных объектов.

В настоящее время, если к методическим подходам проведения ВАБ вопросов практически не возникает от других ведомств, то к прогнозированию последствий запроектной аварии, особенно в части формирования радиоактивного следа и определения натурального вреда, обнаруживаются существенные различия в применяемых методиках. И это неудивительно, так как в решении этого вопроса, имея большой практический опыт, продвинулись помимо Росатома много ведомств: Министерство обороны РФ, МЧС России, Росгидромет, Минсельхоз РФ, Минздрав РФ и др., при этом каждое ведомство в применяемых методиках расчёта последствий запроектной аварии делает акцент на определение интересующих это ведомство показателей. Наряду с этим в методиках

используется свой математический аппарат, используются исходные данные с теми или иными допущениями, не влияющими на получение требуемых показателей последствий запроектной аварии.

Прогнозирование радиологических последствий при запроектной аварии на энергетической установке АЭС должно решать две основных задачи:

1) определение радиологической значимости аварии на основе потенциальных доз облучения персонала АЭС и населения;

2) классификация аварии по радиологической тяжести и выбор на этой основе оптимальных мер радиационной защиты персонала АЭС и населения.

Любая атомная станция имеет несколько энергоустановок и при выходе на аварийный режим одной, отнюдь не означает, что другие энергоблоки также находятся в такой ситуации. Остающийся персонал на исправных энергоблоках предотвращает возникновение аварийных ситуаций на них, не допускает общей эскалации аварии на АЭС. Это происходило на Чернобыльской АЭС, про Фукусимскую АЭС однозначного утверждения нет.

Для случая запроектной аварии на АЭС конкретными задачами прогнозирования радиологических последствий должны быть (укрупнено):

а) установление масштабов аварийного распространения радиоактивного вещества на территории промплощадки АЭС, в пределах санитарно-защитной зоны, в зоне наблюдения и далее;

б) прогностическая оценка результирующих уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды и пищевых цепей человека на различных фазах аварии – этапах развития и ликвидации чрезвычайной ситуации – в зависимости от местоположения относительно источника выброса;

в) оценка потенциальных доз облучения персонала АЭС и населения на различных фазах аварии;

г) сопоставление потенциальных дозовых нагрузок на персонал АЭС и население с аварийными дозовыми пределами и на этой основе – дифференциация района радиационного воздействия на зоны сроков осуществления мер радиационной защиты персонала АЭС и населения (укрытие, йодная профилактика, эвакуация и др.).

Более подробно алгоритмы оценки доз облучения населения при запроектной аварии на АЭС при различных фазах представлен на рис. 26.

Прогнозирование радиологических последствий запроектной аварии на АЭС, как указывалось выше, требуется производить при проектной оценке радиационного воздействия на население и при подтверждении безопасности АЭС. Данные расчёты должны использоваться в ходе разработки аварийного плана, при реализации этого плана на ранней фазе аварии с целью уточнения прогноза радиологических последствий, хранящегося в банке данных, а также на протяжении промежуточной и поздней фаз аварии на основе фактического подтверждения (полевых замеров) ранее сделанных оценок радиационной обстановки.

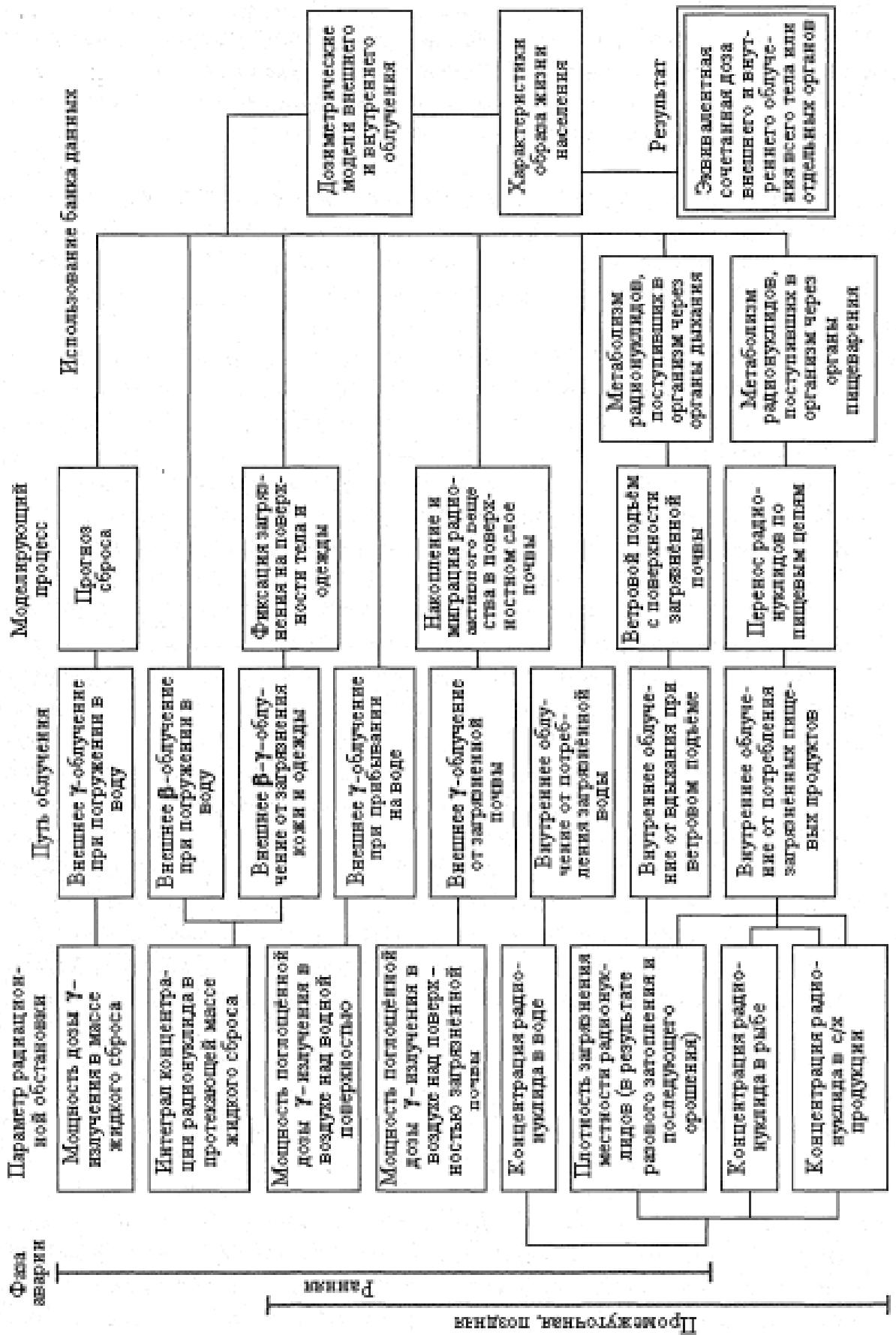


Рис. 26 – Алгоритм оценки доз облучения населения при запроектной аварии на АЭС.

Для осуществления прогнозирования радиационной обстановки запроектной аварии на АЭС необходимы:

- 1) Методики оценки рассеяния облака выброса и истечения газообразных выбросов, распределения и миграции радионуклидов в окружающей среде;
- 2) Методики оценки потенциальных, в том числе ожидаемых доз облучения персонала АЭС и населения по всем возможным путям облучения человека;
- 3) Географические, климатологические, гидрологические и экологические характеристики района размещения атомной станции, в том числе розу ветров с целью прогнозирования последствий запроектной аварии согласно НП-032-19;
- 4) Социально-экономические и демографические характеристики района расположения АЭС;
- 5) Слагающиеся типичные количественные соотношения концентраций радионуклидов в отдельных объектах окружающей среды и пищевых цепях человека применительно к району расположения АЭС и возможные их изменения с течением времени;
- 6) Данные об экологических особенностях прилегающих территорий к АЭС (до 100 км) и потенциальных радиоэкологических последствиях.

В среде специалистов, занимающихся прогнозированием радиационных последствий аварий на РОО и применения ядерных боеприпасов выработаны правила прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения территорий [30], суть которых в следующем.

① Принимается следующее допущение: установленные границы радиоактивного загрязнения и применяемые населением меры защиты в течение периода времени на который производится оценка радиационной обстановки остаются неизменными. Изменяется только обобщённый показатель радиационной обстановки, определяемый скоростью радиоактивного распада присутствующих в выбросе радионуклидов.

② Рассматриваются только те пути облучения и только тот радионуклидный состав, при котором отдельный радионуклид является значимым – не менее 1 % радиоактивности вносит в суммарную дозу облучения.

③ При оценке доз облучения населения по всем возможным путям и дальнейшем сопоставлении с аварийными дозовыми пределами целесообразен расчёт эффективных эквивалентных доз сочетанного внешнего и внутреннего облучения, а также эквивалентных доз сочетанного облучения отдельных органов и тканей. При этом необходимо рассматривать дозы за каждый отдельный период (фазу аварии) и ожидаемые (за 50 и 70 лет) дозы сочетанного облучения, прежде всего от поступления радионуклидов через органы пищеварения.

④ При выборе отдельных количественных параметров, входящих в оценки доз облучения, из множества имеющихся или опубликованных данных следует руководствоваться необходимостью использования оптимальных значений. Отвергая принцип «наихудшего (максимального или минимального по значениям) варианта», в экстренных оценках предпочтение целесообразно отдавать значениям, относящимся к средним медианным или лежащим между средними арифметическими и средними медианными, задавая этим пределы

погрешности результатов не более 50 %. При необходимости более точных оценок необходим анализ статистических распределений значений параметров, что даёт соответствующие статистические средние, с прогнозируемыми отклонениями среднего результата от его максимальных и минимальных значений.

⑤ Прогноз доз облучения населения следует ориентировать на типичный половозрастной состав для рассматриваемой территории. При необходимости выявления критических популяционных групп (дети, беременные женщины) оценки потенциальных доз облучения населения возможно использование изменённых количественных показателей, характеризующих особенности жизнедеятельности этих групп, например, возрастные особенности, отличия в образе жизни и питании, вида деятельности и т.д.

Итак, зона радиоактивного загрязнения определяется параметрами выброса во время запроектной аварии и конечно же погодными условиями. На факторе погодных условий следует остановиться отдельно, так как существуют различные подходы к учёту их, в свою очередь позволяющие прогнозировать перемещение радиоактивного облака с той или иной достоверностью. Это зависит от исходных метеоданных (их объективности и дискретности по времени и расстоянию определения от АЭС), подстилающей поверхности, так как перемещение облака рассматривается в ближней зоне от АЭС и для высот до 1 - 2 км и ряда других уточняющих параметров, характеризующих погодные условия, в том числе перспектива выпадения осадков (рис. 27). Выбросы из защитной оболочки и вытяжных труб перемещаются с атмосферным воздухом. Облако радиоактивных продуктов (газообразных и аэрозолей) распространяется по направлению ветра, при этом происходит диффузионное и турбулентное размывание облака с вымыванием нуклидов осадками и сухим осаждением на поверхность территории.

При прогнозировании первоначального рассеяния выброса в атмосфере при запроектной аварии на АЭС используют ряд моделей рассеяния примесей в атмосфере:

а) Гауссовые модели, которые являются наиболее простыми, всего лишь требуют в качестве исходных данных информацию о скорости и направлении ветра в месте выброса, атмосферной устойчивости, высоте и мощности выброса. Обеспечивают быструю оценку концентрации в воздухе на расстояниях до 5 – 10 км от источника выброса в зависимости от шероховатости подстилающей поверхности и метеорологических условий во время выброса.

б) Модели факела по Лагранжу. Более сложны, требуют информацию о скорости и направлении ветра более чем в одной точке. Дают реалистическую оценку траектории облака выброса и слагающихся концентраций в воздухе на большем удалении от АЭС, чем 5 – 10 км.

в) Трёхмерные модели перемещения и диффузии. Требуют множественных измерений скорости и направления ветра в горизонтальном и вертикальном направлениях с учётом влияния рельефа, шероховатости подстилающей поверхности и изменения устойчивости атмосферы.

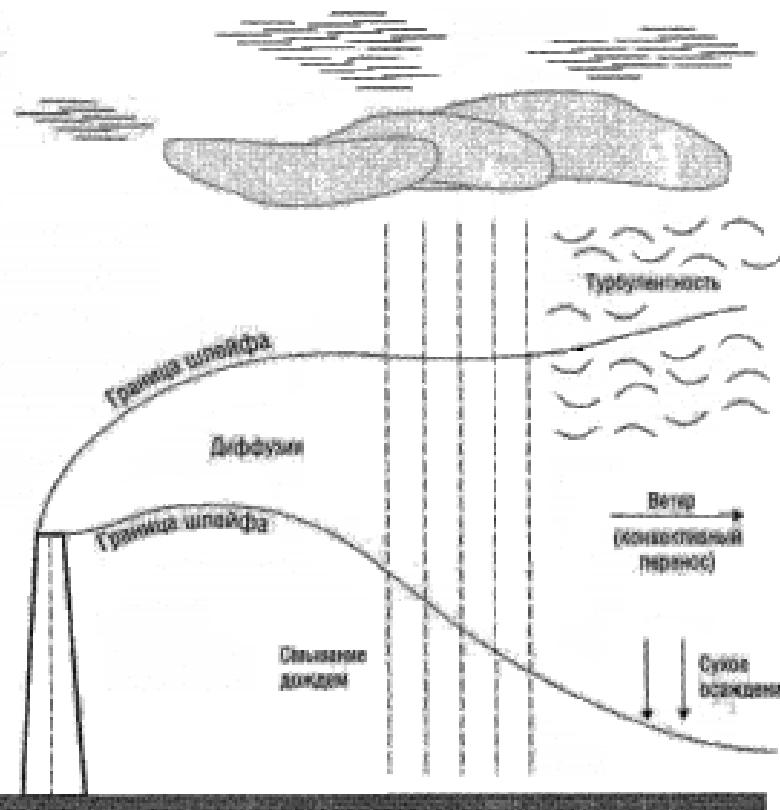


Рис. 27 – Поведение радиоактивных выбросов в тропосфере при аварийной ситуации на АЭС.

Для региональных управлений МЧС России разработан упрощённый методический подход по определению зон радиоактивного загрязнения при запроектных авариях на АЭС для различных типов энергетических реакторов (РМБК, ВВЭР-440, ВВЭР-1000) [31], что даёт возможность производить экспресс расчёты при проводимых штабных тренировках территориальных органов управления РСЧС (Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций).

Эффективная индивидуальная доза ИД, Зв, внешнего облучения от проходящего облака для *i*-го нуклида на расстоянии *l* от точки выброса определяется по формуле

$$\text{ИД}_i(l) = Q_i \cdot D_i \cdot C(l), \quad (18)$$

где Q_i – величина активности выброса *i*-го нуклида, Бк;

D_i – дозовый коэффициент *i*-го нуклида, учитывающий биологическое воздействие на организм человека испускаемого *i*-им нуклидом излучения, мЗв/Бк;

$C(l)$ – коэффициент разбавления радиоактивных изотопов в атмосфере, с/м³.

Суммарная эффективная индивидуальная доза от всех нуклидов определяется как

$$\text{ИД}_i(l) = \sum Q_i \cdot D_i \cdot C(l). \quad (19)$$

При предварительной оценке возможных последствий при запроектной аварии на АЭС, а также при оперативном прогнозировании (текущих оценках)

выбор радионуклидов, входящих в состав выбрасываемой в окружающую среду газово-аэрозольной смеси и подлежащих рассмотрению в оценках потенциальных доз облучения населения, должен быть основан на следующих показателях, характеризующих каждый отдельный радионуклид:

- вклад активности радионуклида в суммарную активность газово-аэрозольной смеси;
- ядерно-физические характеристики, определяющие интенсивности γ -излучения радионуклида (энергию γ -излучения и скорость радиоактивного распада) и результирующие относительные дозовые уровни внешнего облучения человека и биоты;
- относительные радиологические характеристики, определяющие интенсивность внутреннего облучения при попадании радионуклида в организм и оцениваемые, например, по соотношению значений предельно допустимого поступления через органы дыхания и пищеварения (НРБ-99/2009 [5]).

Первичным источником ионизирующих излучения в ЯР является ядерное топливо, при делении которого образуются мгновенные нейтроны, γ -излучение и осколки деления с продуктами их распада, излучающими β -частицы, γ -кванты и запаздывающие нейтроны. После длительной работы ЯР в топливе образуется ~ 600 новых ядер – осколков деления и продуктов их распада с А = 72 + 161. Удельная активность достигает $\sim 10^5 - 10^6$ КИ/кг, через год после выгрузки она снижается до $\sim 10^3 - 10^4$ КИ/кг, а через 3 года – ещё на порядок, но остаётся очень высокой. Из продуктов деления наибольшую радиационную опасность для внешней среды представляют инертные радиоактивные газы – ИРГ (изотопы и криптона и ксенона), изотопы йода (прежде всего ^{131}I), стронция (^{89}Sr и ^{90}Sr) цезия (^{134}Cs , ^{137}Cs) и др.

В результате ядерных реакций в материалах, облучаемых первичным излучением (топливе, замедлителе, теплоносителе, конструкционных материалах, защите и др.), возникает вторичное излучение: нейтроны, γ -кванты, β -частицы, протоны и др., которое в свою очередь можно считать первичным для последующих ядерных реакций. Заметный вклад из вторичных излучений даёт захватное γ -излучение, образующееся в результате поглощения нейтронов (радиационного захвата), и активационное γ -излучение, сопровождающее распад искусственных радиоактивных ядер, образовавшихся в результате поглощения нейтронов.

При учёте этих факторов в рассмотрение следует включать только те радионуклиды, которые с учётом их миграции в окружающей среде и пищевых цепях, а также с учётом их метаболизма дают вклад в суммарную потенциальную дозу сочетанного облучения человека не менее 1 %. При запроектных авариях на энергетических установках на АЭС заметный вклад в общую радиоактивность осуществляют $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}K , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{132}Te , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{135}I , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{144}La , ^{239}Ce , ^{239}Np [30].

Наивысшие дозовые коэффициенты имеют изотопы йода, стронция и цезия, по которым ведутся расчёты и замеры и выполняются соответствующие защитные мероприятия.

После «Фукусимской» запроектной аварии пришло понимание, что методику прогнозирования запроектной аварии требуется сделать нормативной, так как принимаемые решения по результатам прогнозирования зон радиоактивных загрязнений могут повлечь за собой расходование финансовых и материальных ресурсов из федерального и регионального бюджетов, перемещение (эвакуацию) населения, ограничение в вопросах жизнедеятельности людей, изменение режимов функционирования объектов экономики и др., т.е. устанавливается режим радиационной защиты. Для решения этого вопроса в 2015 г. вышел в свет Национальный стандарт Российской Федерации «Режимы радиационной защиты на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению» [32].

7. Физико-геологические процессы и явления и их возможное влияние на безопасность НВАЭС.

Развитие экзогенных процессов в рассматриваемом районе весьма неоднородно, как по их интенсивности, так и по преобладающим видам.

В пределах 30-ти километровой зоны выделяется ряд крупных районов (рис. 28), где существуют геолого-геоморфологические предпосылки для протекания важнейших видов внешней геодинамики (водной эрозии, оползнеобразования, супфозии, просадочных явлений и карста). Помимо имеющихся проявлений этих процессов, возможна их интенсификация при тех или иных неблагоприятных техногенных воздействиях.

Наибольшей активностью процессы водной эрозии обладают на правобережье р. Дон и в долинах его правобережных притоков.

Процессы плоскостного смыва в значительной степени определяют состояние (степень эродированности) почвенного покрова. Широкое распространение склоновых поверхностей с крутизной более 2,5 градусов (пределный угол склона, при котором начинается размыв почв, сформированных на покровных лессовидных суглинках при снятой дернине) заставляет ожидать в случае экстенсификации земледелия и вследствие этого значительного возрастания делювиального смыва.

В ряду наиболее эффективных мероприятий, позволяющих существенно сократить площади смывающихся почв, следует рекомендовать увеличение объёмов работ по защитным лесополосам.

Линейная эрозия, приводящая к формированию густой овражной сети в пределах правобережья, тесно связана с интенсивностью плоскостного смыва, размерами и формой овражных водосборных бассейнов, противозерозионной устойчивостью размываемых пород, гипсометрическим положением местных базисов эрозии. Борьба с местной эрозией включает комплекс взаимосвязанных мероприятий в зависимости от состояния указанных факторов.

Склоновые овраги наиболее тесно связаны с плоскостными потоками и литологией пород субстрата. Базисы эрозии овраги часто индивидуальны и обусловлены морфологией склона, на участках где крутизна склонов достигает предельных величин, обуславливающих достаточные скорости водных потоков для размыва пород, сдерживается лишь наличием на склонах дернины, уничтожение которой может привести к быстрому проявлению и интенсивному росту

склоновых оврагов.

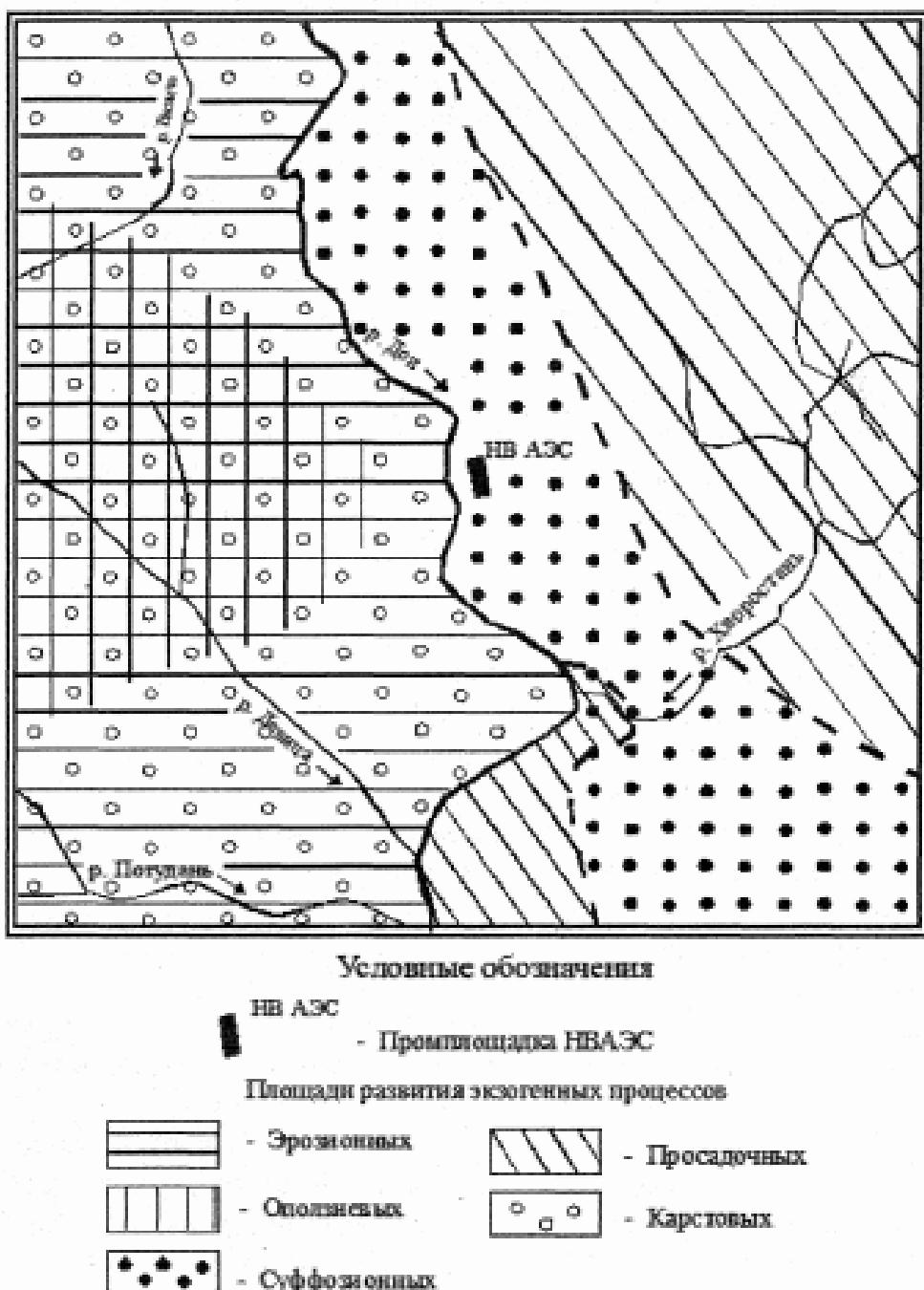


Рис. 28 – Геолого-морфологическое районирование по видам физико-геологических процессов в районе расположения НВАЭС.

Очень часто процессы линейной эрозии связаны с колеями грунтовых дорог. К ещё более разрушительным последствиям приводит сплошная распашка склонов.

Базисы эрозии склоновых оврагов чаще всего приурочены к их горизонтальным или выпукленным участкам, которые в свою очередь могут быть связаны с литоструктурными террасами, формирующимиися по границам пород с различной противоденудационной характеристикой. В пределах рассматри-

ваемой территории наиболее важное значение имеют уровни: кровли донской морены, кровли эоценовых (киевских) глин, кровли карбонатных пород верхнего мела.

Развитие овражных систем с преимущественно эрозионным происхождением начинается прежде всего с изменения положения базисов эрозии, а также объёмов поверхностного слоя в пределах их бассейнов.

Густота горизонтального расчленения возвышающегося правого берега над поймой р. Дон от 2 до $2,5 \text{ км}/\text{км}^2$, средняя длина растущих оврагов – 600 м.

Овраги и промоины формируются в покровных суглинках и подстилающей их донской морене, имеют поперечный V-образный профиль, склоны крутизной от 25 до 20 градусов.

По левобережью процесс оврагообразования протекает менее активно.

Наиболее интенсивные проявления оползневых процессов и области их возможной активизации располагаются также в пределах правобережья р. Дон.

В отличие от овражных систем, образовавшихся за счёт преобладающей линейной эрозии, для оползневых процессов на первое место выступают выходящие в склон потоки подземных вод.

Основным базисом оползневой денудации служит кровля киевских глин и мергелей. Глины и мергели являются региональным водоупором для расположенных над ними харьковских и полтавских водоносных песков.

Существенно меньшую роль в качестве водоупоров играют отложения донской морены и верхнего мела.

Гипсометрическое положение кровли киевских глин, мощность перекрывающих отложений определяют глубину формирующихся оползней.

Активизация оползнеобразования связана с сезонными колебаниями водообильности водоносных горизонтов. Максимум скорости роста оползней приходится на весну – начало лета.

Специфика формирования оползней должна учитываться при выборе средств защиты земель, которые в ряде случаев резко отличаются от применяемых в борьбе с линейной эрозией.

Оползни наиболее интенсивно протекают по правобережью р. Дон, в междуречье Потудань-Девица (рис. 29). В морфологическом отношении выделяются оползни-оплывины, блоковые и оползни отсыдания, их распространение связано с характером геологического строения участка. Оплывины образуются на склонах речных долин, оврагов и балок, выработанных в карбонатных породах верхнего мела, перекрытых склоновыми отложениями, смещение оползневых тел происходит по контакту коренных и склоновых отложений. Оплывины в поперечнике измеряются от нескольких метров до десятков метров, глубина захвата от 0,3 до 0,8 м.

Блоковые оползни связаны с выходами на склонах водоупорных отложений, важнейшее значение среди которых имеют моренные суглинки и глины, глины киевской свиты, в меньшей степени – карбонатная толща верхнего мела. Наибольшее распространение имеют оползни, приуроченные к донской морене, их размеры не превосходят в плане от 2 до 3 м на $10 \div 15 \text{ м}$, глубина захвата достигает от 3 до 5 м.



Рис. 29 – Гидрологическая система в районе расположения НВАЭС.

В области распространения киевских глин, перекрытых харьковскими и полтавскими песками, блоковые оползни формируют крупные 200×300 м в плане оползневые цирки. Оползни отседания связаны с покровными суглинками, залегающими на песчаных водноледниковых и аллювиальных образованиях, размеры их в плане не превышают 15×20 м, а глубина захвата соответствует мощности покровных суглинков (в среднем по размеру составляет $5 + 6$ м). По левобережью р. Дон оползневые процессы распространены весьма ограниченно, среди них преобладают оползни отседания.

Процессы суффозии приурочены к левобережью р. Дон и концентрируются главным образом в районе Воронежского Вала и на аллювиальных террасовых равнинах.

Проявлению суффозии способствует высокая проницаемость песчаных пород.

Скорость суффозионных процессов во многом определяется объёмами фильтрующейся воды, степенью неравномерности её распределения по площади.

Особую опасность суффозионные процессы могут представлять для участков техногенного развития территории, где они становятся причиной значительного оседания поверхности в случае утечек или аварийных сбросов технических вод.

Просадки достаточно широко распространены по левобережью р. Дон, где связаны с лессовидными макропористыми суглинками и супесями, перекрывающими III и IV надпойменные террасы и частично водноледниковые отложения так называемой Воронежской флювиогляциальной гряды. При увлажнении макропористые грунты уплотняются, что в рельфе выражается в форме западин и блюдце диаметром от нескольких метров до нескольких десятков метров при глубине до 1,5 м. Участки наиболее интенсивного развития карстовых процессов сосредоточены, в основном, на правобережье р. Дон, в бассейне р. Девица.

В геологическом отношении здесь сочетаются достаточно высокая проницаемость четвертичных пород и наличие карбонатных коренных пород, расположенных выше уровня эрозии (долина р. Дон).

Карстовые процессы отмечаются преимущественно в междуречье Потудань – Девица и связаны с карбонатными породами верхнего мела, морфологически представлены мелкими (от первых метров до $10 + 15$ м в поперечнике и глубиной до $1 + 1,5$ м) воронками погребённого под четвертичными отложениями карста, приуроченными в основном к зонам повышенной трещиноватости. По левобережью р. Дон отмечаются проявления погребённого карста в виде мелких пустот и каверн в известняках верхнешигровской подсвиты верхнего девона.

Из других современных физико-геологических процессов следует отметить участки перевеваемых песков по левобережью р. Дон. Пески образуют дюнные скопления высотой до $2 + 3$ м и размером в плане до 20×30 м. После лесных пожаров 2010 г. многочисленные выходы песков на дневную поверхность оголены, сосновые леса, ранее закрепляющие пески вдоль Дона, практи-

чески выгорели от г. Воронежа до г. Нововоронежа и местами до г. Лиски. В настоящее время идёт медленное восстановление лесов.

Заболачивание развито на пойме рр. Дон, Девица, в низовьях р. Потудань, связано с застаиванием поверхностных вод в понижениях рельефа, особенно на участках распространения старицальных отложений.

Пойма реки Дон в районе промышленной площадки НВАЭС по ширине колеблется от $0,6 \div 0,7$ до $1,2 \times 2,5$ км, изобилует староречьями, заполняющими водой, особенно в весенний паводковый период. Ширина русла реки в районе площадки АЭС достигает $100 \div 160$ м, а глубина – от 5 до 6 м. Средний уклон составляет $0,06$ м/км ($0,06\%$). Абсолютная отметка уреза воды колеблется в пределах от 81 до 83 м БС.

В районе НВАЭС преобладающим является свободное меандрирование русла р. Дон, но на отдельных участках излучины соединяет прямолинейное параллельно перемещающееся русло (рис. 30).



Рис. 30 – Схема р. Дон в районе г. Нововоронежа.

Непосредственно напротив нынешней площадки АЭС в прошлое время активно развивались две излучины: петлеобразная Духовская и синусоидальная – Востриковская.

руслы разных лет. Однако классическая форма ленточных гряд, формируемая песчаными отложениями на р. Дон в районе НВАЭС, не обнаруживается, что подтверждает сложные условия транспорта наносов на этом участке реки.

В 2018 – 2019 гг. активизировался размыв левого берега Дона в нижней части Новоалёновской излучины (по ходу течения Дона) перед прудом-охладителем 5-го энергоблока НВАЭС (рис. 31, 32). Активный размыв с одновременным обрушением (оползанием) берега происходит даже на меженном уровне реки.

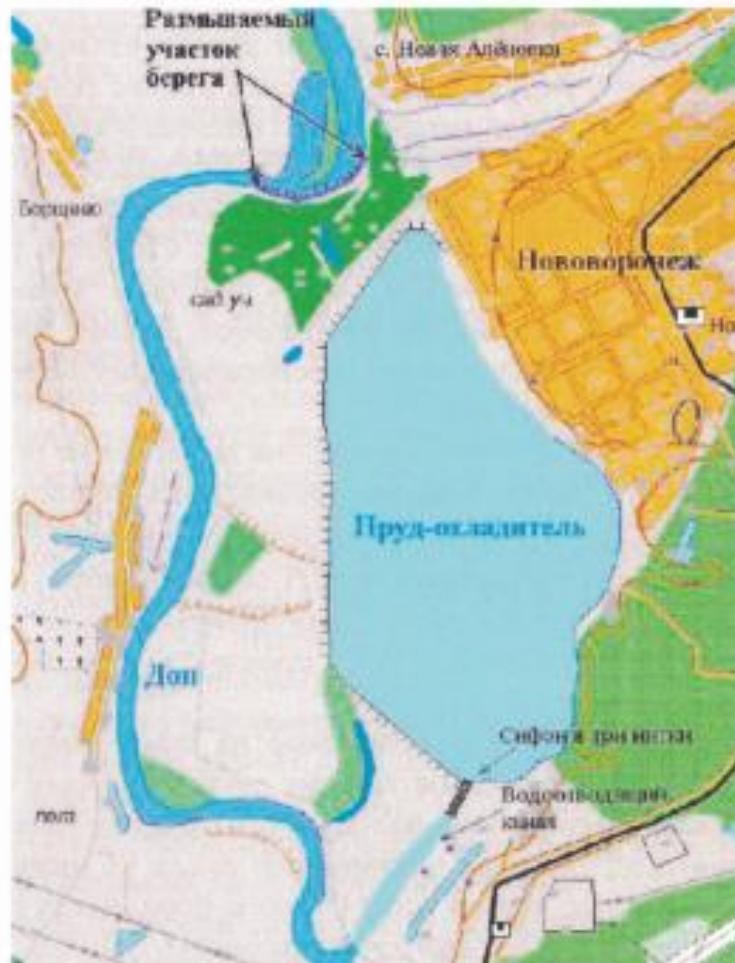


Рис. 31 – Местонахождение размываемого участка левого берега Дона.

Причина активизации размыва исследована и изложена в достаточно доступной форме для принятия решения по необходимому берегоукреплению Дона [33]. Размыв с одновременным обрушением (оползанием) берега Дона спровоцирован изменившимися гидрогеологическими условиями под воздействием пруда-охладителя. После наполнения пруда-охладителя уровень грунтовых вод повысился на 11 – 12 м в самом г. Нововоронеж, происходит, естественно фильтрация воды через днище водохранилища и борта дамбы, обводняв возвышающийся левый берег Дона над рекой, что в свою очередь провоцирует оползание (обрушение) берега со стороны пруда-охладителя (рис. 32). В подтверждение этому хорошая иллюстрация приведена на рис. 11 – схематическая карта гидроизогипс залегания подземных вод в районе пруда-охладителя 5-го энергоблока НВАЭС.



Рис. 32 – Ситуационный план зоны активного размыва берега и её месторасположений относительно пруда-охладителя.

8. Гидрологические риски для НВАЭС и величина их возможной реализации.

Возникновение нештатной ситуации для атомной станции может быть обусловлена внешними природными причинами, одной из которых имеет гидрологический характер.

Гидрологическими рисками для НВАЭС являются:

- 1) паводочный подъём уровня воды в реке Дон;
- 2) маловодье во время летней межени, так как Дон является источником технического водоснабжения станции;
- 3) сложная ледовая обстановка, которая может повлиять на водозабор технической воды;
- 4) гидродинамическая авария на дамбе пруда-охладителя.

8.1. Рассматриваемые сценарии наводнений в районе НВАЭС.

Главной фазой водного режима р. Дон является весеннее половодье, которое наблюдается чаще всего в марте-апреле. В этот период проходит в среднем 63 % годового стока воды. В отдельные годы формируются очень высокие половодья, вызывающие наводнения. Благоприятными условиями для

формирования таких половодий являются: большое содержание воды в снежном покрове, дружность половодья и сток воды с водоём по промёрзшим почво-грунтам, которые не могут впитывать талые воды или впитывают их ограниченно. В отдельные годы наблюдаются зимние оттепели, вызывающие таяние снега и формирование нескольких волн половодья различной высоты. Благодаря такому периодическому зимнему стаиванию снега весной нередко формируется относительно невысокое половодье, которое по величине максимального расхода может значительно уступить февральской или даже январской волнам половодья.

Максимальный за многолетний период расход воды, наблюденный на р. Дон у г. Лиски (1888 г.), составил $11200 \text{ м}^3/\text{s}$. Соответственный расход для района НВАЭС равен $9750 \text{ м}^3/\text{s}$. Это соответствует вероятности его превышения $\approx 0,8\%$. Расчётные максимальные расходы воды приводятся в табл. 14.

Таблица 14
Расчётные максимальные расходы воды весеннего половодья
в районе НВАЭС на р. Дон

Обеспеченность	Расчётные максимальные расходы воды весеннего половодья, $\text{м}^3/\text{s}$,						
	0,01 % с гарант. попр.	0,01 %	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %	5 %
По имеющемуся ряду наблюдений	17100	15500	12300		9200	8680	6880
С учётом катастрофических событий	20600	18600	14900	12400	11100		8330

Сроки прохождения весеннего половодья приведены в табл. 15.

Таблица 15
Характерные даты весеннего половодья р. Дон

Характеристика	Даты			Продолжительность половодья, сутки
	начала половодья	наибольшего расхода	окончания половодья	
Средняя	22/III	3/IV	16/V	63
Ранняя	24/XII	2/III	24/IV	98
Год	1954	1990	1964	1991
Поздняя	12/IV	17/IV	7/VI	37
Год	1929	1987	1908	1969

Летне-осенняя межень может быть прервана дождевыми паводками. Количество паводков в дождливые годы может достигать 5 – 10, но они могут не наблюдаться вовсе в засушливые годы. Максимальные расходы воды дождевых паводков на р. Дон значительно ниже максимальных расходов весеннего половодья. Максимальный наблюдённый расход воды дождевого паводка в створе НВАЭС составил всего $250 \text{ м}^3/\text{s}$. Максимальные расчетные расходы воды дождевых паводков приводятся в табл. 16.

Таблица 16

Расчётные максимальные расходы воды дождевых паводков
в районе НВАЭС на р. Дон

Расчетные максимальные расходы воды дождевых паводков, м ³ /с						
Обеспеченность	0,01 %	0,1 %	1 %	2 %	5 %	10 %
Расходы воды, м ³ /с	443	353	274	257	223	201

В табл. 17 представлены характеристики стока воды по наблюдениям в районе НВАЭС в современный период времени.

Таблица 17

Основные характеристики стока воды, р.Дон – створ НВАЭС

Год	Средний годовой сток воды			Сток весеннего половодья					Минимальный сток	
	$Q_{\text{ср}}^{\text{год}}$, м ³ /с	$W \times 10^6$, м	Обеспечен- ность, Р %	$Q_{\text{ макс.}}$, м ³ /с	Дата	$W \times 10^6$, м	Доля стока от головного, %	Продолжитель- ность основной волны половодья, сутки	$Q_{\text{мин.}}$, м ³ /с	Дата
1994	305	9618	9	4120	12.04	5085	53	57	118	02.12
1995	205	6465	58	810	18.03	2720	42	69	100	20.07
1996	222	7001	46	3000	12.04	2935	42	42	97	28.08
1997	156	4920	88	570	17.03	949	19	37	90	08.09
1998	185	5834	72	770	17.03	2340	40	69	110	09.08
1999	212	6686	54	760	06.04	1993	30	42	118	20.07
2000	215	6800	52	1240	08.04	2050	30	46	110	28.12
2001	220	6938	47	1010	21.03	2080	39	84	121	30.08
2002	190	5992	70	438	14.03	1978	35	80	103	01.09

Экстремальное наводнение в створе площадки НВАЭС может сформироваться в результате прорыва плотин вышележащих водохранилищ – Матырского на р. Матыре (притоке р. Воронеж) и Воронежского – на р. Воронеж. Гидротехнические сооружения водохранилищ рассчитаны на пропуск весеннего половодья, вероятность прохождения которого возможна один раз в 200 лет (0,5 % обеспеченности половодья). При пропуске половодья более редкой повторяемости (один раз в 1000 или тем более 10000 лет) учитывается возможность разрушения гидроузлов и плотин Воронежского и Матырского водохранилищ и формирование волны прорыва с катастрофическими расходами воды на р. Дон в створе НВАЭС.

В этом случае возможны различные сценарии формирования максимально возможного наводнения:

а) при разрушении Воронежского гидроузла – в половодье редкой повторяемости;

б) при последовательном или одновременном разрушении Матырского и Воронежского гидроузлов с дальнейшим наложением параметров волны прорыва на пик половодья 0,01 % обеспеченности р. Дон.

Расчёты максимальные уровни воды различной обеспеченности (Р %)

с учётом сценария катастрофического наводнения при реализации событий прохождения волны прорыва плотин вышележащих Матырского и Воронежского водохранилищ в створе площадки следует принять равными:

- при $P = 0,01\%$ $\rightarrow 95,0$ м БС (95,3 м БС с учётом гарантированной поправки);
- при $P = 0,1\%$ $\rightarrow 94,0$ м БС;
- при $P = 1\%$ $\rightarrow 92,9$ м БС;
- при $P = 5\%$ $\rightarrow 91,9$ м БС.

Относительный «ноль» площадки – 96,50 м БС.

Согласно имеющимся материалам предпроектных гидрологических изысканий даже с наложением параметров волны прорыва на пик половодья реки Дон 0,01 % обеспеченности расчётный уровень воды не превысит 95,0 м при планировочной отметке 6 и 7 блоков НВАЭС 96,5 м БС.

Без учёта катастрофического события прохождения волны прорыва плотин показанные максимальные уровни на $0,5 \div 1,0$ м ниже.

Поверхность самой площадки имеет общий наклон в плане к западу в сторону долины реки Дон. Азимут наклона – 254 град., общий уклон – 3,0 %. Водораздельная линия расположена восточнее площадки, имеет абсолютные отметки $140 \div 150$ м БС.

В естественных условиях абсолютные отметки поверхности площадки изменились от 94,6 до 105,8 м БС. В процессе строительства поверхность была спланирована, планировочная отметка – 95,9 м БС. Главный корпус блоков 6 и 7 находится на расстоянии около 400 м от уреза р. Дон.

Анализ данных показывает, что максимальные уровни воды р. Дон в районе гидротехнических сооружений НВАЭС определяются, главным образом, максимальными расходами половодья самой реки. Волна прорыва плотин вышележащих Матырского и Воронежского водохранилищ очень быстро распластывается по длине реки и на участке НВАЭС не превышает 0,7 м. В створе НВАЭС (на расстоянии 36,8 км ниже Воронежского гидроузла) максимальные (после прорыва) уровни воды (95 м БС) могут быть достигнуты через 3,7 суток. Скорость распространения волны прорыва около 417 м/ч ($0,12$ м/с). Уровни воды выше 94,0 м БС могут держаться до 5 суток.

Таким образом, в силу особенностей размещения площадки НВАЭС её затопление вследствие прорыва плотин Матырского и Воронежского даже на фоне катастрофического половодья на р. Дон невозможно.

8.2. Риск маловодья на р. Дон для безаварийной эксплуатации НВАЭС.

Основой технического водоснабжения блоков энергоблоков НВАЭС является р. Дон.

Водный режим реки определяется климатическими условиями. Величина стока воды сильно изменяется как в течение года, так и от года к году.

Норма стока р. Дон (средний годовой расход воды за многолетний период) в районе НВАЭС составляет $223 \text{ м}^3/\text{с}$; его значения обеспеченностью 50, 75, 95 и 97 % равны соответственно 220, 176, 122 и $109 \text{ м}^3/\text{с}$. Внутригодовое

распределение стока приводится в табл. 18.

Таблица 18

Расчтное распределение стока по месяцам, р. Дон – створ НВАЭС

Обеспеченность водности	Расчетное распределение стока по месяцам, м ³ /с											
	Весна			Лето-осень						Зима		
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Средняя Р = 50 %	161	1250	374	131	115	96,4	84,4	94,0	104	102	82,6	69,6
Маловодная Р = 75 %	386	804	196	112	87,9	83,3	69,6	91,4	95,8	95,8	83,0	55,6
Очень маловодная Р = 95 %	263	551	132	79,7	61,5	58,5	50,1	64,5	69,0	73,0	62,4	47,3
Очень маловодная Р = 97 %	236	492	118	71,2	54,9	52,2	45,7	57,6	61,8	64,8	55,5	46,3

За многолетний период наблюдались годы с различной водностью межени. Для технического водоснабжения НВАЭС лимитирующими являются маловодные годы в сочетании с засушливым летним периодом. Расчтные минимальные расходы воды р. Дон в районе НВАЭС приведены в табл. 19.

Таблица 19

Расчтные минимальные расходы воды, р. Дон – створ НВАЭС

Расчтные минимальные расходы воды, м ³ /с			
Обеспеченность		90 %	95 %
Летняя межень	Среднемесячные	63,6	51,2
	Суточные	59,6	47,7
Зимняя межень	Среднемесячные	44,3	41,3
	Суточные	29,1	25,8
			39,6
			23,7

Водопотребление в бассейне Дона выше водозаборов НВАЭС сравнительно невелико и составляет порядка 15 % от стока воды в этом створе. В связи с этим оценка водообеспеченности непосредственно связана с объемом и режимом принимаемого санитарно-экологического допуска (табл. 20).

Таблица 20

Санитарно-экологические попуски в расчетных створах

Расчетный створ	Значение санитарно-экологического попуска, м ³ /с
р.Дон, г.Задонск	31,9
р.Матыра, створ Матырского водохранилища	8,2
р.Воронеж, г.Липецк	13,0
р.Воронеж, створ Воронежского водохранилища	14,0
р.Дон, створ АЭС	47,9
р.Дон, г.Лиски	55,0

Снижение расходов воды ниже величины санитарного попуска может привести к негативным последствиям как для реки, так и для водохозяйственных систем, базирующихся на ресурсах этой реки. В табл. 21 приводится месячное распределение экологического стока и экологически допустимое изъятие объема годового и месячного стока р. Дон по ситуации в створе г. Лиски.

Таблица 21

**Месячное распределение экологического стока и
экологически допустимое безвозвратное изъятие стока**

Характеристика	P, %	Объемы стока по месяцам и за год, млн. м ³						
		III	VI	V	VI	VII	VIII	
Расчетные	95	811	1643	410	237	189	180	
Экологические		428,5	1244,2	364,3	212,0	169,0	160,7	
Расчетные	97	1192	2395	763	334	270	256	
Экологические		808,8	1995,9	557,1	309,2	250,4	237,3	
Экологически допустимое изъятие стока		383,1	399,1	45,5	25,2	20,1	19,0	
Характеристика	P, %	IX	X	XI	XII	I	II	Год
Расчетные	95	149	198	206	224	192	131	4572
Экологические		136,1	150,0	145,2	150,0	150,0	131,4	3441,4
Расчетные	97	207	281	235	295	255	155	6528
Экологические		194,2	232,7	224,8	220,2	213,5	154,6	5398,7
Экологически допустимое изъятие стока		13,2	48,5	60,3	74,4	42,0	0,0	1130,4

Как следует из результатов расчёта водохозяйственных балансов предпроектных изысканий при строительстве 6 и 7 энергоблоков НВАЭС, проектное водопотребление полностью удовлетворяется в средних (50 % обеспеченности) и среднемаловодных условиях (75 % обеспеченности). В остромаловодных условиях (95 % и 97 % обеспеченности) балансы показывают дефицит водных ресурсов, приходящийся на требования 2-го приоритета (расчётная обеспеченность которых и должна быть меньше). В год 97 % обеспеченности фиксируется небольшой дефицит требований первого приоритета в августе месяце в размере 7,4 млн. м³ (2,8 м³/с). Формально этот дефицит лежит в пределах допустимого снижения требований 1-го приоритета. Однако более правильно отнести названный дефицит к санитарному попуску (7 % от среднемесячного санитарного расхода). В этом случае обеспеченность всех требований 1-го приоритета составит 97 % по числу бесперебойных лет при обеспеченности санитарного попуска 95 % по числу бесперебойных лет и 99 % по сумме бесперебойных меженных месяцев календарного ряда.

В варианте водопотребления, соответствующем отдалённой перспективе, картина качественно не меняется. Увеличивается дефицит в августе года 97 % обеспеченности. Для развития атомной станции тогда можно предусмотреть использование резервного регулирования стока на базе водохранилища-охладителя выводимого к тому времени из эксплуатации 5-го энергоблока.

Существенное сокращение величин безвозвратного водопотребления в бассейне Верхнего Дона в последние годы привело к уменьшению напряжённо-

сти водохозяйственного баланса. По данным статистической отчётности в последние 10 лет наблюдается снижение водопотребления в верхнем Дону.

При изменении ситуации возникающие в маловодные годы дефициты могут быть покрыты путём создания дополнительной ёмкости. По-видимому, строительство дополнительного крупного водохранилища в бассейне Верхнего Дона сегодня нереально и речь может идти только об изменении Правил управления Воронежским водохранилищем. Часть его ёмкости должна быть предназначена для погашения дефицитов в створе НВАЭС путём компенсационного регулирования стока. В этой связи целесообразно рассмотреть вопрос о разработке диспетчерских Правил управления Воронежским водохранилищем. К тому же существующие схемы управления основаны на системе приоритетов, что приводит к нежелательным колебаниям уровня воды в водохранилище при сработке его до критических отметок.

8.3. Риск возникновения сложной ледовой обстановки, которая может повлиять на водозабор технической воды для НВАЭС.

Ледовый режим р. Дон в районе НВАЭС неустойчивый. В этом месте на реку всё ещё оказывает влияние сброс тёплой и химически наполненной воды из Голубого Дуная – по существу сбросной воды с правобережных очистных сооружений и с многочисленных попутных сбросов с селитебной территории пригородов Воронежа с небольшим разбавлением поступающими в водоток грунтовыми водами, а также оказывает влияние и водосброс с Воронежского водохранилища, имеющий также некоторое химическое наполнение с левобережных очистных сооружений и селитебной территории городского округа.

Зима на рассматриваемой территории неустойчивая, например, в зиму 2019-2020 г. ледовый покров в рассматриваемом месте так и не образовался. Зимой периоды с отрицательными температурами воздуха прерываются оттепелями различной длительности. С переходом температуры воздуха к отрицательным значениям на реке появляются ледовые явления: забереги, сало, шуга, шугоход, ледоход, ледостав, заторы, зажоры.

Характерным явлением на р. Дон и наиболее неудобным для эксплуатации водозабора является шугоход. Мощность слоя плывущей шуги достигает $0,5 + 0,7$ м, а в застойных местах при её накоплении 1,2 м. При западных и северо-западных ветрах шуга прибивается к левому берегу и часто забивает ковш существующего водозабора НВАЭС. Среднее число дней с шугоходом – 9, наибольшее – 38 (1987 г.), наименьшее – 1 (1963 г.).

При резких похолоданиях установление ледостава происходит путём смерзания шуги, в первую очередь, на участках с более медленным течением. С участков реки, остающихся открытыми, шуга перемещается под установившийся ледяной покров и часто вызывает зажорные явления. Мощность слоя шуги подо льдом на отдельных участках может достигать 2 м. Подъём уровня воды при зажорах может достигать 1 м. Однако чаще всего ледостав устанавливается за счёт увеличения и смерзания заберегов.

Расчётные отметки нижней поверхности ледяного покрова приведены в табл. 22.

Таблица 22

**Расчетные отметки ледяного покрова, р. Дон –
Створ береговой насосной станции НВАЭС**

Расчётные отметки ледяного покрова, м БС				
Обеспеченность, %	75	90	95	97
Отметка, м БС	80,43	80,30	80,05	79,95

В отдельные годы возникает сложная ледовая обстановка, вызывающая различные воздействия на береговые гидротехнические сооружения от ледовых нагрузок. Эти нагрузки определены расчётом при проведении предпроектных гидрологических изысканий при строительстве 6 и 7 блоков НВАЭС и составили:

- давление зажорно-заторных скоплений – 0,40 кПа при толщине скоплений 2 м;
- 1 % прочность льда на сжатие и изгиб соответственно – 0,46 и 0,35 мПа;
- толщина льда при вскрытии 80 см, при ледоходе – 55 см;
- средние размеры льдин 5 × 12 м при скорости течения – 1,35 м/с.

Расчётные максимальные уровни воды при ледоходе приведены в табл. 23.

Таблица 23

**Расчётные максимальные уровни воды при ледоходе, р. Дон –
Створ береговой насосной станции НВАЭС**

Расчётные максимальные уровни воды при ледоходе, м					
Обеспеченность, %	0,5	1	15	20	25
Первый ледоход	88,90	86,50	85,10	84,00	83,40
Второй ледоход	90,36	88,90	88,45	88,20	87,90

Температура воды в период ледостава составляет $0,1 \div 0,2^{\circ}\text{C}$. После разрушения ледостава начинается постепенный, а при нарастании температуры воздуха – более интенсивный прогрев воды. Максимальных значений температура воды достигает в июле или августе. Наибольший прогрев воды в районе НВАЭС наблюдался в 2001 г. В этот год средняя месячная температура воды в июле составила $26,0^{\circ}\text{C}$, средняя температура второй и третьей декады июля составляет 27°C , средняя температура самой жаркой пятидневки – $28,1^{\circ}\text{C}$, максимальная срочная – $28,9^{\circ}\text{C}$. Устойчивое охлаждение воды начинается в середине-конце августа.

Средние месячные и средняя годовая температуры воды за многолетний период приводятся в табл. 24.

Таблица 24

**Средняя многолетняя месячная температура воды р. Дон –
Створ береговой насосной станции НВАЭС**

Средняя многолетняя месячная температура воды, $^{\circ}\text{C}$												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0,1	0,1	0,4	6,2	15,5	20,4	22,3	20,8	15,2	7,9	2,2	0,2	9,3

Максимальные расчётные значения температуры воды приводятся в табл. 25.

Таблица 25

**Наибольшая расчётная температура воды, р. Дон –
Створ береговой насосной станции НВАЭС**

Обеспеченность, %	Наибольшая расчетная температура воды, °C						
	0,01	0,1	1	2	5	10	50
Средняя месячная	27,2	26,2	25,1	24,8	24,2	23,8	22,3
Средняя декадная	-	-	26,8	-	-	25,4	23,5
Максимальная суточная	32,5	30,5	29,0	28,5	27,8	27,4	25,8

На участке сброса тёплых вод из градирен третьего и четвёртого энергоблоков естественный температурный режим р. Дон искажается влиянием сброса. Это влияние прослеживается вдоль левого берега р. Дон в полосе до 20 м от уреза воды на расстоянии до 1,5 км, но уже в 0,2 км ниже сброса становится незначительным. Максимальная разница температуры воды непосредственно на сбросе и естественной при полной мощности АЭС достигала 13 °C.

9. Метеорологические риски для НВАЭС и величина их возможной реализуемости.

Имеющиеся фоновые данные Отдела агрометеорологических наблюдений «Воронеж» и метеостанции «Нововоронеж» за период с 1994 по 2001 г., расположенной в непосредственной близости от площадки НВАЭС, позволили проанализировать метеорологические риски для зданий, сооружений и оборудования атомной станции.

Анализ расчетных метеорологических и аэроклиматических характеристик площадки НВАЭС позволил установить, что метеорологические, аэроклиматические параметры и условия атмосферной дисперсии площадки НВАЭС по большинству параметров, не противоречат критериям и требованиям по обеспечению безопасности, регламентированным НП-032-01 [27].

Полученные расчётные метеорологические параметры позволяют сделать вывод, что по метеорологическим параметрам размещение площадки НВАЭС не имеет противопоказаний. По результатам анализа полученных и расчетных характеристик параметров пограничного слоя атмосферы установлено, что условия ветрового режима на высотах, режим температурных инверсий, застоев воздуха, турбулентного перемешивания не являются неблагоприятными для рассеивания примесей.

В предпроектных метеорологических изысканиях для 6 и 7 блоков НВАЭС представлены консервативные оценки рассеивающих свойств атмосферы необходимые для определения радиационной обстановки на границе санитарно-защитной зоны и за её пределами в течение кратковременного выброса из блока атомной станции при наименее благоприятных метеорологических условиях, характерных для района размещения Нововоронежской АЭС.

Оценки кратковременного фактора разбавления примеси в атмосфере (χ/Q) получены по гауссовой модели атмосферной диффузии. В этой модели учитывается отражение примеси от нижней и верхней границ области рассеяния [34]:

$$\chi/Q = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z U_h} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(2H_m + h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(2H_m - h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

где σ_y , σ_z – стандартное поперечное и вертикальное отклонение распределения примеси в струе;

U_h – скорость ветра на высоте выброса h ;

H_m – высота слоя перемешивания.

Стандартное поперечное отклонение распределения примеси в струе для различных расстояний от источника рассчитывалось по формуле:

$$\sigma_y(x) = c_3 x (1 + 0,0001x)^{-0,5},$$

где c_3 – коэффициент, значения которого для рассматриваемых ниже категорий устойчивости атмосферы приведены в табл. 26.

Таблица 26

Расчётные значения коэффициентов и
расчётных высот слоёв перемешивания воздушной среды

Категории устойчивости атмосферы	c_3	a_1	b_1	a_2	b_2	$H_m, м$
A	0,22	0,112	1,06	0,000538	0,815	1600
D	0,08	0,098	0,889	0,00135	0,688	500
F	0,04	0,0638	0,783	0,00136	0,672	200

Стандартное вертикальное отклонение распределения примеси в струе рассчитывалось по формуле:

$$\sigma_z(x) = \frac{a_1 x^{b_1}}{1 + a_2 x^{b_2}}$$

где a_1 , b_1 , a_2 и b_2 – коэффициенты, значения которых даны в табл. 26.

Наименее благоприятными условиями для рассеивания примеси понимается такое сочетание метеорологических параметров, при котором значения наземной концентрации существенно выше величин, наблюдаемых обычно в пределах рассматриваемого класса устойчивости. Для приподнятых и высоких источников особо опасным является сочетание приподнятой инверсии температуры над источником выброса и малой скорости ветра (шиля) в слое под инверсией, а для наземного источника – сочетание приземной инверсии и приземного штиля. Известно, что совместная повторяемость приподнятых инверсий и малых скоростей ветра наибольшая при сильной неустойчивости атмосферы, а интенсивные приземные инверсии и малые скорости ветра характерны для сильно устойчивой атмосферы.

Расчёты отношений χ/Q для оси струи при аварийном кратковременном выбросе на высоте 121 м (высотный источник) выполнены для трех категорий устойчивости атмосферы: А (сильная неустойчивость), D (нейтральная) и F (сильная устойчивость). Выбор таких категорий устойчивости обусловлен тем, что, во-первых, все категории устойчивости атмосферы наблюдаются в районе площадки НВАЭС, во-вторых, как известно, в зоне расположения высокого источника максимальные приземные концентрации наблюдаются при сильной

неустойчивости атмосферы, а около наземного источника – при сильной устойчивости.

Расчёчная скорость ветра на уровне выброса принималась равной 1 м/с. В качестве значений высоты слоя перемешивания (табл. 26) использовались оценки максимальных значений σ_z при разных категориях устойчивости. Наименее благоприятные (наихудшие) условия для рассеивания выбросов от высотного источника моделировались также посредством уменьшения высоты слоя перемешивания, характерного для сильно неустойчивой атмосферы, до высоты приподнятой инверсии температуры над источником выброса.

Результаты расчётов нормированной приземной концентрации представлены в табл. 27 и, дополнительно, оценки χ/Q показаны на рис. 33. Крестиками здесь обозначены значения χ/Q , полученные для категории устойчивости атмосферы А при высоте слоя перемешивания 1,5h, где h – высота вентиляционной трубы.

Таблица 27
Нормированная приземная концентрация при аварийном выбросе из вентиляционной трубы блоков 6 и 7 НВАЭС при категориях устойчивости атмосферы А, Д, F

Расстояние от источника, м	Нормированная приземная концентрация, $\text{с}/\text{м}^3$			
	Категории устойчивости			
	A	D	F	A, ($H_m = 181,5\text{m}$)
75	1,1E-17	1,8E-176	0,0E+00	1,1E-17
100	9,0E-12	6,7E-104	0,0E+00	9,0E-12
133	1,5E-08	2,2E-62	0,0E+00	1,5E-08
178	7,3E-07	1,6E-38	0,0E+00	7,3E-07
237	5,1E-06	9,4E-25	1,5E-254	5,1E-06
317	1,2E-05	9,3E-17	6,7E-151	1,2E-05
423	1,5E-05	4,2E-12	2,9E-91	1,6E-05
564	1,3E-05	2,2E-09	9,7E-57	1,5E-05
753	9,6E-06	8,5E-08	1,3E-36	1,3E-05
1004	6,3E-06	7,0E-07	9,5E-25	1,0E-05
1339	3,9E-06	2,3E-06	1,0E-17	7,6E-06
1786	2,3E-06	4,1E-06	1,7E-13	5,3E-06
2382	1,4E-06	5,4E-06	6,2E-11	3,5E-06
3178	8,1E-07	5,7E-06	2,2E-09	2,2E-06
4238	4,8E-07	5,2E-06	2,0E-08	1,3E-06
5653	2,9E-07	4,4E-06	7,9E-08	8,2E-07
7540	2,0E-07	3,5E-06	1,8E-07	4,9E-07
10056	1,6E-07	2,7E-06	2,9E-07	3,0E-07
13413	1,2E-07	2,0E-06	3,8E-07	1,8E-07
17890	8,8E-08	1,5E-06	4,4E-07	1,1E-07
23861	6,1E-08	1,1E-06	4,6E-07	7,0E-08
31824	4,0E-08	8,5E-07	4,6E-07	4,4E-08

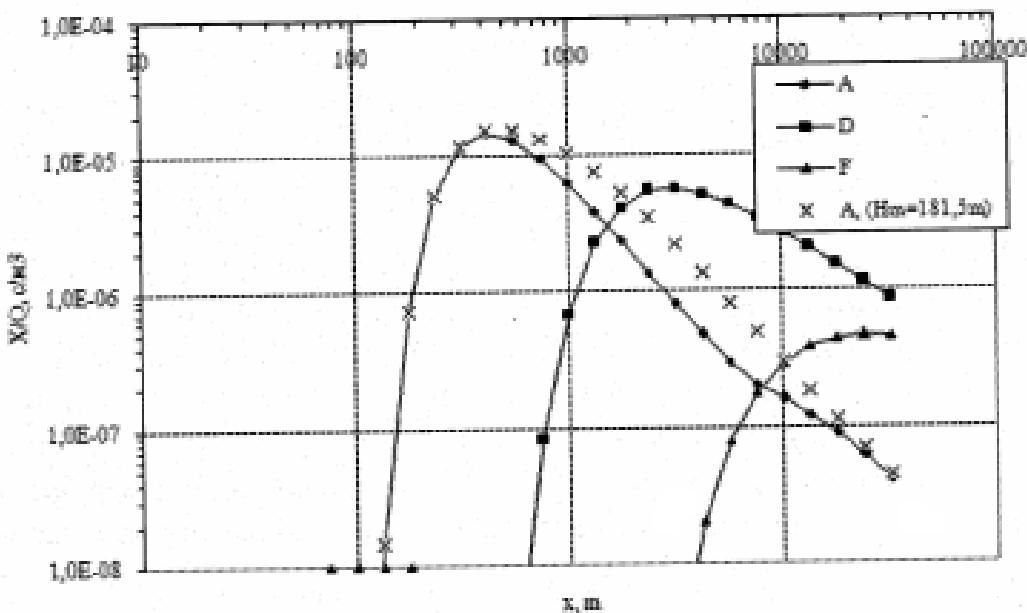


Рис. 33 – Нормированные кратковременные приземные концентрации (χ/Q) при разных категориях устойчивости атмосферы ($h=121$ м, $U_b=1$ м/с).

Как показывает анализ данных табл. 27 и рис. 33, при аварийном кратковременном выбросе максимум χ/Q находится непосредственно в зоне расположения источника при категории устойчивости атмосферы А и удаляется от источника выброса с изменением категории устойчивости атмосферы от А до F. Значение максимума тем больше, чем больше горизонтальное и вертикальное рассеяние выброса в атмосфере, т.е. чем больше неустойчивость нижнего слоя атмосферы и меньше скорость ветра на уровне аварийного выброса. При наименее благоприятных (наихудших) метеорологических условиях рассеяния для аварийного кратковременного выброса (сильная неустойчивость атмосферы и высота слоя перемешивания равна 181,5 м) увеличиваются максимальное значение нормированной приземной концентрации и значения χ/Q на расстояниях по потоку от места расположения этого максимума.

Таким образом, из анализа результатов расчётов следует, что при аварийных кратковременных выбросах из вентиляционной трубы блоков 6 и 7 НВАЭС максимальные значения χ/Q наблюдаются в ближней зоне от источника при наименее благоприятных метеорологических условиях (категория А, слабая скорость ветра и приподнятая инверсия температуры над источником), на средних расстояниях – при категории D и на дальних расстояниях – при категории F.

10. Потенциальные техногенные риски для НВАЭС и оценка их реализуемости.

В пределах десятикилометровой зоны НВАЭС располагается ряд предприятий, к наиболее крупным из которых относятся: завод «Алиот», выпускавший полупроводники и бытовую радиоэлектронику, завод «Атомэнергозапчасть», Нововоронежский железобетонный комбинат, мясокомбинат «Новово-

ронежский», Нововоронежский гормолзавод, зерносушильный завод. Эти предприятия располагаются, в основном, при въезде в г. Нововоронеж в его северо-восточной части.

Техногенные риски для НВАЭС потенциально могут возникнуть только на транспортной инфраструктуре, окружающей атомную станцию.

В ситуационном отношении район расположения промплощадки НВАЭС и сама площадка представлены хорошо развитой транспортной сетью: водными, железнодорожными и автомобильными дорогами.

Основной водной артерией является река Дон, по которой проходят основные водные пути Волго-Донского пароходства. В настоящее время сквозного водного пути по р. Дон от юга области до г. Воронежа нет.

Основной железнодорожной магистралью является двухпутная железнодорожная магистраль (в 9 км от НВАЭС) Юго-Восточной железной дороги. В 10 км к востоку от г. Нововоронежа расположена станция Колодезная Юго-Восточной железной дороги, от которой проходит одноколейная железнодорожная ветка к г. Нововоронеж и АЭС.

Город Нововоронеж соединен с г. Воронеж дорогой областного значения, проходящей через ст. Колодезная, а также с автодорогой республиканского значения «Москва-Ростов» у райцентра с. Каширское.

Существующая сеть автомобильных дорог в радиусе 30 км вокруг НВАЭС представлена дорогами:

- «Москва – Ростов-на-Дону» через Воронеж. Дорога имеет статус федерального значения и проходит северо-восточнее НВАЭС на расстоянии 27 км от промплощадки;
- «Воронеж – Луганск» с мостовой переправой через р. Дон. Дорога имеет статус федерального значения и проходит севернее НВАЭС на расстоянии 10 км от промплощадки;
- «Воронеж (от автодороги Курск-Саратов) – Острогожск – Россошь – Миллерово» федерального значения и проходит западнее НВАЭС на расстоянии 11 км от промплощадки;
- «Каширское – ст. Колодезная – Нововоронеж», местного значения.

В 2006 г. введена в эксплуатацию автодорога федерального значения «Воронеж – Луганск» с мостовой переправой через р. Дон, соединяющая г. Нововоронеж с автодорогой на г. Луганск.

Нововоронежская АЭС имеет автодорогу до г. Нововоронеж с твёрдым покрытием, с двухсторонним движением, обеспечивающую подвоз грузов и персонала АЭС на промплощадку.

Внутренняя железнодорожная сеть АЭС примыкает к общей сети железных дорог России в районе ст. Колодезная, протяжённость сети до внутренней ст. Строительная составляет 14 км.

Вдоль автодороги «Воронеж – Острогожск – Россошь – Миллерово», на расстоянии 12 км от АЭС, по правому берегу реки Дон проходят два газопровода диаметром 700 и 800 мм. От данной магистрали к потребителям г. Нововоронеж отходят два трубопровода диаметром 150 и 300 мм соответственно. Газораспределительная станция находится на расстоянии 2,5 км к северу от

блока 3.

Из города Воронежа в г. Лиски вдоль железной дороги проложен подземный магистральный газопровод с минимальным расстоянием от площадки НВАЭС в 10 км, а также проходит подземный продуктопровод «Воронеж – Лиски» с ответвлением к хранилищу нефтепродуктов на ст. Колодезная. Минимальное расстояние до АЭС составляет 11 км.

В воздушном пространстве в районе НВАЭС выполняются полёты как гражданской, так и военной авиации.

10.1. Техногенные риски для НВАЭС, обусловленные пожарами и взрывами.

В предпроектных инженерных изысканиях для 6 и 7 блоков НВАЭС представлены оценки техногенных рисков для атомной станции. Техногенные пожары для зданий, сооружений и оборудования НВАЭС вреда оказать не могут. Проблемным вопросом является только возможное загорание соснового леса, расположенного в санитарно-защитной зоне, но этот фактор риска относится только к отходящим от АЭС энергосетям.

Проанализированы возможные потенциальные источники взрывной опасности в пятикилометровой зоне АЭС. Рассмотрены три вида взрывов:

- взрывы конденсированных взрывчатых веществ;
- детонационные взрывы газопаровоздушных смесей (ГПВС);
- дефлаграционные взрывы ГПВС.

В процессе предпроектных инженерных исследований была проанализирована степень взрывной опасности стационарных объектов атомной станции. При выполнении расчётов с учётом технологических характеристик объектов внешнего воздействия на НВАЭС приняты следующие максимальные массы горючих веществ, участвующих в одновременных дефлаграционных взрывах:

- продуктопроводы и газопроводы – 3000 т;
- склады горючих веществ – 1000 т;
- взрывоопасные производства – 760 т;
- водный транспорт (речной) – 210 т;
- автомобильный транспорт – 2,2 т;
- железнодорожный транспорт – 165 т.

Расчётное давление от ударной волны для основных сооружений (главный корпус, спецкорпус, РДЭС) блока 4 НВАЭС, который находится в 250 м от площадки блоков 6 и 7 энергоблоков НВАЭС, составляет 5 кПа.

В табл. 28 приведены безопасные расстояния при возможных максимальных авариях, определённые для 4 энергоблока НВАЭС.

Как видно из табл. 28, влияние на объекты энергоблоков атомной станции могут оказать только два события:

- взрыв на танкере, проходящем мимо промплощадки НВАЭС, что исключено, как указывалось выше, в настоящее время по р. Дон на территории Воронежской области сквозного судоходства нет;
- взрыв заправленной автоцистерны, находящейся непосредственно у

какого-либо объекта на промплощадке, что практически исключается имеющимися правилами по перемещению опасных грузов по территории АЭС.

Таблица 28

Безопасные расстояния при возможных максимальных авариях в пятикилометровой зоне от 4-го блока НВАЭС

Источник взрыва	Тип взрыва, максимальная масса взрывчатого вещества, т	Границы зоны, м с заданным значением избыточного давления		
		5 кПа	10 кПа	30 кПа
1 Продуктопроводы и газопроводы	Дефлаграция, 3000	2810	1462	433
2 Склады горючих веществ	Дефлаграция, 1000	1950	1014	300
3 Взрывоопасные производства	Взрывчатое вещество, 4500 Дефлаграция, 760	3700 4565	2010 2650	955 875
4 Водный транспорт (речной)	Дефлаграция, 210	1160	604	178
5 Автомобильный транспорт	Дефлаграция, 2,2	250	132	39

Все остальные взрывоопасные объекты располагаются на безопасных расстояниях от объектов энергоблоков НВАЭС.

10.2. Оценка риска падения самолёта на промплощадку НВАЭС.

В воздушном пространстве в районе расположения Нововоронежской АЭС выполняются полёты как гражданской, так и военной авиации.

Воздушные суда гражданской авиации совершают полёты на участках трёх воздушных трасс (коридоров), а также сети, представляющей собой кольцевой двухсторонний коридор над населёнными пунктами Тербуны, Петровское, Усман-Петровское, Б. Полянка, Рогачёвка, Ст. Оскол, Котовка и др.

Воздушные суда военной авиации выполняют полёты в районе аэродрома Воронеж-Б («Балтимор»), а также совершают полёты по маршрутам с выходом из района аэродрома.

Также в воздушном районе АЭС выполняются учебно-тренировочные полёты авиацией РОСТО (Российское спортивно-техническое общество) с аэродрома «Гремячье» и испытательные полёты создаваемых самолётов на Воронежском авиазаводе (заводской аэродром «Придача»). Авиационный полигон «Погоново» используется для проведения практического и тактического бомбометания и пуска ракет.

Схема фрагмента структуры воздушных полётов в районе Нововоронежской АЭС представлена на рис. 34, 35.

Общая ситуационная характеристика воздушного пространства района расположения площадки НВАЭС представлена воздушными трассами (коридорами) полётов как гражданской, так и военной авиации.

Воздушные суда гражданской авиации совершают полёты по следующим основным трассам:

⇒ «Тербуны – Воронеж – Петровское – Бокал»;

- ⇒ «Усмань – Петровское – Римни – Бутурлиновка»;
- ⇒ «Волганка – Воронеж»;
- ⇒ «Тербуны – Б. Полянка – Нечаевка – Усмань – Петровское»;
- ⇒ «Рогачевка – Можайское – В. Марки – ст. Оскол-Котловка – Тербуны».

Воздушные суда военной авиации выполняют полёты в районе аэродрома Воронеж-Б, а также совершают полёты с выходом из района аэродрома. Ближайшим к площадке НВАЭС военным объектом является полигон военной авиации «Погоново».

Полётная характеристика пятидесятикилометровой зоны вокруг НВАЭС.

В пятидесятикилометровой зоне расположены пять аэродромов:

Аэродром Воронеж-Б (находится в районе Песчаного Лога в Советском районе г. Воронежа). Аэродром является круглогодичным и принимает военные самолёты во всех погодных условиях днём и ночью. Интенсивность полётов составляет:

- а) учебно-тренировочных полётов – от 240 до 280 в неделю;
- б) перелётов и трассовых полётов – 1 – 2 в неделю;

Аэродром «Чертвицкое» используется для взлёта и посадки самолётов гражданской авиации практически всех типов (кроме ИЛ-96). Проектная интенсивность полётов на аэродроме составляет:

- а) для среднемагистральных самолётов – до 20000 самолётов в год;
- б) для малой авиации – до 120000 взлётов-посадок в год.

Аэродром «Придача» является заводским (ВАСО) и используется для производства испытательных полётов самолёта ИЛ-96 и др. Интенсивность полётов составляет от 100 до 120 полётов в год.

Аэродром «Гремячье» используется для учебных полётов. Интенсивность полётов – от 1200 до 1500 полётов в год.

Авиационный полигон «Погоново» используется для проведения практического и тактического бомбометания и пуска ракет. При практическом бомбометании используются авиационные бомбы до 250 кг, а также управляемые ракеты класса «воздух-земля». Средняя годовая интенсивность полётов – от 5000 до 5200 заходов.

Полётная характеристика тридцатикилометровой зоны вокруг НВАЭС.

В указанной зоне располагаются следующие элементы структуры воздушного пространства:

► Район аэродрома Воронеж-Б:

а) маршрут разведки погоды № 4 (Воронеж – Каменка – Красное – Воронеж) используется перед началом полётов на аэродроме для определения нижней и верхней границы облаков и особенностей состояния атмосферы в районе аэродрома;

б) маршрут разведки погоды № 2 (Воронеж – Курбатов – Ст. Оскол – Красное – Воронеж);

в) маршрут разведки погоды № 3 (Воронеж – Анна – Бобров – Воронеж). Интенсивность использования маршрутов составляет 60 – 70 полётов в год по каждому на высотах от 2000 до 4000 метров;

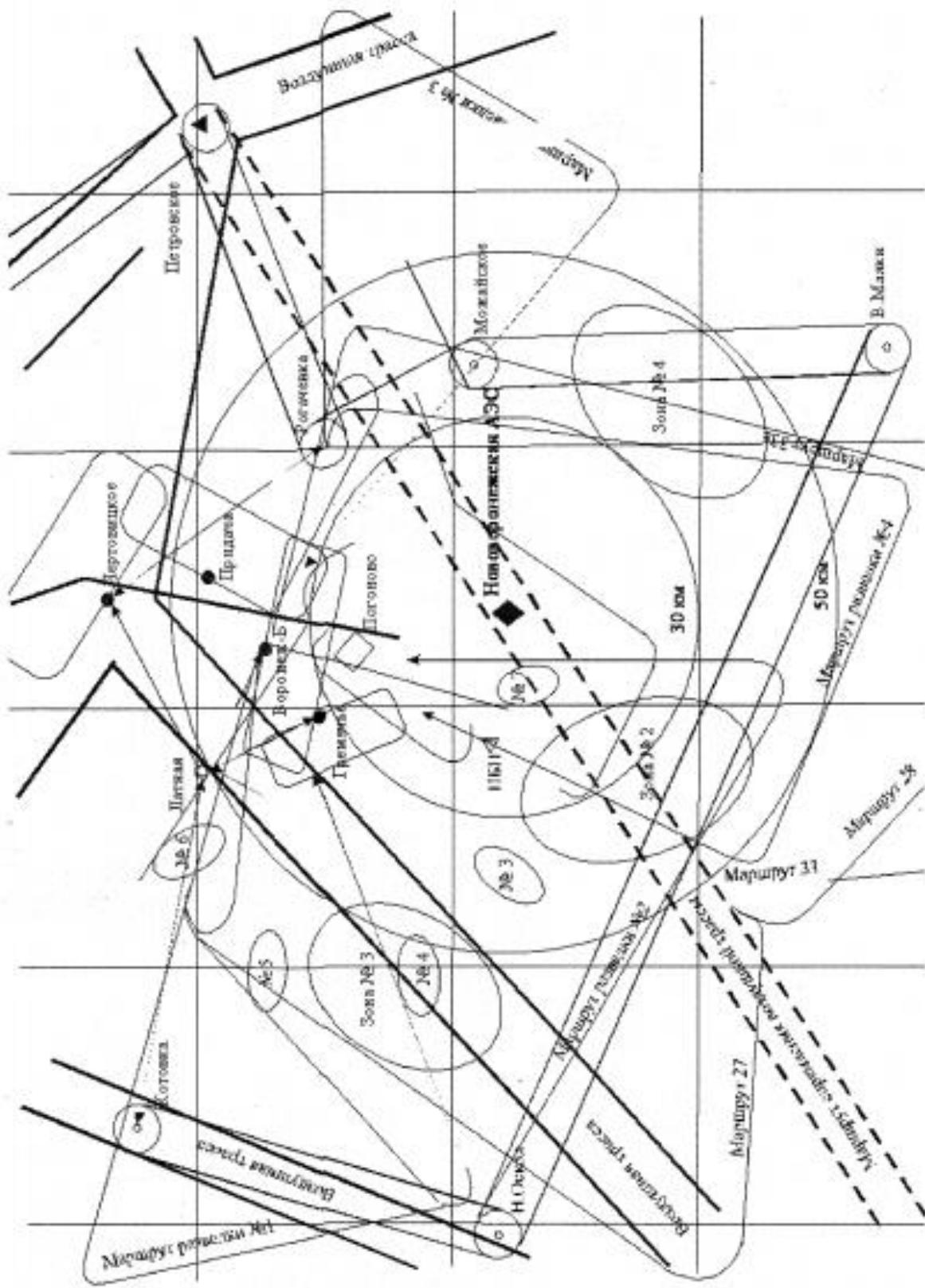


Рис. 34 – Фрагмент ситуационной структуры воздушного пространства в районе расположения площадки НВАЭС.

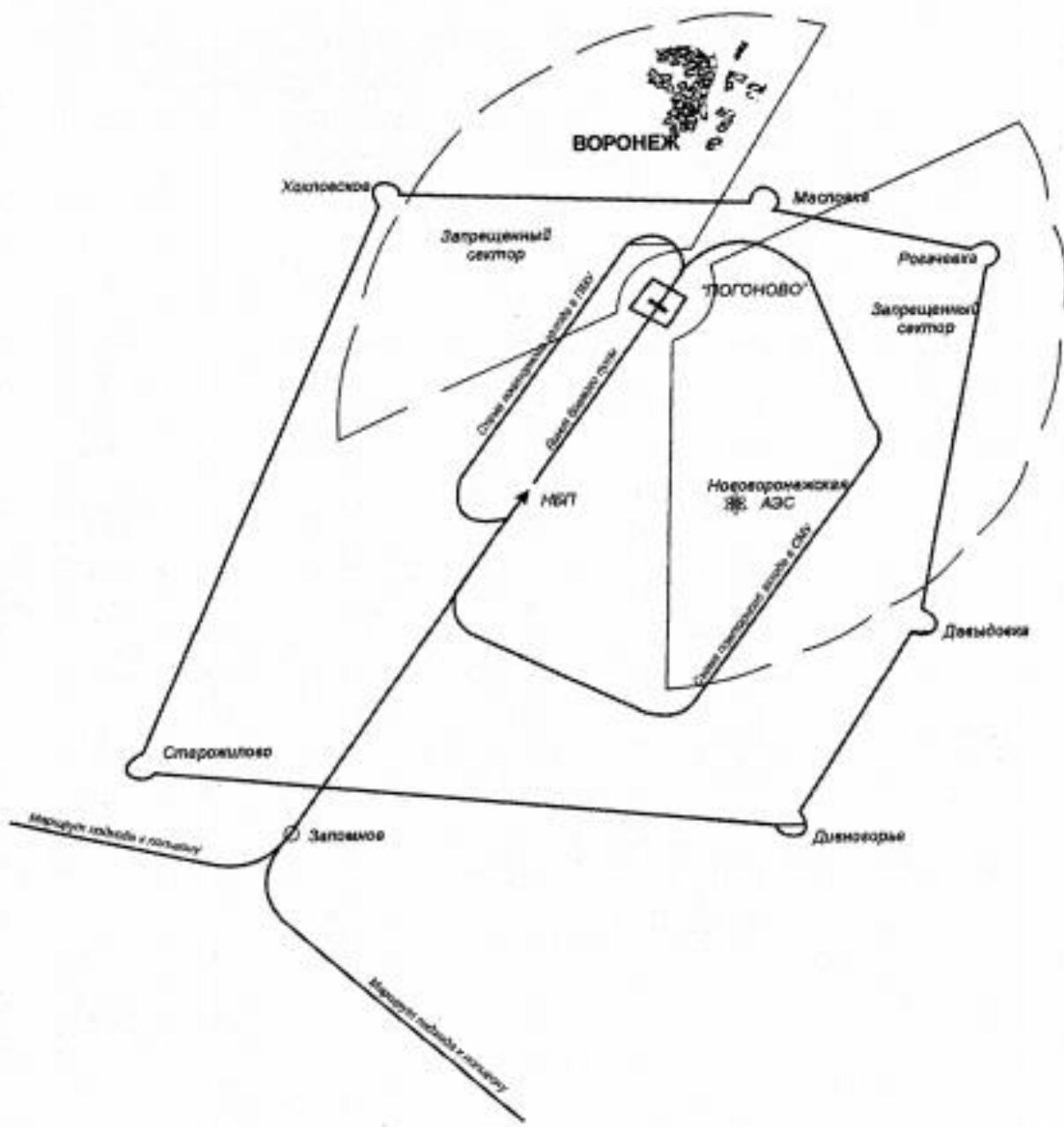


Рис. 35 – Схема полётов воздушных судов ВВС РФ
в районе полигона «Погоново».

г) маршрут полётов на малых высотах № 28 (Воронеж – Рогачевка – Татарино – Круглое – Воронеж) используется для отработки учебно-боевых задач на высотах 100 – 200 метров. Интенсивность использования маршрута составляет от 300 до 350 полетов в год;

д) маршрут полётов на малых и предельно малых высотах № 27 (Воронеж – Курбатов – Чернянка – Крутое) используется для выполнения учебно-тренировочных задач на высотах 100 – 200 метров со средней интенсивностью от 300 до 350 полётов в год;

е) маршрут разгона № 33 – 33а. Полёты по маршруту выполняются на высотах до 12000 метров со среднегодовой интенсивностью от 50 до 70 полётов в год;

ж) стандартная схема захода на посадку по большому прямоугольному маршруту. Полёты по схеме выполняются на высоте 500 метров. Схема используется в основном для захода на посадку транспортных самолетов. Среднегодовое количество по схеме составляет от 100 до 120 полетов;

з) стандартная схема захода на посадку двумя разворотами на 180° является основной схемой захода на посадку для военных самолётов. Интенсивность использования схемы составляет от 1000 до 12000 полетов в год. Высота полёта по схеме переменная, от 4500 до 3300 на развороте с последующим снижением до торца ВПП;

и) пилотажная зона № 1. Используется для отработки техники пилотирования, групповой слётанности и воздушного боя на средних и малых высотах. Зона расположения над населённым пунктом (н.п.) Лиски имеет форму эллипса с размерами 40×30 км;

к) пилотажная зона № 2 предназначена для отработки техники пилотирования на малых высотах. Зона имеет форму эллипса с размерами 30×20 км и используется от 200 до 250 раз в год;

► Район аэродрома «Гремячье»:

а) стандартная схема захода на посадку используется для выполнения маневра захода на посадку самолётов типа Як-52, Л-29 и Ан-2;

б) пилотажная зона № 7 предназначена для выполнения учебно-тренировочных полётов на самолётах Як-52, Л-29. Зона представляет собой эллипс с размерами 8×15 км с центром над н.п. Оськино. Полеты выполняются на высотах 2000 – 4000 метров;

► Стандартная схема захода на посадку по прямоугольному маршруту на аэродром «Придача». Используется для захода на посадку самолетов типа Ил-96, а также транспортных самолётов Ил-76 и др.;

► Район авиационного полигона «Погоново»:

а) линия боевого пути – прямая соединяющая точку начала боевого пути (НБП) и полигон, предназначена для выполнения манёвров подготовки к бомбометанию и пуска ракет на высотах от 1000 до 4000 метров;

б) схема повторного захода на полигон в сложных метеоусловиях (СМУ);

► Участок маршрута спрямления воздушной трассы (МСВТ) Волчанско – Петровское. Полёты по данному участку выполняются на высотах от 7800 до 12000 метров;

► Участок сети МВЛ-П (Рогачёвка – Можайское). Полёты по участку выполняются на малых высотах по правилам визуальных полетов (ПВП).

Учитывая, что в 30-ти километровой зоне АЭС выполняется большое количество полётов самолётами военной и гражданской авиации и в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, необходима детализированная оценка вероятности падения летательных аппаратов или его обломков на площадку АЭС.

Для проведения такой оценки все элементы структуры воздушных полётов были разбиты на два типа:

❖ первый – элементы, в пределах которых полёты вооружённых сил выполняются по заданным траекториям. К числу таких элементов относятся воздушные трассы, маршруты, коридоры и т.п.;

⇨ второй – элементы, в которых воздушные суда в процессе полётов совершают произвольные эволюции в плане и по высоте, оставаясь при этом в пределах замкнутого объёма воздушного пространства. К таким элементам относятся пилотажные зоны, районы аэрофотосъёмки, патрулирование и др.

Для каждого типа элементов структуры воздушного пространства при оценке рисков строились соответствующие математические модели оценки вероятности падения летательных аппаратов.

Построение такой математической модели требует определённой степени идеализации воздушной обстановки. При этом для моделей, связанных с оценкой уровня безопасности, должны соблюдаться следующие основные принципы, обеспечивающие консервативность подхода:

→ если делается какое-либо конкретное модельное допущение, необходимо убедиться, что это допущение ведёт только к переоценке риска АП, но не к его недооценке;

→ если из-за ограниченности данных точное значение некоторого параметра модели невозможно определить, следует пользоваться его предельным значением.

Для расчета вероятностей падения все летательные аппараты военной и гражданской авиации были разделены на пять категорий в соответствии с взлётным весом воздушных судов:

- I категория - взлётный вес менее 5 тонн;
- II категория - взлётный вес от 5 тонн до 10 тонн;
- III категория - взлётный вес от 10 тонн до 20 тонн;
- IV категория - взлётный вес от 20 тонн до 60 тонн;
- V категория - взлётный вес более 60 тонн.

При определении рисков падения летательных аппаратов взяты для сравнения три временных периода существования НВАЭС: до 1990 г., 2010 г., 2050 г. с учётом перспективного прогноза по полётам. Для наиболее консервативного подхода при угле падения $\alpha = 10^\circ$ получены следующие вероятности падения воздушных судов:

- а) воздушные суда весом менее 5 т:
1990 - 2050 годы - $7,88 \cdot 10^{-8}$;
- б) воздушные суда весом от 5 т до 10 т:
1990 год - $1,75 \cdot 10^{-17}$,
2010-2050 годы - $3,36 \cdot 10^{-17}$;
- в) воздушные суда весом от 20 т до 60 т:
1990 г. - $2,21 \cdot 10^{-8}$
2010 г. - $2,65 \cdot 10^{-8}$
2050 г. - $2,29 \cdot 10^{-8}$.

Результаты расчётов показывают, что наибольшую опасность разрушения объектов НВАЭС, вследствие авиационной катастрофы представляют летательные аппараты весом менее 5 т. Это объясняется близким расположением к площадке АЭС зоны учебно-спортивных полётов №7 аэродрома «Гремячье», а также прохождением непосредственно над АЭС участка маршрута спрямления Воздушной трассы (ВТ) «Волчанск-Петровское». Вероятность падения таких

самолётов в этой зоне и на участке ВТ составляет более 80 % общей вероятности падения ВС.

Полученные результаты справедливы для существующих, в настоящее время, структуры и порядка использования воздушного пространства в районе Нововоронежской атомной станции. В связи с этим любые изменения в структуре воздушного пространства в радиусе 30 км от АЭС, связанные с прокладкой новых воздушных трасс, местных воздушных линий, установлением или переносом специальных зон, должны проводиться только по согласованию с заинтересованными ведомствами и утверждаться организацией, имеющей соответствующие полномочия. В случае изменения соответствующего порядка использования воздушного пространства в стране, связанного, например, с развитием авиации общего назначения, необходимо проведение дополнительных расчётов по оценке вероятности падения воздушных судов.

10.3. Анализ возможности падения авиабомб и ракет класса «воздух-земля».

Авиационный полигон фронтовой авиации «Погоново» расположен в 20 км на север от площадки НВАЭС. Полигон предназначен для проведения практического бомбометания и пусков ракет класса «воздух-земля». Схема полетов воздушных судов в районе полигона приведена на рис. б.

В процессе функционирования полигона угроза безопасности объектам АЭС возникает в следующих случаях:

а) падение воздушных судов на площадку АЭС в результате авиационной катастрофы при отклонении ВС от установленной схемы полётов в районе полигона;

б) попадания на площадку АЭС фугасной авиабомбы (ФАБ) или ракеты класса «воздух-земля» при внеполигонном бомбометании или пуске ракеты в результате грубых ошибок экипажа ВС, отказа авиатехники или вооружения.

Анализ статистических данных о внеполигонных бомбометаниях и пусках ракет за период с 1988 по 1992 гг. содержится в предпроектных инженерных изысканиях на НВАЭС-2, имеется в открытом доступе, представлен в табл. 29.

В табл. 29 приведено математическое ожидание количества внеполигонных бомбометаний для каждого из выбранных интервалов «промаха», определённых в соответствии с гипотезой об экспоненциальном распределении этой величины.

Экспоненциальный закон выбран как более «консервативный» по отношению к нормальному, который обычно используется для математического описания распределения величины «промаха» в пределах от трёх до пяти средних квадратических отклонений.

Таблица 29

Анализ статистических данных о внеполигонных бомбометаниях
и пусках ракет

Тип вооружения	Ракета «воздух-земля»		ФАБ		Всего
	Факт	Математическое ожидание	Факт	Математическое ожидание	
Расстояние от цели до места падения («промаха»), км					
1 - 5 км	6	3,74	5	105	11
5 - 9 км	1	$1,59 \cdot 10^{-17}$	4	$2,70 \cdot 10^{-10}$	5
9-13 км	3	$6,76 \cdot 10^{-35}$	3	$7,22 \cdot 10^{-22}$	6
13 - 17 км	1	$2,87 \cdot 10^{-31}$	1	$1,90 \cdot 10^{-33}$	2
17-21 км	1	$1,22 \cdot 10^{-69}$	1	$4,97 \cdot 10^{-45}$	2
более 21 км	1	$5,18 \cdot 10^{-87}$	1	$1,30 \cdot 10^{-56}$	2

Значение среднего квадратического отклонения задавалось в соответствии с тактико-техническими характеристиками соответствующего типа вооружения.

Анализ представленных данных показывает, что использование экспоненциального закона распределения для математического описания величины «промаха» на больших его значениях приводит к существенному (в 10^{-10} и более раз) занижению риска «промаха» по сравнению с фактическими данными.

Можно сделать вывод, что при правильном выполнении прицеливания экипажами боевых самолётов, даже в случаях неудовлетворительного проведения бомбометания или пуска ракеты, опасность для объектов АЭС является малой.

Как показывают приведённые статистические данные, причиной значительных отклонений места падения авиабоеприпасов от площадки полигона являются грубые ошибки экипажа в выборе цели, отказы авиатехники, системы управления полётом ракет, случайный сброс авиабомб или ракет.

В связи с вышеизложенным экспоненциальный закон распределения не может быть принят для учёта вероятности падения авиабомб.

Учитывая принцип «консервативного» подхода к оценке безопасности АЭС, а также в соответствии с табл. б, для математического описания величины «промаха» ФАБ или ракеты (для больших отклонений) было принято интервальное распределение с равномерным распределением случайной величины («промаха») в пределах каждого интервала.

Были выбраны интервалы :

⇒ I – от 5 до 13 км;

⇒ II – от 13 до «b» км, где «b» – расстояние от цели на полигоне до центра площадки АЭС ($b = 21$ км).

Как показывает анализ статистических данных, основной объём случаев внеполигонных бомбометаний происходит, когда воздушные средства находятся на боевом пути (БП).

Результаты расчётов вероятности падения ФАБ или ракеты на объекты НВАЭС приведены в табл. 30.

Таблица 30

Вероятности падения ФАБ или ракеты на объекты НВАЭС

Объект	Вероятность падения		
	Ракета «воздух–земля»	ФАБ	Всего
Реакторное отделение (один блок)	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$1,91 \cdot 10^{-9}$	$1,23 \cdot 10^{-8}$
Хранилище свежего топлива	$2,30 \cdot 10^{-9}$	$4,24 \cdot 10^{-10}$	$2,72 \cdot 10^{-9}$
Полный комплекс объектов АЭС	$2,28 \cdot 10^{-8}$	$4,24 \cdot 10^{-9}$	$2,70 \cdot 10^{-8}$

Из табл. в видно, что вероятность падения на объекты АЭС авиационных боеприпасов (в год) составляет в настоящее время:

- для ФАБ – $1,04 \cdot 10^{-8}$;
- для ракет «воздух–земля» – $2,28 \cdot 10^{-8}$.

Прогноз изменения этих значений показывает, что с принятием на вооружение самолётов нового поколения и перспективных типов вооружения вероятность попадания в объекты АЭС авиабомб и ракет будет снижаться.

11. Потенциальные радиационные риски для населения, проживающего в зоне влияния НВАЭС.

В соответствии с нормативно-правовым документом НП-032-19 (зарег. в Минюсте РФ 02.12.2019 №287) [29], как упоминалось выше, при разработке проектной документации должны быть проведены оценки негативного влияния на население при нормальной эксплуатации атомной станции, при проектных авариях и запроектной. При этом должны задаваться исходные метеоусловия в зависимости от ситуации:

- a) для нормальной (штатной) эксплуатации АЭС – при характерных метеоусловиях;
- б) при проектных авариях на АЭС должны исходить при наименее благоприятных метеоусловиях, т.е. когда возникает наибольший вред для людей;
- в) для запроектной аварии на АЭС – при наиболее вероятных метеоусловиях, в том числе принимается наиболее вероятное направление ветра согласно ГОСТ Р 42.4.02-2015 [32].

В зависимости от характера и масштабов повреждений и разрушений аварии на радиационно-опасных объектах подразделяются на проектные и запроектные (гипотетические).

11.1. Штатная эксплуатация НВАЭС и регистрируемые технологические выбросы радионуклидов в окружающую среду.

На объектах АЭС всё, что связано с выбросами в атмосферу, контролируются: активность выбросов (инертные радиоактивные газы (ИРГ) из венттруб энергоблоков, альфа-излучающих нуклидов из вентсистемы горячей камеры, газоаэрозольных радионизотопов йода из венттруб энергоблоков, техногенных радиоаэрозолей из венттруб энергоблоков и хранилищ радиоактивных отходов); активность техногенных радиоаэрозолей в воздухе рабочих помещений

зоны контролируемого доступа; активность техногенных радионуклидов.

На территории радиусом до 50 км вокруг АЭС контролируются: активность техногенных радионуклидов (в атмосферном воздухе и выпадениях из него; в почве, растительности и сельскохозяйственной продукции местного производства (молоко, мясо, картофель, морковь, капуста, зерно); в воде, донных отложениях, водной растительности и рыбе в поверхностных водоёмах; в питьевой артезианской воде); суммарная активность альфа-излучающих и суммарная активность бета-излучающих нуклидов в воде; годовая эквивалентная доза гамма-излучения на местности и в рабочих помещениях в СЗЗ и в здании ЛВРК (лаборатории внешнего радиационного контроля); мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на местности; плотность потока альфа- и бета-излучения на местности и в здании ЛВРК.

С начала 1961 г. и до завоза ядерного топлива в 1964 г. специалисты московского Института биофизики изучали радиационную обстановку в районе НВАЭС, проводили так называемую «съёмку нулевого радиационного фона». Этот фон в то время сложился в результате глобального радиоактивного загрязнения, которое стало следствием испытаний ядерного оружия (об этом говорилось выше). К началу 1986 г. после всемирного отказа от ядерных испытаний (до «Чернобыльской» аварии) радиационная обстановка улучшилась [35].

Улучшение радиационной обстановки произошло и в районе НВАЭС, хотя к этому времени уже отработал двадцать лет 1-й энергоблок, на котором в декабре 1969 г. произошёл аварийный обрыв теплового экрана реактора, продолжали работать остальные четыре блока.

Уже вскоре после аварии на Чернобыльской АЭС радиационная обстановка резко осложнилась. В районе НВАЭС практически вся «Чернобыльская» радиоактивность выпала в период с 29.04.1986 по 06.05.1986, большую часть этой радиоактивности составляли коротко- и среднеживущие продукты деления ядерного топлива. Наиболее активными и интенсивными были выпадения 02.05.1986. В этот день провели замеры на содержание основных загрязняющих нуклидов в дождевой воде (табл. 31).

Таблица 31

Радионуклиды, которые оказались в дождевой воде
в районе НВАЭС 02.05.1986, и их удельная активность (Бк/кг)

⁹⁵ Zr	9225	⁹⁵ Nb	17390	¹⁰³ Ru	5550
¹⁰⁶ Ru	27750	¹³² Te + ¹³² I	14060	¹³⁴ Cs	31080
¹³⁷ Cs	7770	¹⁴⁰ Ba	3145	¹⁴⁰ La	2072

По происшествии 18 лет после «Чернобыльской» аварии (результаты исследований 2004 г. [35]) радиоактивность окружающей среды вернулась к уровню 1985 г. И только активность цезия-137, основного долгоживущего радионуклида глобального и «Чернобыльского» загрязнений, оставалась в это время повышенной. Это видно из табл. 32, 33 в которой отражены результаты радиационного контроля объектов окружающей среды в разные годы.

Основными источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды на НВАЭС являются:

- газоаэрозольные вентывбросы;
- жидкие сбросы технических условно-чистых вод и слаборадиоактивных дебалансных вод системы водяного охлаждения;
- возможные протечки из хранилищ РАО и других технологических систем.

В режиме нормальной эксплуатации НВАЭС газоаэрозольный выброс в атмосферу после очистки на йодных и аэрозольных фильтрах осуществляется в вентиляционные трубы каждого блока.

Таблица 32

**Содержание основного дозообразующего
техногенного радионуклида цезия-137 в атмосферном воздухе**

Год	Объёмная активность цезия-137, мкБк/м ³	
	г. Нововоронеж	г. Лиски
1961 – 1963	189	189
1985	7	4
1987	70	52
2000 – 2003	2	3
ДОА _{нк}	27 000 000	

Примечание: допустимая объёмная активность (ДОА_{нк}) цезия-137 в атмосферном воздухе установлена НРБ-99/2009.

Таблица 33

**Содержание основного дозообразующего техногенного радионуклида
цезия-137 в выпадениях из атмосферного воздуха**

Год	Плотность выпадений цезия-137, мкБк/м ³ за год	
	г. Нововоронеж	г. Лиски
1961 – 1963	77	80
1985	7	1
1987	170	270
2003	3	4

Примечание: плотность выпадений радионуклидов из атмосферного воздуха не нормируется.

Воздух из помещений зоны контролируемого доступа (ЗКД), загрязнённый радиоактивными газами и аэрозолями, удаляется системами вытяжной вентиляции и поступает в атмосферу через вентиляционную трубу. Активность радионуклидов в выбросе зависит от соблюдения режимов вентиляции, работоспособности фильтров очистки, герметичности оборудования и соблюдения режимов эксплуатации.

Газоаэрозольные выбросы АЭС состоят из следующих основных компонентов: ИРГ (криптон, ксенон, аргон); радиоактивные аэрозоли; йод-131 (газовая + аэрозольная формы).

Для общего представления о газоаэрозольных выбросах из НВАЭС интересным будет сравнить результаты радиационного мониторинга за 2004 г. (табл. 34) (развёрнуты по месяцам работы в этом году) с современными (табл. 35), чтобы понимать тенденцию изменений в таких выбросах и сделать

собственное заключение о нормальности их для проживающего в зоне наблюдения населения.

Сравнивая газоаэрозольные выбросы 2004 г. с годами последних пяти лет наблюдений до 2018 г. легко убедиться, что существенно продвинулся инженерно-технический состав НВАЭС в деле минимизации экологически вредных радиоактивных выбросов: по ИРГ уменьшены выбросы в 3,8 раза; по I-131 выбросы оказались меньше аж в 90,0 раз!; по Со-60 – меньше в 2,05 раза; по Cs-134 – меньше в 2,6 раза; по Cs-137 – меньше в 5,1 раза. Это конечно сравнение среднего за 5 лет с одним годом, но экологический успех очевиден.

Таблица 34
Газоаэрозольные выбросы НВАЭС в 2004 г. [35]

Период времени (месяц)	Регламентируемые радионуклиды				
	ИРГ (любая смесь), ТБк	¹³¹ I (газовая + аэрозольная форма), ГБк	¹³⁷ Cs, МБк	¹³⁴ Cs, МБк	⁶⁰ Co, МБк
I	2,98	0,018	5,38	1,07	21,86
II	5,84	0,172	14,96	1,17	18,15
III	2,65	0,322	3,39	1,40	30,60
IV	1,69	0,040	1,98	0,50	25,50
V	4,72	0,018	1,73	0,50	7,82
VI	36,20	5,107	16,94	2,90	33,54
VII	5,28	0,143	10,55	5,42	67,20
VIII	4,81	0,059	15,55	11,48	21,35
IX	18,44	0,298	6,24	1,96	21,15
X	6,35	0,243	6,19	2,04	32,83
XI	3,81	0,057	5,54	2,90	13,86
XII	2,81	0,011	3,41	1,28	22,38
Выброс за год	95,59	6,49	91,86	32,62	316,24
% от ДВ	13,9	36,0	4,6	3,6	4,3

Примечание: ДВ – допустимый выброс.

Таблица 35
Характеристика основных радиоактивных и токсических веществ в выбросах в атмосферный воздух НВАЭС с 2014 по 2018 г. [23]

Нормативные радиоактивные вещества	Допустимый выброс (ДВ), ГБк/год	Выбросы за год									
		2014 г.		2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.	
		ГБк/год	% от ДВ	ГБк/год	% от ДВ	ГБк/год	% от ДВ	ГБк/год	% от ДВ	ГБк/год	% от ДВ
ИРГ	690000	6639	1,0	16296	2,4	41274	6,0	45259	6,6	14617	2,1
I-131	18,0	0,077	0,4	0,6	3,3	1,034	5,7	0,402	2,2	0,034	0,2
Со-60	7,40	0,156	2,1	0,147	2,0	0,062	0,8	0,032	0,4	0,080	1,1
Cs-134	0,90	0,012	1,4	0,003	0,3	0,002	0,2	0,003	0,3	0,002	0,2
Cs-137	2,00	0,042	2,1	0,017	0,9	0,019	1,0	0,016	0,8	0,012	0,6

Общий вывод: из табл. 35 следует, что выбросы радионуклидов в атмосферный воздух с 2014 по 2018 г. более чем на порядок ниже допустимых выбросов учитываемых радионуклидов.

11.2. Оценка радиационных рисков для населения при проектных аварийных ситуациях на НВАЭС.

Пространственная структура последствий проектной аварии относится к району радиационного воздействия и включает дифференциацию территории района вокруг предприятия на отдельные зоны по уровням радиационного воздействия и соответствующим мерам радиационной защиты.

В ходе предварительного прогнозирования невозможно предусмотреть расположение района радиационного воздействия, поэтому оценка радиационной обстановки при проектной аварии производится по 8-ми румбам. Как предписано нормативно-правовым документом НП-032-19 [29] вначале требуется определить риски для всех возможных направлений перемещения радиоактивного облака, образованного во время проектной аварии, а затем выбрать наихудшие условия (наиболее высокие риски), чтобы по этому сценарию осуществлять заблаговременную превентивную работу.

Размещение и угловая ширина сектора определяются направлением и шириной факела выброса, с учетом меандрирования его и прогнозируемого изменения направления ветра. На территории каждого отдельного сегмента, определяемого размерами зон принятия решений, устанавливают фактические риски для населения и объектов экономики, функционирующих в этих зонах (рис. 36).

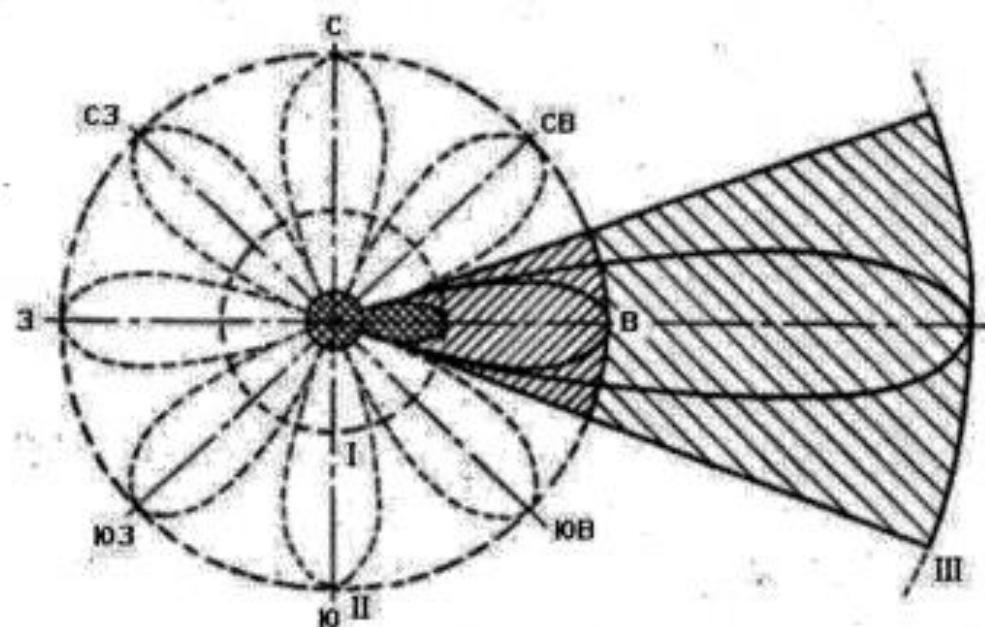


Рис. 36 – Схема зонирования территории для оценки радиационных последствий в случае проектной (запроектной) аварии на АЭС:

- - - → внешние границы круговых зон, определяемые на основе прогнозов, а также на начальной или ранней фазе радиационной аварии на АЭС;
- → внешние границы секторных зон, определяемые на основе мониторинга в ходе промежуточной и поздней фаз радиационной аварии на АЭС;
- I, II, III → внешние границы круговых зон соответственно чрезвычайно экстренных, экстренных и плановых мер радиационной защиты населения.

Для оценки потенциально возможного радиационного воздействия аварийных выбросов, а также для планирования аварийных мероприятий, используется информация о численности населения по румбам и расстоянию от НВАЭС до 50 км, а также оценка средней плотности населения вне 50-ти км зоны до 100 км.

Определение доз облучения населения, проживающего вокруг атомной станции на указанных расстояниях, и установление социальных рисков проводится на основании статистически обработанных многолетних данных о метеоусловиях, характерных для зоны НВАЭС – rosa ветров без учёта штиля представлена на рис. 22, табл. 36). Как отмечалось выше, используются данные метеостанции, обеспечивающей метеорологической информацией НВАЭС.

Таблица 36
Вероятность направления распространения РВ по румбам
в расчётной зоне радиационных рисков НВАЭС

Румб	Повторяемость направления ветра, %	Румб	Повторяемость направления ветра, %
С	14	Ю	14
СВ	7	ЮЗ	9
В	10	З	22
ЮВ	12	СЗ	12

Вследствие отклонения направления ветра от принятой оси внутри выбранного сектора (рис. 36) как в одну, так и в другую сторону происходит распределение РВ внутри по оси сектора, что позволяет провести осреднение доз облучения по выбранному направлению на каждом фиксированном расстоянии от источника аварийного выброса (аварийного реактора).

Затем проводится осреднение доз облучения в каждом кольцевом сегменте выбранного сектора, причём расчётное значение радиационных параметров в центральной точке каждого кольцевого сегмента характеризует радиационное состояние сегмента с допустимой погрешностью.

Оценка коллективных доз аварийного облучения проводится с учётом количества населения, проживающего в каждом кольцевом сегменте каждого из восьми секторов и осреднённой дозы облучения в центральной точке каждого кольцевого сегмента.

Облучение людей может приводить к появлению различных неблагоприятных эффектов для их здоровья, при этом, тяжесть и вероятность появления того или иного эффекта определяется величиной дозы и группой органов, в наибольшей степени подвергшихся облучению. Пути поступления и циркуляция радионуклидов внутри организма показана на рис. 37.

Ранние пороговые (не stoхастические) эффекты обусловлены острым лучевым поражением (большими дозами, превышающими определённый предел и полученными в течение достаточно короткого времени) различных органов. Проявление таких эффектов происходит за период от нескольких часов до нескольких недель после облучения, а вероятность проявления и тяжесть их зависит от величины дозы.

Влияние на здоровье рассчитывается исходя из доз на отдельные органы, используя дозовые коэффициенты. Ранние последствия и смертельные исходы – соматические эффекты, которые случились в течение первого года после аварии, оцениваются при помощи нелинейной модели доза-отклик.



Рис. 37 – Схема путей поступления и циркуляции радионуклидов внутри организма.

Возможные отсроченные эффекты на здоровье – стохастические эффекты (смертельные, связанные с заболеванием раком) могут возникнуть у облучённого населения после различных периодов времени в течение многих лет. Вклад в латентные (скрытые) эффекты на здоровье будут вносить как ранние, так и хронические пути облучения. Отсроченные заболевания раком оцениваются с использованием отдельных частей линейной модели доза-отклик, которая является дискретной.

Для вычислений ранней смерти рассматриваются три органа:

- красный костный мозг;
- лёгкие;
- нижняя часть толстой кишки.

Кроме них для вычисления ранних заболеваний рассматриваются желудок, лёгкие, кожа и щитовидная железа и т.д.

Существующие подходы по оценке радиационных рисков обобщены и опубликованы [36], приведём основные положения проводимых расчётов по определению доз облучения D.

а) внешнее бета-облучение от облака выброса:

$$D = I_k P_B k,$$

где I_k – интеграл концентрации радионуклида в воздухе, $\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$;

P_β – мощность дозы для кожи в расчёте на единицу концентрации нуклида в воздухе, $\text{Зв} \cdot \text{с}^{-1}/(\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$ (выбирается из таблицы [36]);
 k – коэффициент экранирования, учитывающий эффективно защищённую часть кожи.

б) внутреннее бета-гамма-облучение от облака выброса:

$$D = I_k B D_{inh},$$

где B – интенсивность дыхания, $\text{м}^3/\text{с}$;

D_{inh} – ожидаемая эквивалентная доза на единицу поступления радионуклида в организм при дыхании, $\text{Зв}/\text{Бк}$ (выбирается из таблицы [36]).

в) внешнее бета-облучение от радионуклидов, осевших на кожу или одежду:

$$D = I_k D_{sk} V_{sk} k,$$

где D_{sk} – интегральная доза для кожи в расчёте на единицу загрязнения на коже или одежду, $\text{Зв}/(\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2})$ (выбирается из таблицы [36]);

V_{sk} – доля (коэффициент) радионуклидов, осаждающихся на кожу;

k – коэффициент экранирования.

г) внешнее гамма-облучение от загрязнённой земной поверхности:

$$D = S k \int_0^T P_\gamma(t) dt,$$

где S – степень радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$;

$\int_0^T P_\gamma(t) dt$ – временной интеграл от мощности эквивалентной дозы облучения для всего тела в расчёте на единицу степени загрязнённости при допущении о постоянном пребывании на открытом воздухе (выбирается из таблицы [36]);

T – время облучения.

Или:

$$D = P_\gamma \frac{1 - e^{-\lambda T}}{\lambda} k,$$

где P_γ – мощность дозы внешнего гамма-облучения над землёй;

λ – константа радиоактивного распада радионуклида.

д) внутреннее бета-гамма-облучение за счёт вдыхания поднявшейся радиоактивной пыли:

$$D = S B D_{inh} \int_0^T k(t)^{-\lambda_R t} dt,$$

где $k(t)$ – коэффициент, показывающий долю радиоактивных продуктов, осевших на землю, которая вновь попадает в воздух и загрязняет его;

λ_R – константа радиоактивного распада радионуклида.

Для промежуточной фазы аварии:

а) внешнее гамма-облучение:

$$D = S k \int_0^{1 \text{ год}} P_\gamma(t) dt,$$

где P_γ – мощность эквивалентной дозы для всего организма в расчёте на единицу степени загрязнения поверхности земли (выбирается из таблицы [36]).

Или:

$$D = P_\gamma \Theta k,$$

где Θ – интегральная мощность эквивалентной дозы на единицу мощности дозы в нулевой момент времени.

В свою очередь $\Theta = \frac{\int_0^{1 \text{ год}} P_\gamma(t) dt}{P_\gamma(0)}$ (выбирается из таблицы [36]).

б) внутреннее бета-гамма-облучение за счёт вдыхания поднявшейся радиоактивной пыли:

$$D = SBD_{inh} \int_0^{1 \text{ год}} k(t)^{-\lambda_R t} dt.$$

При радиоактивном облучении за счёт употребления загрязнённых пищевых продуктов:

$$D = CQ_\Gamma D_{inh} G_g,$$

где C – концентрация радиоактивных веществ в пищевом продукте, $\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$;

Q_Γ – годовое поступление в организм пищевого продукта, $\text{кг}/\text{год}$;

D_{inh} – ожидаемая эффективная эквивалентная доза на единицу перорального поступления радионуклида, $\text{Зв} \cdot \text{Бк}^{-1}$ (выбирается из таблицы [36]);

G_g – отношение интеграла концентрации радионуклида по временному интервалу в один год к концентрации в заданный момент времени ($\text{Бк} \cdot \text{год} \cdot \text{кг}^{-1}/\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$).

б) радиоактивным веществом загрязнено пастбище:

$$D = S' Q_\Gamma D_{inh} G_g,$$

где G_g – интеграл концентрации радионуклида в пищевом продукте по интервалу 1 год на единицу начальной концентрации этого радионуклида на пастбище;

S' – уровень загрязнения пастбища.

в) внутреннее бета-гамма-облучение за счёт употребления питьевой воды:

$$D = CQ_\Gamma D_{inh} \frac{1 - e^{-\lambda_R T}}{\lambda_R}.$$

Значение дозы D_{50} зависит от мощности дозы D . Вероятность возникновения раннего эффекта на здоровье при низких мощностях дозы ниже, чем при больших. Этот факт учитывается при расчёте ранних эффектов в случае, если доза облучения получена в течение длительного периода времени.

В медицинской практике широко применяется показатель D_{50} , означающий возникновение 50 % ожидаемых последствий в отношении здоровья индивидуума (вида заболевания либо смерти) из всей группы реципиентов, например, LD_{50} – это полутетальная доза, приводящая к гибели 50 % подвергнутых радиационному воздействию людей либо иных биологических объектов. Такой показатель удобен, так как реакция конкретного человека на одну и ту же дозу облучения различна: у человека возникает смерть от гамма-излучения в

пределах поглощённой дозы от 2,5 до 4 Гр.

Совокупный риск ранней смерти вычисляется в предположении, что каждый случай является независимым событием. Обозначив через R_{km} , R_s , $R_{жкт}$ вычисленные риски ранней смерти от повреждения красного костного мозга, лёгких и желудочно-кишечного тракта, суммарный риск определяется по выражению:

$$R_p = 1 - (1 - R_{km}) \cdot (1 - R_s) \cdot (1 - R_{жкт}).$$

Значение дозы D_{50} также зависит от уровня общепринятой медицинской терапии. Обычно различают три уровня терапии: минимальная, поддерживающая, интенсивная.

Тяжесть стохастических эффектов в отличие от пороговых не зависит от дозы, полученной индивидуумом. От величины дозы D зависит только риск $R_{ст}$ возникновения таких эффектов. Стохастические эффекты могут проявляться в течение десятилетий после облучения, и зависимость их возникновения от величины дозы имеет беспороговый характер. Чаще принимается линейная зависимость, дающая, как считается, консервативную оценку индивидуального риска $R_{ст}$, в виде:

$$R_{ст} = K \cdot D,$$

где K – коэффициент риска, равный средней индивидуальной вероятности смерти в результате облучения, отнесённый к дозе 1 Зв.

Если известна коллективная доза облучения E_c чел.-Зв, то ожидаемое полное число случаев смерти N человек в коллективе облучённых людей определяется по выражению:

$$N = K \cdot E_c.$$

Полученные оценки риска ранних и отсроченных смертей на различных расстояниях от источника аварийного выброса вместе с информацией о загрязнённости поверхности земли и распределении плотности населения позволяют дать оценки:

- ⇒ площади земли, временно выведенной из землепользования, m^2 (га);
- ⇒ площади земли, полностью выведенной из землепользования, m^2 (га);
- ⇒ количество ранних смертей N_p среди населения, человек;
- ⇒ количество отсроченных смертей из-за стохастических эффектов $N_{ст}$ среди населения, человек;
- ⇒ коллективной дозы облучения населения E_c , чел.-Зв.

Исходя из понятия риска: риск летального исхода – произведение частоты категории выбросов радиоактивных веществ (РВ) на количество летальных исходов, определённое для данной категории выбросов РВ.

Таким образом определяются:

- риск ранних смертей

$$R_{p_i} = N_{p_i} \cdot f_i$$

для каждого сценария развития чрезвычайной ситуации (ЧС) с частотой f_i , размernость риска ранних смертей – человек на реактор в год;

- риск отсроченных смертей

$$R_{ст_i} = N_{ст_i} \cdot f_i$$

для каждого сценария развития ЧС с частотой f_i , человек на реактор в год;

- общий риск смертей

$$R_{\Sigma_i} = R_{p_i} + R_{ct_i}$$

для каждого сценария развития ЧС с частотой f_i , человек на реактор в год;

- риск коллективной дозы

$$R_{E_c} = E_c \cdot f_i$$

для каждого сценария развития ЧС с частотой f_i , чел.-Зв на реактор в год;

■ риск загрязнения земли, временно запрещённой к использованию, для каждого сценария развития ЧС с частотой f_i , гектар на реактор в год;

■ риск загрязнения земли, выведенной из землепользования, для каждого сценария развития ЧС с частотой f_i , гектар на реактор в год.

В перечень итоговых данных, полученных в результате проведения количественных оценок риска для АЭС, предпочтительно включать все расчётные показатели, полученные в результате выполнения расчётов. К таким показателям относятся:

1. Оценка количества ранних и отдалённых смертей среди персонала;
2. Оценка риска ранних и отдалённых смертей среди персонала;
3. Оценка количества ранних и отдалённых смертей среди населения;
4. Оценка риска ранних и отдалённых смертей среди населения;
5. Экономический ущерб в результате причинения вреда жизни и здоровью населения;
6. Затраты на эвакуацию и переселение населения;
7. Потери сельскохозяйственного производства и иных объектов экономики при загрязнении территорий вследствие ЧС (вывод земель из хозяйственного использования, недополучение продукции).

И так, изложенная методология позволяет оценить радиационные риски для населения. Рассмотрим лишь только один показатель риска – оценим риски ранних и отдалённых смертей среди населения.

Сценарии аварийных ситуаций на ядерных реакторах АЭС с выходом радиоактивных загрязнений за пределы санитарно-защитной зоны возьмём в соответствии с проведёнными работами по схеме ВАБ (вероятностный анализ безопасности) для энергоблоков типа ВВЭР в 2006 г. на базе ФГУП НИПКИИ «Атомэнергопроект», которые были обобщены и изданы для открытого доступа в 2008 г. [37].

Аварийным сценарием является: разрыв трубопровода D_y 109 мм и потеря теплоносителя, так называемая LOCA – англ. Loss-of-coolant accident. Для этой аварии частота выброса радиоактивных веществ (продуктов деления – ПД) в окружающую среду составляет $3,2 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ [37].

Выброс радионуклидов происходит на высоте 70 м над уровнем земли, скорость ветра на высоте флюгера 2,7 м/с (наиболее вероятная), категория погодных условий D [38].

Результаты расчётов количества поздних смертей и рисков поздней смерти по румбам и соответствующим секторам (рис. 36) сведены в табл. 37. Количество населения, оказывающееся на удалении от 3 до 100 км определялось следующим образом: от 3 до 50 км методом детальной оценки, от 51 до

100 км – по средней плотности населения. Аварийная ситуация рассмотрена для энергоблока ВВЭР-1000.

Таблица 37

Оценка риска на НВАЭС для населения по румбам на удалении до 100 км
(проектная авария)

Румб	Кол-во чел. в румбе	Коллективная доза, чел.-Зв/год	Кол-во поздних смертей
С	1037755	$9,92 \cdot 10^{-1}$	$4,96 \cdot 10^{-2}$
СВ	108503	$6,94 \cdot 10^{-2}$	$3,47 \cdot 10^{-3}$
В	94156	$3,40 \cdot 10^{-2}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$
ЮВ	176477	$8,60 \cdot 10^{-2}$	$4,30 \cdot 10^{-3}$
Ю	136045	$6,21 \cdot 10^{-2}$	$3,11 \cdot 10^{-3}$
ЮЗ	99258	$3,01 \cdot 10^{-2}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$
З	91850	$3,14 \cdot 10^{-2}$	$2,57 \cdot 10^{-3}$
СЗ	100303	$4,02 \cdot 10^{-2}$	$2,01 \cdot 10^{-3}$

Для рассмотренного сценария проектной аварии на ВВЭР-1000 НВАЭС определены следующие показатели последствий:

- ранние смертные случаи среди населения исключаются, поскольку на начальном этапе аварии максимальные индивидуальные поглощённые дозы внешнего облучения всего тела ($4,8 \cdot 10^{-3}$ мГр) не достигают уровня 1 Гр, при которых возможны детерминированные эффекты;
- средняя индивидуальная годовая эффективная доза среди населения составляет $\sim 7,4 \cdot 10^{-4}$ мЗв;
- максимальная коллективная доза населения в зависимости от реализуемого направления ветра составляет $9,92 \cdot 10^{-1}$ чел.-Зв/год;
- суммарный коллективный риск (математическое ожидание потерь) – ожидаемое количество пострадавших и погибших людей, оказавшихся в зоне прогнозируемой ЧС, за 1 год составляет $3 \cdot 10^{-7}$ чел/год.

Сценарии проектных аварий исследуются в декларации безопасности, подтверждение возможных радиоактивных выбросов производится каждые 10 лет, согласно НП-032-19 [29].

11.3. Оценка радиационных рисков для населения при запроектных аварийных ситуациях на НВАЭС.

Для расчётов последствий запроектной аварии на НВАЭС используется выше приведённый методический аппарат с учётом дополнительных ограничений, налагаемых ГОСТом «Режимы радиационной защиты на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению» [32]. В этом нормативном документе приводятся исходные расчётные данные для определения зоны радиоактивного загрязнения непосредственно для планирования мероприятий по линии гражданской обороны, т.е. для непосредственного использования в практической деятельности территориальных структур РСЧС.

Приведём исходные данные (табл. 38 – 41), содержащиеся в ГОСТе [32]

для энергетического реактора ВВЭР-1000 НВАЭС, при заблаговременном прогнозировании чрезвычайной ситуации при запроектной аварии на атомной станции. Согласно ГОСТа исходные погодные условия: изотермия, скорость ветра – 5 м/с.

Таблица 38

Прогнозируемая эквивалентная доза внешнего облучения от радиоактивного облака в случае расположения людей на оси следа, мЗв

Расстояние от реактора ВВЭР-1000, км	1	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
Экв. доза внешнего облучения, мЗв	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

При определении эквивалентной дозы внешнего облучения при отклонении реципиента от оси сектора (рис. 36) используется пересчётный коэффициент K_y (табл. 39).

Таблица 39

Значение пересчётного коэффициента K_y для прогнозируемой мощности эквивалентной дозы при удалении реципиента от оси сектора радиоактивного загрязнения для рассматриваемых погодных условий

Расстояние от АЭС по оси, км	Удаление от оси, км						
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
3	0,06						
5	0,31	0,01					
10	0,67	0,21	0,03				
15	0,80	0,42	0,14	0,03			
20	0,86	0,56	0,27	0,10	0,03		
25	0,90	0,65	0,37	0,17	0,06	0,02	
30	0,92	0,71	0,46	0,25	0,11	0,04	
35	0,93	0,75	0,52	0,32	0,17	0,08	0,01
40	0,94	0,78	0,58	0,38	0,22	0,11	0,02
45	0,95	0,80	0,62	0,43	0,27	0,15	0,03
50	0,95	0,82	0,65	0,47	0,31	0,18	0,05
60	0,96	0,86	0,71	0,54	0,39	0,25	0,09

Расчёт прогнозируемой эквивалентной дозы внешнего облучения людей при расположении реципиентов на радиоактивно загрязнённой местности $H_{РЗМ}$ определяется по формуле:

$$H_{РЗМ}(t_n, t_k) = K_D \cdot P_1,$$

где t_n – время начала облучения, прошедшее с момента аварии до непосредственного начала облучения;

t_k – время конца облучения, но не превышающее 10 суток для населения;

K_D – значение коэффициента принимается по табл. 40 в зависимости от временных показателей начала и конца облучения;

P_1 – мощность прогнозируемой эквивалентной дозы внешнего облучения в зависимости от места расположения реципиента на следе радиоактив-

ного загрязнения и вычисляется в свою очередь по формуле:

$$P_1 = K_D P_{\text{РЗМ}}^O.$$

где – $P_{\text{РЗМ}}^O$ ожидаемая доза внешнего облучения на оси следа радиоактивного облака (O – ось; РЗМ – радиоактивное заражение местности) (табл. 41).

Следует заметить, что при облучении персонала и населения принимаются решения об их эвакуации в соответствии с НРБ-99/2009 [5], что и будет обуславливать временные показатели облучения.

Таблица 40

Значение K_D в зависимости от временных показателей нахождения людей на следе радиоактивного загрязнения на местности

Время начала облучения $t_{\text{н}}, \text{ч}$	Время конца облучения $t_{\text{к}}, \text{ч}$	
	2 сут	10 сут
0,1	11	20
1	10	19
3	8,4	17
6	6,8	16
12	4,8	14
18	3,5	13
24	2,6	12

Таблица 41

Мощность ожидаемой эквивалентной дозы внешнего облучения при нахождении людей на оси радиоактивного загрязнения местности $P_{\text{РЗМ}}^O$

Расстояние от реактора ВВЭР-1000, км	1	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
Мощность ожидаемой дозы, мЗв/ч	320	240	190	110	74	54	49	39	37	32	31	27	24

Аварийным сценарием запроектной аварии является: возникновение малой течи в первом контуре, не срабатывает система безопасности при низком давлении в контуре циркуляции, происходит обезвоживание активной зоны реактора, нагрев топлива, нагрев и повреждение всех твэлов в активной зоне реактора, перегрев топлива – это приводит к повреждению герметичной оболочки реактора без срабатывания спринклерной системы, происходит выход летучих и газообразных нуклидов. Это так называемая «малая LOCA». Для этой аварии частота выброса радиоактивных веществ (продуктов деления – ПД) в окружающую среду составляет $2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ [37].

Выброс радионуклидов происходит на высоте 70 м над уровнем земли, скорость ветра на высоте флюгера 2,7 м/с (наиболее вероятная), категория погодных условий D [38].

Результаты расчётов количества поздних смертей и рисков поздней смерти по румбам и соответствующим секторам (рис. 36) сведены в табл. 42. Количество населения, оказавшееся на удалении от 3 до 100 км определялось выше указанным способом при рассмотрении проектных аварий.

Таблица 42

Оценка риска на НВАЭС для населения по румбам на удалении до 100 км
(запроектная авария)

Румб	Кол-во чел. в румбе	Коллективная доза, чел.-Зв/год	Кол-во поздних смертей
С	1037755	$1,15 \cdot 10^3$	$5,73 \cdot 10^2$
СВ	108503	$8,33 \cdot 10^2$	$4,17 \cdot 10^2$
В	94156	$4,34 \cdot 10^2$	$2,17 \cdot 10^2$
ЮВ	176477	$1,08 \cdot 10^4$	$5,41 \cdot 10^2$
Ю	136045	$7,73 \cdot 10^2$	$3,87 \cdot 10^2$
ЮЗ	99258	$3,96 \cdot 10^2$	$1,98 \cdot 10^2$
З	91850	$6,13 \cdot 10^2$	$3,06 \cdot 10^2$
СЗ	100303	$5,07 \cdot 10^2$	$2,54 \cdot 10^2$

Для рассмотренного сценария запроектной аварии на ВВЭР-1000 НВАЭС определены следующие показатели последствий:

→ ранние смертные случаи среди населения исключаются, поскольку на начальном этапе аварии максимальные индивидуальные поглощённые дозы внешнего облучения всего тела (~ 290 мГр) не достигают уровня 1 Гр, при которых возможны детерминированные эффекты;

→ коллективный риск (математическое ожидание потерь) – ожидаемое количество пострадавших среди населения (ранние последствия) при рассмотренном сценарии за 1 год отсутствует;

→ возможное количество пострадавших (отдалённые последствия) по наиболее вероятному сценарию (наиболее вероятное направление ветра согласно табл. 36 и НП-032-19 [29]) составляет 306 человек;

→ коллективный риск (математическое ожидание потерь) – ожидаемое количество пострадавших среди населения (отдалённые последствия) при рассмотренном сценарии за 1 год составляет $2,2 \cdot 10^{-4}$ чел/год;

→ средняя индивидуальная годовая эффективная доза среди населения составляет ~ 8,8 мЗв;

→ индивидуальный риск отдалённых последствий – $4,4 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹;

→ индивидуальный риск отдалённых последствий с учётом вероятности события – $8,8 \cdot 10^{-10}$ год⁻¹;

→ суммарный коллективный риск (математическое ожидание потерь) – ожидаемое количество пострадавших и погибших людей, оказавшихся в зоне прогнозируемой ЧС, за 1 год составляет $2,22 \cdot 10^{-4}$ чел/год.

В отечественной практике атомной отрасли принято аварии на АЭС с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду в зависимости от характера аварии и масштабов последствий подразделять на 4-е категории.

Первая категория – локальная авария, при которой в результате нарушения в работе АЭС происходит выход радиоактивных продуктов или ионизирующих излучений за предусмотренные границы оборудования, технологических систем, зданий и сооружений. Количество выброшенных радиоактивных веществ (РВ) превышает установленные значения, но зона радиоактивного

загрязнения внешней среды не выходит за пределы промплощадки АЭС.

Вторая категория – местная авария. Выход РВ происходит за пределы промплощадки, но область радиоактивного загрязнения находится внутри санитарно-защитной зоны АЭС. При этом в зараженной зоне возможно облучение персонала в дозах, превышающих допустимые, концентрация РВ в воздухе и уровень радиоактивных загрязнений поверхностей в помещениях и на территории АЭС и санитарно-защитной зоне (СЗЗ) выше допустимых.

Третья категория – средняя авария. Область радиоактивного загрязнения выходит за пределы СЗЗ, но локализуется в пределах ближайшего поселения либо муниципального района.

Четвёртая категория – крупная авария. Область радиоактивного загрязнения выходит за пределы 100 км и охватывает несколько регионов или один или несколько городов с количеством населения более 1 млн. человек, при уровне суммарного облучения в течение года дозой более 3 сЗв. Среднюю и крупную аварии принято объединять в один вид аварий – общая радиационная авария.

12. Методические подходы, облегчающие принятие решений о введении мер радиационной защиты населения.

Принятие решения о необходимости и сроках введения соответствующих мер радиационной защиты населения является логическим завершением и кульминацией процесса совокупной оценки радиологических последствий крупной аварии. Эта совокупная оценка, основанная на прогностических расчётах и текущей информации, должна состоять из ряда отдельных оценок радиологического и нерадиологического характера (рис. 38).

Принятие решения должно быть основано на трёх базисных подходах, принятых в атомной отрасли при эксплуатации атомных станций [39]:

① Должна быть достаточной соответствующая информация о характере и последствиях аварии; предпочтительна суммированная по отдельным фактам (измерениям) и надлежащим образом оценённая информация, меняющаяся с течением времени и подлежащая необходимой корректировке.

② Должна быть понятной степень радиационной опасности для населения во временном (краткосрочный и долговременный риск), пространственном (площадь района радиационного воздействия) и популяционном (численность облучаемого населения) аспектах.

③ Должны быть понятными ожидаемая полнота и эффективность рекомендуемых мер радиационной защиты в сопоставлении с затратами на их осуществление и с присущим им риском для населения.

Так как принятное решение должно относиться к конкретным обстоятельствам, характеризующим последствия аварии, то процесс принятия решения должен включать рассмотрение трёх структур последствий – временной, пространственной и технической.

Временная структура последствий радиационной аварии характеризуется наличием периода, предшествующего выбросу (сбросу) радиоактивности в окружающую среду (или начальной фазы аварии), и периода после выброса (ранняя, промежуточная и поздняя фазы аварии).

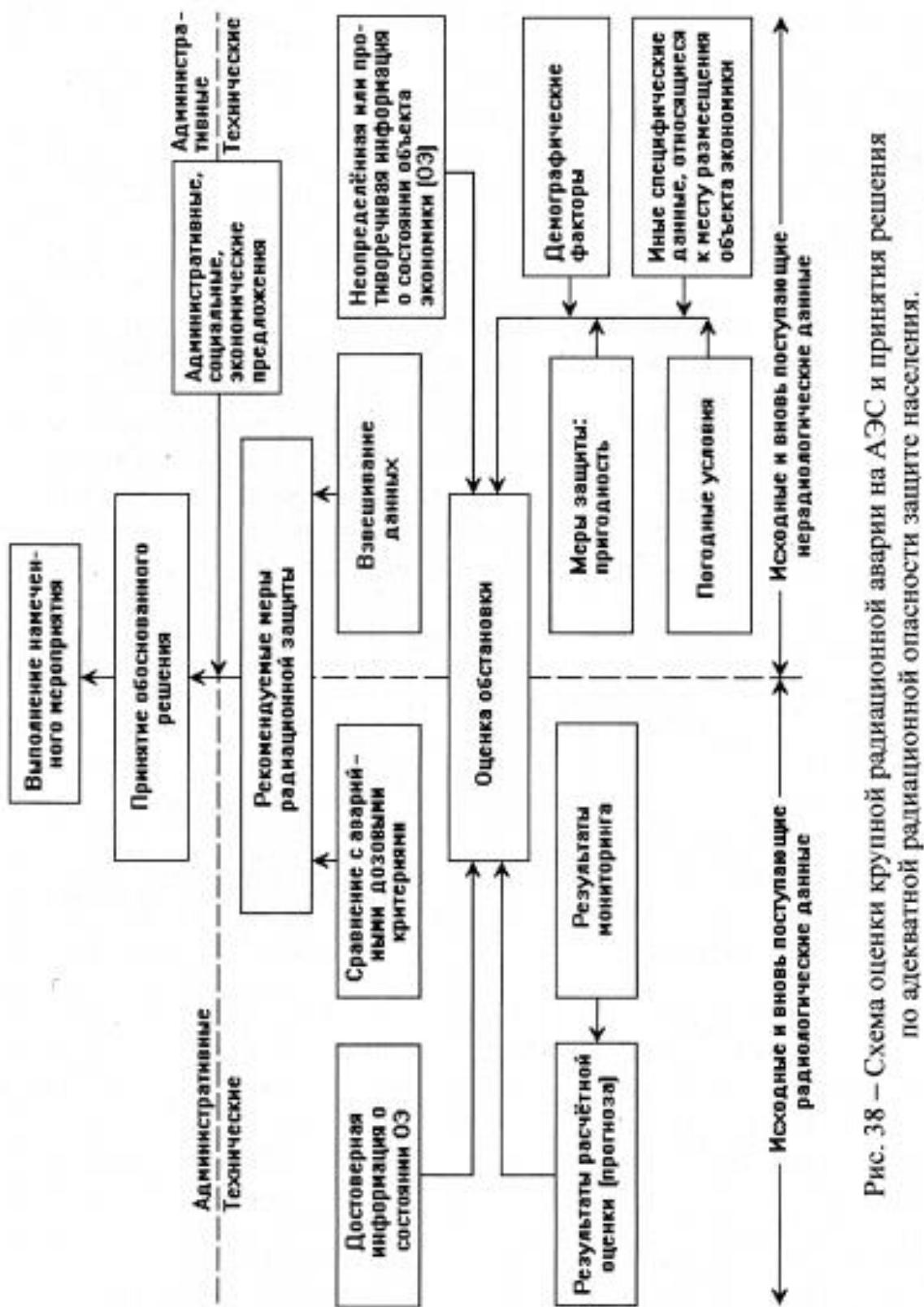


Рис. 38 – Схема оценки крупной радиационной аварии на АЭС и принятия решения по аллекватной радиационной опасности защиты населения.

При планировании, организации и проведении защитных мероприятий по отношению к населению, попадающим в зону радиационной опасности, следует иметь ввиду, что каждая из фаз аварии характеризуется присущими им показателями радиационной нагрузки на население и мерами его радиационной защиты.

Пространственная структура последствий запроектной аварии относится к району радиационного воздействия и включает дифференциацию территории района вокруг предприятия на отдельные зоны по уровням радиационного воздействия и соответствующим мерам радиационной защиты (рис. 36).

Техническая структура последствий аварии определяется соотношением их с так называемыми критериями вмешательства, которые по своей природе обусловлены характеристиками источника выброса (броса). Разрабатываемые в ходе аварийного планирования типичные сценарии аварий должны отражать технологические условия, складывающиеся перед выбросом радиоактивности в окружающую среду, и условия радиационной обстановки в районе размещения предприятия после этого выброса. Оба типа этих взаимосвязанных условий представляют собой критерии вмешательства, но при невозможности установления чёткой их взаимосвязи рассматриваются раздельно.

Технологические критерии вмешательства, оцениваемые при предварительном планировании, должны представлять собой ряд наборов типичных технологических аварийных условий, отражающих в первую очередь нарушения в действии критических систем, компонентов или структур. Идентификация типичных аварийных условий облегчается при изучении стандартных аварий посредством проведения ВАБ.

Принимаемое до выброса, на основе технологических критериев решения о применении мер радиационной защиты населения должно рассматривать:

- обеспечивающую средствами технологического контроля и анализа оценку вероятности выброса и его последствий;
- прогнозируемую длительность потенциального выброса;
- прогнозируемые дозы потенциального облучения населения;
- соотношения прогнозируемых доз потенциального облучения населения и аварийных дозовых критериев.

Технологические средства контроля в этой связи должны быть отлажены таким образом, чтобы иметь некую «точку тревоги» или ожидание типичных аварийных условий, соответствующих нижнему пределу аварийного дозового критерия в применении к населению в заданной точке на территории для наихудших условий рассеяния выброса в атмосфере. Кроме этого, целесообразно иметь «точку внимания», соответствующую облучению населения между нормальным фоном и «точкой тревоги», чтобы учитывать изменения в технологических процессах, предшествующие возможной аварии.

Критерии вмешательства, определяемые условиями радиационной обстановки вне пределов промплощадки, являются по своей сути аварийными дозовыми пределами (НРБ-99/2009 [5]) или разрабатываемыми на их основе и эквивалентными им аварийными предельными уровнями радиоактивного загрязнения окружающей среды (уровни вмешательства). При принятии решения о

применении мер радиационной защиты населения необходимо сопоставление прогнозируемых предварительно или рассчитываемых на основе измерений доз облучения населения и аварийных дозовых пределов для наиболее облучаемых лиц из проживающих (находящихся) людей в заданном участке зоны радиационного воздействия. При осуществлении подобного сопоставления необходимо учитывать запас по дозе, обеспечиваемый осуществлением мер радиационной защиты.

Следует ожидать, что в реальных условиях вряд ли случится рассмотренная сценарная или «стандартная» авария, при которой будут подтверждены все переменные, входящие в прогностические модели. Даже совпадение с аварийными дозовыми пределами не будет обязательно означать, что оценки доз по измерениям в окружающей среде должны автоматически обуславливать введение соответствующих мер защиты. Поэтому должны быть подтверждены и взвешены основные компоненты решения, основанные на трёх базисных подходах (информация о состоянии предприятия, понимание степени радиационной опасности, понимание потенциальных полноты и эффективности мер защиты) (рис. 38).

Проверку и взвешивание информации целесообразно проводить по следующим признакам:

- ⇒ адекватность её слагающимся условиям, особенно в ходе фазы, предшествующей выбросу;
- ⇒ полнота данных, получаемых от средств технологического контроля и персонала;
- ⇒ степень присущей неопределенности информации;
- ⇒ нежелание персонала оценивать данные, особенно непривычные и непонятные.

При взвешивании степени радиационной опасности для населения необходимо чётко различать уровни, представляющие угрозу для жизни, и менее серьёзные. При взвешивании значимости предлагаемых мер радиационной защиты необходимо всегда помнить, что их эффективность определяется участием и сотрудничеством населения, для которого предназначены эти меры. При принятии решения, основанного на сопоставлении потенциальных доз облучения и аварийных дозовых пределов, следует оценивать время достижения нижнего и верхнего уровней аварийных дозовых пределов и время, необходимое для введения и осуществления мер радиационной защиты. Вместе с тем значение полноты осуществления какой-либо отдельной меры защиты, соответствующей достижению аварийного дозового предела (или уровня вмешательства), недостаточно без оценки соотношения предотвращаемого риска облучения и неподдающегося учёту риска и затрат, присущих мере защиты. Желательно при принятии решения сознавать виды риска, трудности и затраты, которые сопутствуют различным защитным мерам, и степень, с которой они будут мешать нормальной жизни.

В ходе процесса принятия решения о введении мер защиты необходимо осуществлять контроль за правильностью этого процесса на основе следующего широко известного в антикризисном управлении перечня требующих оценки

факторов [39]:

1) Ожидаемое время начала выброса и неопределённости в оценке. Это позволяет знать время, отпущенное на оценку, принятие решения и введение мер защиты.

2) Ожидаемая мощность разового или продолжительного выброса и неопределённости в оценке. Быстрая приближённая оценка выброса может стать основой для принятия решения о введении превентивных мер защиты.

3) Потенциальные дозы облучения населения и неопределённости в их оценке. При их прогнозе следует определить пункты на территории и внешние границы района размещения потенциально облучаемого населения.

4) Ожидаемое время достижения аварийных дозовых пределов и неопределённости в его оценке. Желательно графическое представление накопления потенциальной дозы с течением времени с указанием на графике нижнего уровня аварийного дозового предела, при котором может потребоваться применение соответствующих мер радиационной защиты.

5) Время, требуемое для введения мер защиты. Информация в этом случае может быть получена из практического опыта и исследований, осуществляемых в ходе аварийного планирования.

6) Собственно решение о введении мер радиационной защиты. Это может быть и решение ничего не предпринимать в данный момент.

7) Поступающая информация и отчёты с анализом радиационной обстановки и выполнения мер защиты.

8) Повторение цикла контроля.

Заключение.

После аварий 7-го уровня по шкале МАГАТЭ на Чернобыльской (1986 г.) и Фукусимской (2011 г.) атомных станциях были разработаны и реализованы широкомасштабные мероприятия по повышению безопасности АЭС, основанные на уроках катастроф «мирного атома».

В области обеспечения радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды это было связано в первую очередь с выходом новой публикации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) №60, 1990 г. и основанных на ней Международных Норм безопасности (МАГАТЭ, серия безопасности №115, 1997 г.), предложившей новые дозовые пределы облучения персонала и населения, принятые впоследствии большинством стран мира. В России данные рекомендации были введены Федеральным законом от 09.01.1996 №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», начиная с 01.01.2000.

Упомянутым федеральным законом и Нормами радиационной безопасности (сейчас это НРБ-99/2009 [5]) установлены основные пределы доз для ограничения техногенного облучения персонала и лиц из населения в контролируемых условиях. Основные пределы доз установлены для величины годовой эффективной дозы и годовой эквивалентной дозы облучения отдельного органа. Годовая эффективная доза равна сумме эффективной дозы внешнего

облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

В заключении укажем основные результаты деятельности по совершенствованию радиационной защиты персонала, населения и окружающей среды при эксплуатации Нововоронежской атомной станции после произошедших катастроф в период её эксплуатации:

- облучаемость персонала НВАЭС снижена в среднем примерно в 3 раза;
- радиационное воздействие НВАЭС на население и окружающую среду снижено в десятки раз;
- создана и функционирует автоматизированная система контроля радиационной обстановки в районе расположения НВАЭС (АСКРО) и учёта результатов индивидуального дозиметрического контроля (АСИДК);
- ведётся модернизация систем радиационного контроля (СКР) НВАЭС, что позволяет осуществлять радиационный контроль на всём жизненном цикле энергоблоков на площадке НВАЭС;
- разработана и поставляется на НВАЭС новая аппаратура радиационного контроля;
- реализован инновационный проект по модернизации НВАЭС – построены два энергоблока нового поколения «3+» проекта «АЭС-2006», где учтены многие недочёты существующих АЭС в мире, в первую очередь, по вопросам техногенной и экологической безопасности.

Литература

1. Бараповская Н.В., Игнатова Т.Н., Рихванов Л.П. Уран и торий в организмах и тканях человека / Вестник Томского государственного университета, №339, октябрь, 2010 // Науки о Земле. – Томск, Изд-во ТГУ, 2010. – С. 182-188.
2. Пивоваров Ю.П. Радиационная экология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.П. Пивоваров, В.П. Михалёв. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240 с.
3. Плачкова С.Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире / С.Г. Плачкова // [Электронный ресурс – <http://energetika.in.ua/tu/books/book-5>].
4. Стёпкин Ю.И., Кузмичёв М.К., Клёников О.В. Попов В.И. Последствия радиационного загрязнения территории Воронежской области по истечении тридцати лет после аварии на Чернобыльской АЭС / Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2017. – Воронеж: ВГУ, 2017. – С. 108-112.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09.
6. Матвеева И.В. Экологическое нормирование действия радиационного фактора на биоту озёрной экосистемы / И.В. Матвеева // Экологическая безопасность №1/2014 (17). – Киев: Изд. «Экологическая безопасность», 2014. – С. 14-19.
7. РД 52.18.826-2015 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением компонентов природной среды.
8. Информационное письмо ФГБУ «Воронежского ЦГМС» от 16.03.2012 №306.
9. Приказ МЧС России от 08.07.2004 №329 «Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях».
10. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с Изменением №1).
11. Голубева Г.Л. Сочтёмся славою ... – Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2013. – 112 с.
10. Федеральный закон от 09.01.1996 №3-ФЗ (ред. от 19.07.2011) «О радиационной безопасности населения».
11. МУ 2.6.1.042-2001 Расчёт и обоснование размеров санитарно-защитных зон и зон наблюдения вокруг АЭС.
12. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 №40 (ред. от 16.09.2013) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» (вместе с «СП 2.6.1.2612-10. ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормативы...») (зарег. в Минюсте РФ 11.08.2010 №18115).
13. Радиационно-гигиенический паспорт территории Воронежской области по состоянию за 2018 год. Паспорт заполнен и утверждён 15.05.2019 руководи-

телем департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области; получено положительное заключение Главного государственного санитарного врача по Воронежской области 24.05.2019.

14. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Воронежской области за 2011 год. Выпуск 17 / ТЦ государственного мониторинга геологической среды Воронежской области // Филиал ТЦ «Тамбовгеомониторинг» ОАО «Геоцентр-Москва».

15. Международное агентство по атомной энергии. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной ситуации. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 7, МАГАТЭ, Вена, 2015.

16. Международное агентство по атомной энергии. Меры по защите населения в случае тяжёлой аварии на легководном реакторе, EPR-NPP Действия по защите населения, МАГАТЭ, Вена, 2013.

17. Страшный В.Н. Агроклиматические ресурсы Воронежской области. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 108 с.

18. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: Учебное пособие / Мар. гос. ун-т; Ю.А. Александров. – Йошкар-Ола, 2007. – 268 с.

19. Радиационно-гигиенический паспорт территории Воронежской области по состоянию за 2015 год. Паспорт заполнен и утверждён 29.04.2016 руководителем департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области; получено положительное заключение Главного государственного санитарного врача по Воронежской области 12.05.2016.

20. Радиационно-гигиенический паспорт территории Воронежской области по состоянию за 2016 год. Паспорт заполнен и утверждён 10.05.2017 руководителем департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области; получено положительное заключение Главного государственного санитарного врача по Воронежской области 22.05.2017.

21. Радиационно-гигиенический паспорт территории Воронежской области по состоянию за 2017 год. Паспорт заполнен и утверждён 14.05.2018 руководителем департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области; получено положительное заключение Главного государственного санитарного врача по Воронежской области 22.05.2018.

22. Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосфера Земли / А.М. Кузин. – М.: Наука, 1991. – 115 с.

23. Отчёт по экологической безопасности за 2018 год / Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС». – Новоронеж: НВ АЭС, 2019. – 49 с.

24. Асмолов В.Г. Основы обеспечения безопасности АЭС: учебное пособие для студентов вузов / В.Г. Асмолов, В.Н. Блинков, О.Г. Черников. – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 152 с.

25. НП-001-15 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Утверждены постановлением Ростехнадзора от 17.12.2015 №522.

26. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х частях. // Ч. 2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками: Научн. Руковод. К.В. Фролов. – М.: МГФ «Знание», 2006. – 752 с.

27. НП-032-01 «Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности», утверждены постановлением Госатомнадзора России от 08.11.2001 №10 (в настоящее время не действует).

28. СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций», утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.04.2003 №69 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций».

29. НП-032-19 «Площадка атомной станции. Требования безопасности», утверждены приказом Ростехнадзора от 19.07.2019 №287 (зарегистрирован в Минюсте РФ 02.12.2019 №287).

30. Романов Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий. Справочное руководство. – М.: ИздАТ, 1993. – 336 с.

31. Радиационная и химическая безопасность населения / Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков; МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 544 с.

32. ГОСТ Р 42.4.02-2015 Гражданская оборона. Режимы радиационной защиты на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

33. Разиньков Н.Д., Овчинникова Т.В. Пруд-охладитель Нововоронежской атомной электростанции как прирусловый водоём Дона: преимущества и возникающие проблемы. / Научно-технический журнал: «Мониторинг. Наука и технология» («МНТ»). №4 (42). – Республика Дагестан, Махачкала, ООО «Центр сопряжённого мониторинга окружающей среды и природных ресурсов», 2019. – С.50-55.

34. Бесчастнов С.П., Найденов А.В. Диффузионные модели струи газо-аэрозольной примеси для локальных систем радиационного мониторинга. – М.: Атомная энергия, 2000, т.88, вып. 6. – С.464-470.

35. Доклад о государственном надзоре и контроле за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды Воронежской области в 2004 году / В.И. Ступин, Л.Г. Калинина, А.И. Бородкин и др. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 142 с.

36. Владимиров В.А. Радиационная и химическая безопасность населения / Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков; МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 544 с.

37. Острейковский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с.

38. МУ 2.6.5.010-2016. 2.6.5. Атомная энергетика и промышленность. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. Методические указания (утв. ФМБА России 22.04.2016).

39. Романов Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий. Справочное руководство. - М.: ИздАТ, 1993. – 336 с.

Научное издание

Разиньков Н.Д., Овчинникова Т.В., Куприенко П.С.

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС**

Монография

Издание публикуется в авторской редакции

Подписано в печать 16.06.2020г.

Формат 60x84/16. Объем 7,6 п.л.

Бумага офсетная. Тираж 6 экз. Заказ № 0601.

Издательство ООО «Цифровая полиграфия»
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, д. 52
Тел.: (473) 261-03-61, e-mail: zakaz@print36.ru
<http://www.print36.ru>

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Цифровая полиграфия»