



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Научный центр «Техэкспертиза»
ИНН / КПП 7725669930 / 524501001

Юридический адрес: 607612, Нижегородская обл., район Богородский, поселок
Буревестник, ул. Центральная, д.61, тел. +7 (831) 291-35-62
Почтовый адрес: 115280, г. Москва, 3-й Автозаводский пр-д, д.4, а/я 159
Тел.: +7(495)120-02-76, e-mail: aoncte@outlook.com, www.ncte.ru

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
АО «НЦ «Техэкспертиза»



А.А. Касаткин

2017

ОТЧЕТ

Билибинская АЭС. Блок 2.
ВАБ-1 внешних воздействий (исключая сейсмические)

Рег. № 276/04/ТЭ-2016

2017

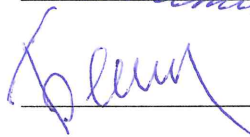
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Начальник отдела



Ю.И. Матюнин

Ведущий инженер



В.А. Белецкий

СОГЛАСОВАНО:

Консультант – эксперт

Главный инженер БКП-5

АО «Атомэнергопроект»



А.В. Любарский

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|----------|--|----|
| | Аннотация | 7 |
| | Введение..... | 8 |
| П8.1 | Общие сведения | 10 |
| П8.2 | Сбор информации, специфической для блока атомной станции..... | 19 |
| П8.2.1 | Географические и климатические условия района размещения Билибинской АЭС | 20 |
| П8.2.2 | Метеорологические характеристики района размещения площадки Билибинской АЭС | 22 |
| П8.2.2.1 | Температура воздуха | 23 |
| П8.2.2.2 | Температура почвы..... | 25 |
| П8.2.2.3 | Ветер..... | 25 |
| П8.2.2.4 | Смерчи..... | 28 |
| П8.2.2.5 | Осадки и снежный покров..... | 28 |
| П8.2.2.6 | Атмосферные явления | 30 |
| П8.2.3 | Гидрологические характеристики района размещения площадки Билибинской АЭС | 32 |
| П8.2.3.1 | Водотоки района размещения Билибинской АЭС | 32 |
| П8.2.3.2 | Характеристики водохранилища и дамбы на ручье Большой Поннеурген..... | 36 |
| П8.2.3.3 | Грунтовые воды на площадке Билибинской АЭС..... | 40 |
| П8.2.4 | Литология..... | 42 |
| П8.2.4.1 | Осадки и крены основных зданий АЭС..... | 42 |
| П8.2.4.2 | Характеристики грунтов территории промплощадки | 46 |
| П8.2.5 | Источники техногенных воздействий на здания и сооружения Билибинской АЭС | 47 |
| П8.2.5.1 | Использование воздушного пространства в районе площадки Билибинская АЭС | 47 |
| П8.2.5.2 | Железные дороги | 54 |
| П8.2.5.3 | Автомобильные дороги | 54 |
| П8.2.5.4 | Речной транспорт..... | 57 |
| П8.2.5.5 | Трубопроводы..... | 57 |
| П8.2.5.6 | Электросеть. Источники электромагнитных воздействий..... | 57 |
| П8.2.5.7 | Горючие, взрывоопасные и ядовитые вещества на промплощадке Билибинской АЭС и в районе размещения Билибинской АЭС..... | 58 |
| П8.2.5.8 | Пожароопасность района размещения Билибинской АЭС..... | 59 |
| П8.2.6 | Проектные решения на Билибинской АЭС | 59 |
| П8.2.6.1 | Общая характеристика Билибинской АЭС..... | 59 |
| П8.2.6.2 | Основные системы энергоблоков | 67 |
| П8.2.6.3 | Техническое водоснабжение..... | 68 |
| П8.2.6.4 | Система теплоотвода от активной зоны | 69 |
| П8.2.6.5 | Турбоустановка..... | 69 |
| П8.2.6.6 | Меры по защите объектов и персонала Билибинской АЭС от внешних воздействий, предусмотренные в проекте | 70 |
| П8.3 | Формирование перечня внешних воздействий..... | 72 |
| П8.3.1 | Процедуры формирования предварительного и окончательного перечней внешних воздействий | 72 |
| П8.3.2 | Формирование критериев исключения внешних воздействий | 73 |
| П8.3.3 | Формирование и анализ перечня внешних воздействий на основании примерного перечня РБ-021-14 | 74 |
| П8.3.3.1 | Падение летательного аппарата или других летящих предметов..... | 74 |
| П8.3.3.2 | Взрыв..... | 75 |
| П8.3.3.3 | Выброс в атмосферу взрывоопасных и воспламеняющихся веществ | 76 |
| П8.3.3.4 | Выброс ядовитых паров, газов и аэрозолей в атмосферу | 76 |

| | | |
|-----------|--|----|
| П8.3.3.5 | Коррозионные жидкие сбросы в поверхностные и грунтовые воды..... | 77 |
| П8.3.3.6 | Разлив масел и нефтепродуктов на прибрежных поверхностях рек, морей и океанов | 77 |
| П8.3.3.7 | Пожар по внешним причинам | 77 |
| П8.3.3.8 | Прорыв естественных и искусственных водохранилищ..... | 78 |
| П8.3.3.9 | Разрушение разделяющей дамбы..... | 78 |
| П8.3.3.10 | Разрушение ограждающей дамбы..... | 78 |
| П8.3.3.11 | Электромагнитные импульсы и излучения | 78 |
| П8.3.3.12 | Рассеивание выбросов промышленных предприятий в атмосфере площадки АЭС | 79 |
| П8.3.3.13 | Удар молнии | 79 |
| П8.3.3.14 | Наводнение | 79 |
| П8.3.3.15 | Высокий уровень воды в водоемах..... | 79 |
| П8.3.3.16 | Приливы и отливы | 80 |
| П8.3.3.17 | Волновые явления..... | 80 |
| П8.3.3.18 | Сейши..... | 80 |
| П8.3.3.19 | Цунами | 80 |
| П8.3.3.20 | Ледовые явления на водотоках (заторы и зажоры) | 80 |
| П8.3.3.21 | Смерч..... | 80 |
| П8.3.3.22 | Сильный ветер, ураган..... | 81 |
| П8.3.3.23 | Снежные бури (метель) | 81 |
| П8.3.3.24 | Песчаные бури | 82 |
| П8.3.3.25 | Тропический циклон..... | 82 |
| П8.3.3.26 | Экстремальные снегопады и снегозапасы | 82 |
| П8.3.3.27 | Экстремальная температура воздуха | 82 |
| П8.3.3.28 | Снежная лавина | 83 |
| П8.3.3.29 | Гололед..... | 83 |
| П8.3.3.30 | Град | 84 |
| П8.3.3.31 | Засуха | 84 |
| П8.3.3.32 | Ливневые осадки..... | 84 |
| П8.3.3.33 | Локальные ливневые осадки | 84 |
| П8.3.3.34 | Не сейсмические движения земной поверхности..... | 84 |
| П8.3.3.35 | Сеймотектонические разрывные смещения, сейсмодислокации, сеймотектонические поднятия, опускания блоков земной коры | 85 |
| П8.3.3.36 | Землетрясение..... | 85 |
| П8.3.3.37 | Извержение вулкана | 85 |
| П8.3.3.38 | Грязевой вулканизм..... | 85 |
| П8.3.3.39 | Оползни..... | 86 |
| П8.3.3.40 | Обвалы и оползни-обвалы..... | 86 |
| П8.3.3.41 | Сели | 86 |
| П8.3.3.42 | Лавины снежно-каменные и щебенисто-глыбовые..... | 86 |
| П8.3.3.43 | Оседания и провалы территории..... | 86 |
| П8.3.3.44 | Размывы подземные, в том числе подземные проявления карста..... | 87 |
| П8.3.3.45 | Размывы берегов, склонов, русел..... | 87 |
| П8.3.3.46 | Мерзлотно-геологические процессы..... | 87 |
| П8.3.3.47 | Деформации специфических грунтов..... | 88 |
| П8.3.3.48 | Аномальное снижение уровня воды в замкнутых водоемах (не связанное с температурными явлениями) | 88 |
| П8.3.3.49 | Биологические явления | 88 |
| П8.3.3.50 | Внеземные воздействия..... | 89 |
| П8.3.3.51 | Образование летящих предметов при разрушении ротора турбины..... | 90 |
| П8.3.4 | Формирование и анализ перечня внешних воздействий на основании номенклатуры процессов, явлений и факторов НП-064-05 | 91 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| П8.3.5 | Формирование и анализ перечня внешних воздействий на основании перечня внешних воздействий из ВАБ внешних воздействий для российских и зарубежных АЭС | 91 |
| П8.3.6 | Формирование и анализ перечня внешних воздействий на основании перечня внешних воздействий специфических для блока АЭС | 91 |
| П8.3.7 | Формирование и анализ перечня внешних воздействий на основании перечня потенциальных сочетаний внешних воздействий | 91 |
| П8.3.7.1 | Матрица сочетаний внешних воздействий | 91 |
| П8.3.7.2 | Засуха | 94 |
| П8.3.7.3 | Гололед и ветер, метель..... | 94 |
| П8.3.7.4 | Туман (при малой скорости воздуха)..... | 94 |
| П8.3.7.5 | Пыльная буря, загрязнения при смерче | 94 |
| П8.3.7.6 | Гроза со шквальным ветром или смерчем | 94 |
| П8.3.7.7 | Гроза с ливневыми осадками или градом | 94 |
| П8.3.7.8 | Ветер и летящие предметы. Смерч и летящие предметы | 94 |
| П8.3.7.9 | Образование нагонной волны | 94 |
| П8.3.7.10 | Концентрация ледяных отложений и льдин при ветрах | 94 |
| П8.3.7.11 | Засорение водоемов летящими предметами при смерче, концентрация органических отложений (водорослей) при ветрах, смерчах | 95 |
| П8.3.7.12 | Аварии на речном транспорте при ураганах или туманах | 95 |
| П8.3.7.13 | Ледяная шуга в воде | 95 |
| П8.3.7.14 | Пожар после падения самолета | 95 |
| П8.3.7.15 | Лесной пожар в районе площадке вследствие засухи | 95 |
| П8.3.7.16 | Облака токсических и взрывчатых веществ после воздействия с воздуха | 95 |
| П8.3.7.17 | Оседание воздушных загрязнений в воде..... | 96 |
| П8.3.7.18 | Зажоры, заторы | 96 |
| П8.3.7.19 | Эрозии берегов рек, оползни..... | 96 |
| П8.3.7.20 | Взрывы после аварии на наземном транспорте, в том числе в тумане и при снегопадах..... | 96 |
| П8.3.7.21 | Промерзание грунта и воздействия на подземные коммуникации..... | 96 |
| П8.3.7.22 | Пожар при землетрясении..... | 96 |
| П8.3.7.23 | Прорыв дамбы и ветровая нагонная волна | 96 |
| П8.3.7.24 | Прорыв дамбы и половодье..... | 96 |
| П8.3.7.25 | Половодье и ветровая нагонная волна..... | 96 |
| П8.3.7.26 | Половодье, прорыв дамбы и ветровая нагонная волна | 97 |
| П8.3.8 | Результаты выполнения этапа «Формирование перечня внешних воздействий» | 97 |
| П8.3.9 | Окончательный перечень внешних воздействий..... | 101 |
| П8.4 | Оценка вероятностей (частот) внешних воздействий | 102 |
| П8.4.1 | Оценка вероятностей сильных ветров | 102 |
| П8.4.2 | Оценка вероятностей экстремальных снегопадов..... | 102 |
| П8.4.3 | Оценка вероятностей экстремальных снегозапасов..... | 103 |
| П8.4.4 | Оценка вероятности отрыва лопатки ротора турбины и образования летящих предметов | 104 |
| П8.5 | Анализ надежности персонала | 109 |
| П8.5.1 | Методология анализа надежности персонала..... | 109 |
| П8.5.2 | Анализ доаварийных ошибок персонала | 109 |
| П8.5.3 | Анализ послеаварийных ошибок персонала..... | 109 |
| П8.5.4 | Анализ зависимостей между действиями оператора | 109 |
| П8.6 | Анализ сценариев внешних воздействий..... | 110 |
| П8.6.1 | Формирование критериев исключения сценариев на этапе отборочного анализа | 110 |
| П8.6.2 | Взрыв на складе дизельного топлива..... | 110 |
| П8.6.3 | Экстремальный ветер | 110 |
| П8.6.4 | Образование летящих предметов при разрушении турбины | 111 |

| | | |
|--------|---|-----|
| П8.6.5 | Результаты выполнения отборочного анализа | 111 |
| П8.7 | Детальный анализ сценариев, обусловленных внешними воздействиями..... | 112 |
| П8.7.1 | Общий принцип построения моделей сценариев аварий, вызванных внешними воздействиями..... | 112 |
| П8.7.2 | Отбор исходных событий для аварийных сценариев, вызванных внешним воздействием..... | 112 |
| П8.7.3 | Определение показателей надежности элементов систем | 118 |
| П8.7.4 | Моделирование аварийных последовательностей при работе блока на мощности | 118 |
| П8.7.5 | Результаты оценки частот повреждения ядерного топлива..... | 119 |
| П8.8 | Анализ неопределенности, чувствительности и значимости..... | 120 |
| П8.8.1 | Анализ неопределенности..... | 120 |
| П8.8.2 | Анализ значимости | 120 |
| П8.8.3 | Анализ чувствительности..... | 121 |
| П8.9 | Анализ результатов вероятностного анализа безопасности внешних воздействий, и оценка уровня безопасности энергоблока атомной станции ... | 123 |
| | Заключение | 124 |
| | Перечень принятых сокращений..... | 125 |
| | Список литературы | 127 |

АННОТАЦИЯ

Специалистами АО «НЦ «Техэкспертиза» в соответствии с договором № 276/11ТЭ/2016/9/17704-Д от 30.11.2016 проведены следующие работы:

- сбор информации, специфической для блока АС;
- формирование перечня внешних воздействий;
- оценка вероятностей (частот) внешних воздействий;
- анализ надежности персонала;
- отборочный анализ сценариев внешних воздействий;
- детальный анализ сценариев внешних воздействий;
- анализ значимости, чувствительности, неопределенностей модели ВАБ внешних воздействий;
- анализ результатов ВАБ внешних воздействий;
- анализ применимости результатов ВАБ внешних воздействий для всех блоков Билибинской АЭС.

ВВЕДЕНИЕ

Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии, а также нормы и рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности (ВАБ) предусматривают необходимость включать в состав материалов по анализу и обоснованию безопасности АС вероятностные анализы безопасности [1-3]. ВАБ представляет реалистический (неконсервативный) анализ запроектных аварий и содержит оценки вероятности путей протекания и последствий таких аварий.

Целевым ориентиром безопасности АС, оцениваемым в ВАБ уровня 1 является непревышение суммарной вероятности тяжелых аварий для каждого блока АС на интервале в один год, равной $1\text{E-}5$. [1]

ВАБ уровня 1 должен выполняться для исходных событий, обусловленных:

- внутренними иницирующими событиями;
- внутримплощадочными воздействиями (пожары, затопления);
- внешними воздействиями природного и техногенного характера.

Руководство по безопасности [2] содержит рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности уровня 1 для ИС, обусловленных внешними воздействиями природного и техногенного характера.

ВАБ внешних воздействий является составной частью полномасштабного ВАБ уровня 1, разрабатываемого для всех категорий ИС.

Сейсмические воздействия рассмотрены в рамках отдельного вероятностного анализа безопасности для сейсмических событий.

Цели работы

Целями данной работы являются:

- Разработка ВАБ уровня 1 (ВАБ-1) для исходных событий, обусловленных внешними воздействиями природного и техногенного характера (далее – внешний ВАБ), при работе блока № 2 Билибинской АЭС на мощности в соответствии с рекомендациями Руководства по безопасности «Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при иницирующих событиях, обусловленных внешними воздействиями природного и техногенного происхождения» (РБ-021-14) [2] и с учетом требований современных нормативных документов [1, 3...6], рекомендаций международного руководства по выполнению внешнего ВАБ [7] и опыта выполнения внешнего ВАБ в международных проектах [8];
- Анализ применимости результатов внешнего ВАБ-1 блока № 2 для всех блоков Билибинской АЭС.

Содержание отчёта

Документ состоит из 10 разделов.

Раздел П8.1 содержит общие сведения о блоке АЭС, характеристиках источников радиоактивности и реакторной установке.

В разделе П8.2 представляются все сведения о блоке АЭС, которые использовались при выполнении ВАБ внешних воздействий. В соответствии с рекомендациями РБ-021-14 исходные данные представляются в объеме, необходимом для обеспечения достоверности и полноты анализа.

Раздел П8.3 посвящен формированию перечня внешних воздействий, представляет анализ по выявлению всех возможных внешних воздействий и результаты решения данной задачи - окончательный перечень внешних воздействий.

Представлено описание основных этапов анализа по формированию окончательного перечня внешних воздействий, включая составление полного перечня внешних воздействий из рассматриваемых перечней внешних воздействий, отбор внешних событий на основе качественных и количественных критериев исключения, обоснование применения того или иного критерия для исключения внешних воздействий и их сочетаний; анализ по определению сочетаний внешних воздействий.

В отдельном подразделе главы представлен окончательный перечень внешних воздействий, который впоследствии использован при отборочном и детальном анализе сценариев внешних воздействий.

Раздел П8.4 посвящён оценке вероятностей (частот) внешних воздействий.

В разделе представлены детальные сведения об исходных данных, использованных для определения вероятностей (частот) внешних воздействий, включая:

- метеорологические данные в районе площадки АЭС в объеме, достаточном для обоснования оценок частот внешних воздействий;
- данные о внешних воздействиях, имевших место в районе размещения площадки АЭС;
- данные о внешних воздействиях, произошедших на территориях вне площадки АЭС, если отсутствуют данные о внешних событиях, произошедших на рассматриваемой площадке АЭС (целесообразность и обоснованность применения указанных данных рекомендуется обосновывать).

Результаты построения зависимостей вероятностей (частот) внешних воздействий и вероятностей отказа систем (элементов) представлены исходя из их интенсивностей.

Раздел П8.5 посвящен анализу надежности персонала.

Раздел П8.6 описывает результаты отборочного анализа сценариев, обусловленных внешними воздействиями (для всех внешних воздействий, включенных в окончательный перечень внешних воздействий).

Представлены обоснования исключения внешних воздействий с указанием критериев, в соответствии с которыми внешние воздействия были исключены.

В разделе П8.7 приведены все исследования, выполненные в рамках детального анализа внешних воздействий, и его результаты. Представлены разработанные на этапе детального анализа логические модели и результаты вероятностного анализа аварийных сценариев для ИС, вызванных внешними воздействиями. Приведены изменения, внесенные в модель ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, обусловленные внешним воздействием.

В разделе П8.8 представлены результаты анализа неопределенности, чувствительности и значимости.

Анализ результатов вероятностного анализа безопасности внешних воздействий и оценка уровня безопасности энергоблока атомной станции приведены в разделе П8.9. Представлены рекомендации по повышению уровня безопасности блока АЭС, разработанные по результатам ВАБ внешних воздействий, и вероятностные оценки их эффективности, включая технические и организационные меры.

В разделе П8.10 приведен анализ применимости результатов внешнего ВАБ-1 блока № 2 для всех блоков Билибинской АЭС. Анализ применимости результатов ВАБ внешних воздействий для всех блоков Билибинской АЭС.

П8.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Целью настоящей работы является оценка целевого ориентира безопасности АС, оцениваемым в ВАБ уровня 1, каким является суммарная вероятность тяжелых аварий для блока АС на интервале в один год (частота повреждения активной зоны) из-за событий, обусловленных внешними природными и техногенными воздействиями.

Методология выполнения ВАБ для внешних воздействий природного и техногенного характера изложена в РБ-021-14 [2] и SSG-3 [7]. Она основана на последовательном отборочном анализе, что позволяет сконцентрировать усилия только на тех внешних исходных событиях, которые являются потенциально значимыми с точки зрения риска тяжелого повреждения активной зоны. Применяемый подход основан на последовательном усилении глубины и детальности анализа и последовательном снижении консерватизма по мере выявления значимости исходных событий.

ВАБ внешних воздействий разработан на основе сведений из отчетов по УОБ блока № 4 [9] и ВАБ блока № 2 АЭС уровня 1 для внутренних ИС [10]. Основой модели ВАБ для внешних воздействий является модель, разработанная для ВАБ-1 для внутренних иницирующих событий в формате программы РискСпектр, аттестованной Ростехнадзором [11]. Учитывая, что все основное оборудование четырех блоков находится в одном здании, материалы УОБ блока № 4 полностью применимы к блоку № 2.

В рамках ВАБ внешних воздействий выполняются следующие задачи, представленные также в графической форме на рисунке П8.1.1:

- сбор информации, специфической для блока АЭС;
- формирование перечня внешних воздействий;
- оценка вероятностей (частот) внешних воздействий;
- анализ надежности персонала;
- отборочный анализ сценариев внешних воздействий;
- детальный анализ сценариев внешних воздействий;
- анализ значимости, чувствительности, неопределенностей модели ВАБ внешних воздействий;
- анализ результатов ВАБ внешних воздействий;
- анализ применимости результатов ВАБ внешних воздействий для всех блоков Билибинской АЭС.



Рисунок П8.1.1 Задачи, выполняемые в рамках ВАБ внешних воздействий

Объектом исследования является энергоблок № 2 Билибинской АЭС, описанный ниже.

В качестве источника радиоактивности рассмотрен ядерный реактор, работающий на мощности.

Особенностью проекта Билибинской АЭС является то, что четыре однотипных энергоблока размещены в одном здании главного корпуса, временные хранилища (бассейны выдержки БВ-1, БВ-2, БВ-3, БВ-4) ОЯТ - в общем реакторном отделении, БЩУ спроектированы общими для блоков 1 и 2 и также блоков 3 и 4, системы: перегрузки и хранения топлива, ремонтного расхолаживания, вентиляции, радиационного контроля, пожаротушения, технического водоснабжения, сбора и удаления ЖРО и ТРО и т.д. являются общестанционными и предназначены для обеспечения безопасной эксплуатации энергоблоков 1-4 Билибинской АЭС.

Вспомогательные здания и сооружения важные для безопасности выполнены общими для четырех энергоблоков Билибинской АЭС.

На втором энергоблоке с РУ ЭПП-6 реализован принцип глубокоэшелонированной защиты путём создания и сохранения следующих барьеров безопасности:

- топливная матрица - первый барьер;
- оболочка твэла - второй барьер;
- ОЦК как барьер для активированных продуктов коррозии - третий барьер;

- графитовая кладка по отношению к химически активным ПД - четвертый барьер;
- система локализации «мокрой» аварии ТВС, подсоединенная к РП реактора - пятый барьер.

Факторы, обеспечивающие надежность и самозащищенность реакторной установки типа ЭГП описаны ниже.

Топливная матрица - первый барьер

В 1980-1990-х годах на блоках Билибинской АЭС был выполнен перевод реакторов на новую топливную композицию: с уран-молибденового на диоксидное топливо в магниевой матрице. Новая топливная композиция на основе опыта эксплуатации Белоярской АЭС дала возможность повысить способность сохранения герметичности оболочек ТВЭЛов при перегреве вплоть до расплавления матрицы. В качестве проектного предела для топливной матрицы установлена температура ее плавления, составляющая 651°C . Исходя из этой температуры устанавливаются также эксплуатационные пределы и пределы безопасной эксплуатации ТВЭЛов.

Оболочка ТВЭЛ - второй барьер

Критерии обеспечения целостности трубчатых ТВЭЛов и, соответственно, эксплуатационные пределы для ТВЭЛов были определены на основе специальных расчётно-экспериментальных исследований и опыта эксплуатации АЭС аналогичного типа. Основными повреждающими факторами для оболочек ТВЭЛов являются температура топливной матрицы и внутреннее давление теплоносителя. Применение трубчатых ТВЭЛов обуславливает:

- отсутствие в контуре продуктов деления, в том числе в аварийных ситуациях (подтверждено опытом эксплуатации Первой АЭС и Белоярской АЭС); в контуре накапливаются рыхлые продукты коррозии (при четырехгодичном цикле дезактивации барабана-сепаратора суммарная их активность во всем контуре РУ ЭГП-6, по измерениям, составляет 50 Ку);
- приемлемое (или относительно небольшое) термическое сопротивление между ТВЭЛом и графитовым замедлителем, имеющим в совокупности с отражателем большую тепловую емкость;
- малые проходные сечения для теплоносителя в ТВС, что, во-первых, дает относительно малую генерацию водорода в теплоносителе в условиях нормальной эксплуатации (почти в 7 раз меньше, чем в РБМК на 1 МВт мощности) и, во-вторых, обуславливает относительно малые истечения теплоносителя в реакторное пространство при разрушении ТВЭЛов в аварийных ситуациях.

Применение дисперсионной топливной композиции (крупка диоксида урана в магниевой матрице), которая имеет жесткое сцепление с внутренней трубой и наружной оболочкой ТВЭЛ, обеспечивает хорошую теплопроводность топливного слоя и, соответственно, низкий температурный уровень топливного материала в условиях нормальной эксплуатации (не выше 380°C при температуре теплоносителя 280°C) и малые перепады температуры в трубчатом ТВЭЛе (не более 1°C на 1 % мощности реактора). Это обеспечивает удержание продуктов деления в основной своей массе в топливном материале (диоксиде урана) как в условиях нормальной эксплуатации, так и при авариях, включая запроектные.

Кроме того, низкий температурный уровень всех компонентов ТВЭЛов (не выше 380°C) и умеренная температура графитового замедлителя (550°C) обеспечивают существенный интервал температуры до предела повреждения разгруженного ТВЭЛа (1100°C) и до температуры, при которой ТВЭЛ разрушается внутренним давлением теплоносителя, ($\sim 930^{\circ}\text{C}$).

Активная зона

Нейтронно-физические характеристики (ядерная безопасность):

- быстрый мощностной коэффициент реактивности отрицателен во всем диапазоне мощностей в течение всего межперегрузочного периода реактора;
- опорожнение всех ТВС дает отрицательное изменение реактивности в течение всего межперегрузочного периода реактора;
- вес 10 стержней РС-АЗ и семи стержней АЗ (без самого «тяжелого» восьмого стержня) при времени ввода стержней РС-АЗ и стержней АЗ в активную зону не более 3 с составляет не менее 6 β эфф;
- отсутствует опасность возникновения вторичных критмасс при расплавлении топлива;
- обеспечивается пространственно-временная устойчивость полей энерговыделения из-за относительно малых размеров активной зоны (соответственно, нет необходимости в специальных системах локального регулирования полей энерговыделения).

Теплотехнические характеристики:

- относительно малые размеры активной зоны обуславливают относительно большую растечку теплоты при разогревах зоны в ряде аварийных процессов и рассеяние теплоты остаточного тепловыделения и аккумулированной теплоты в окружающее пространство;
- масса графита на единицу мощности относительно велика (в 2 раза больше, чем в реакторе РБМК-1000), что обуславливает большую теплоаккумулирующую способность активной зоны;
- ячейки СУЗ чередуются в графитовой кладке с ячейками ТВС, ТВС и каналы СУЗ включены в разные контуры, т.е. теплота из активной зоны отводится в два разных контура.

Основной циркуляционный контур – третий барьер

ОЦК обуславливает:

- теплосъем при естественной циркуляции кипящей воды на всех уровнях мощности вплоть до номинальной;
- отсутствие главных циркуляционных насосов и арматуры в основном контуре РУ (в нем нет ни одной единицы действующей арматуры);
- контур секционирован на независимые групповые петли, замкнутые на барабан-сепаратор (шесть петель); питательная вода и вода от систем аварийного расхолаживания подается в каждую групповую петлю;
- сборные коллекторы групповых петель подсоединены к перепускному коллектору, обеспечивающему подачу воды к группе ТВС, если раздаточный коллектор этой группы разрушен.

Каналы и контур СУЗ

Каналы и контур СУЗ обеспечивают:

- все поглощающие стержни перемещаются в сухих полостях каналов СУЗ;
- стержни аварийной защиты и стержни с приводами РС-АЗ при срабатывании АЗ падают под действием собственного веса, время их ввода в активную зону, по измерениям, от 1 до 2,4 с;
- контур СУЗ отделен от ОЦК РУ; в рабочих режимах этот контур отводит из реактора $\approx 2,0$ % тепловой мощности, именно такому уровню соответствует мощность остаточных тепловыделений через 10 минут после аварийного глушения реактора.

Графитовая кладка по отношению к химически активным продуктам деления (четвертый барьер).

При авариях, связанных с разгерметизацией твэлов и поступлением радиоактивных продуктов в реакторное пространство, графитовая кладка выполняет функции элемента, способствующего удержанию продуктов распада в своем объеме. Продукты распада, вышедшие за пределы кладки, должны удерживаться в герметичном объеме реакторного пространства, заполненном азотом.

В общем случае активность азота в газовой системе может быть обусловлена следующими факторами: примесями аргона, наличием просыпей топлива, разгерметизацией оболочек ТВЭЛОВ, поверхностными загрязнениями ТВЭЛОВ и т.д. Предельные параметры, не превышение которых обеспечивает целостность элементов металлоконструкций реактора, обеспечивающих герметичность в объеме четвертого барьера безопасности.

Система локализации «мокрой» аварии ТВС, подсоединенная к РП реактора (пятый барьер)

Образующаяся при авариях (разгерметизация ТВС в РП) паро-газовая смесь локализуется в системе локализации «мокрой» аварии, а в случае превышения проектного значения давления в этой системе - неконденсирующиеся газы сбрасываются через фильтры в атмосферу. Система локализации "мокрой" аварии срабатывает в случае повышения давления в реакторном пространстве свыше проектного предела для аварии, составляющего 0,019 МПа.

Установленная электрическая мощность Билибинской АЭС – 48 МВт при одновременном отпуске теплоты 78 МВт (67 Гкал/ч). Максимальный, по возможностям отборов пара из турбины и теплообменного оборудования, отпуск теплоты - до 116 МВт (100 Гкал/ч) при снижении электрической мощности станции до ~ 38 МВт.

Билибинская АЭС состоит из четырех однотипных энергоблоков. Поперечный разрез главного корпуса приведен на рисунке П8.1.2. Горизонтальный разрез главного корпуса и ОВК по отметке +6,6 представлен на рисунке П8.1.3.

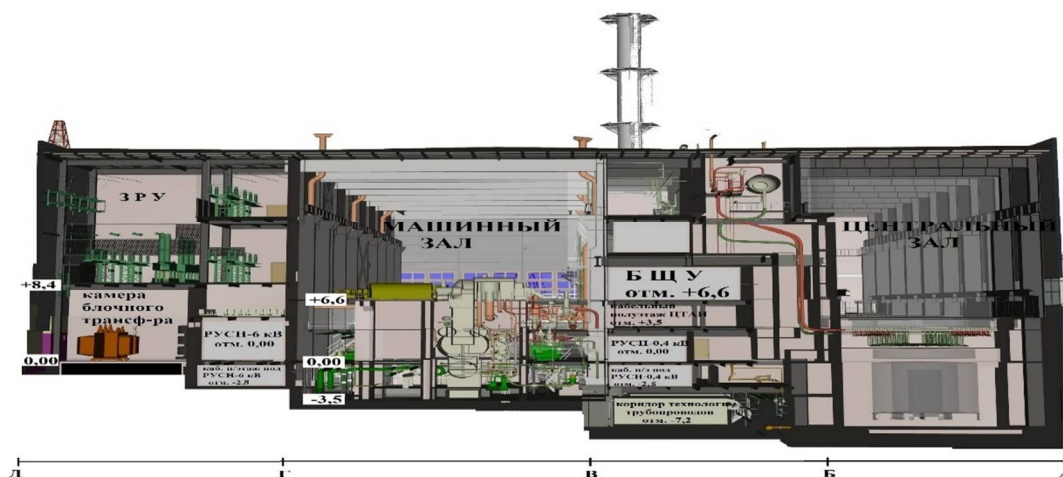


Рисунок П8.1.2. Схема Главного корпуса (поперечный разрез по оси 9)

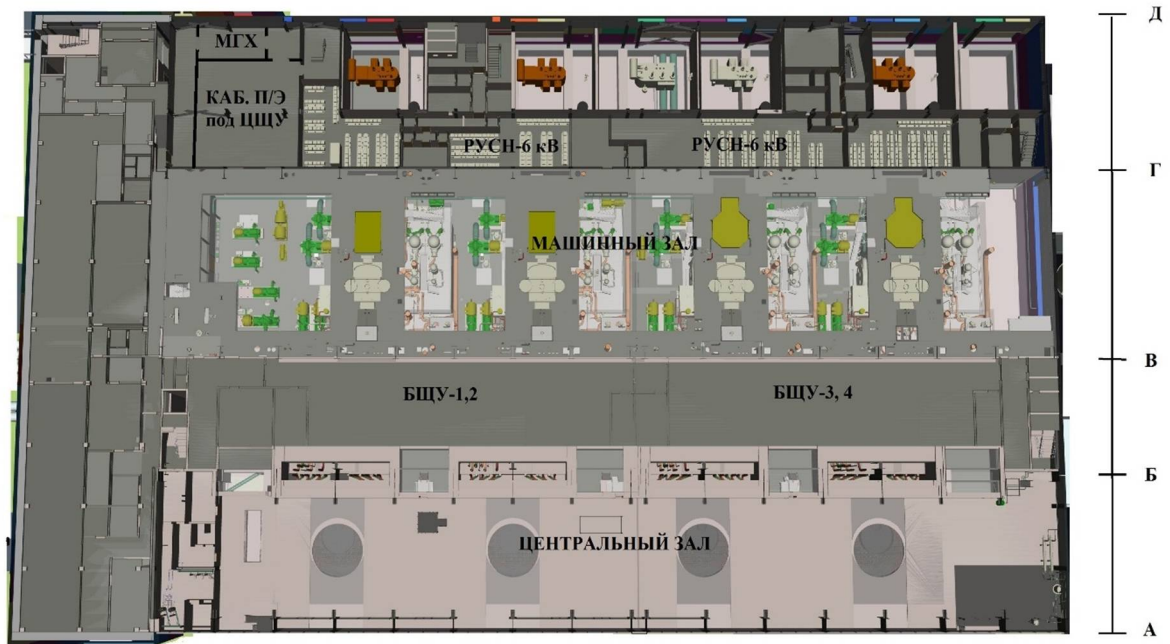


Рисунок П8.1.3. Схема главного корпуса и ОВК (горизонтальный разрез по отметке +6,6)

Каждый энергоблок включает (рисунок П8.1.4):

- реакторную паропроизводительную установку номинальной мощностью 62 МВт, паропроизводительностью 95 т/ч при давлении 6,37 МПа и температуре питательной воды 104 °С;
- теплофикационную турбоустановку, работающую на насыщенном паре с давлением 5,9 МПа с промежуточной сепарацией влаги;
- электрогенератор;
- трансформатор;
- схему выдачи мощности в электрическую сеть ЧБЭС;
- теплофикационное оборудование и систему выдачи теплоты в теплосеть;
- систему технического водоснабжения;
- вспомогательное оборудование реакторного и машинного отделений.

Принципиальная тепловая схема энергоблока с реакторной установкой ЭГП-6 приведена на рисунке П8.1.5.

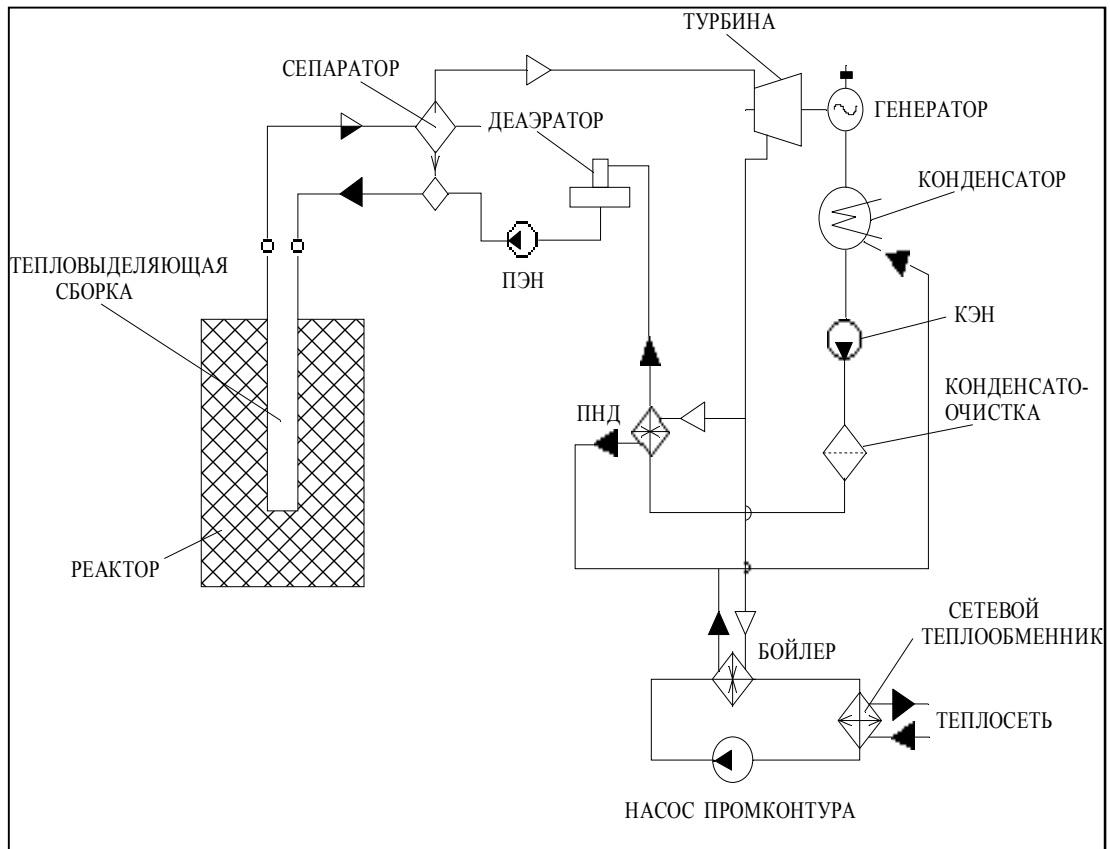


Рисунок П8.1.4 – Схема энергоблока РУ с ЭГП-6

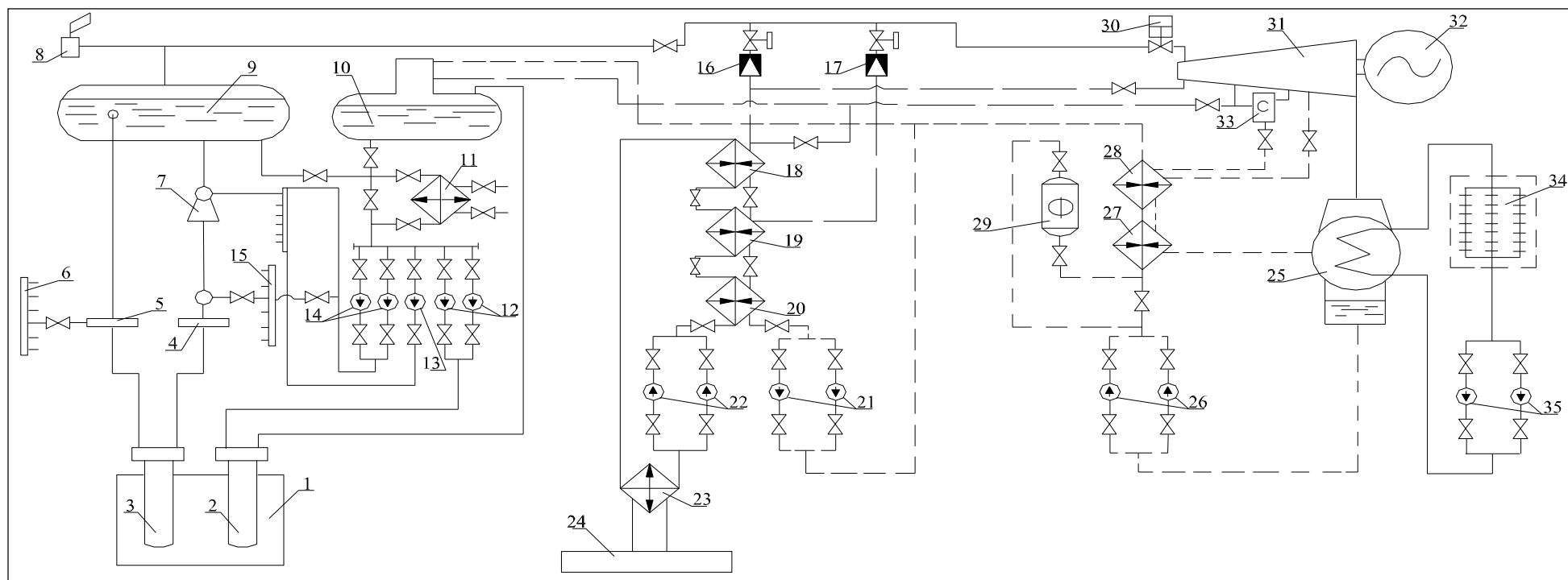


Рисунок П8.1.5 - Принципиальная тепловая схема энергоблока Билибинской АЭС

На рисунке П8.1.5 указаны следующие элементы РУ: 1 - реактор, 2 - канал СУЗ, 3 - ТВС, 4 - раздаточный групповой коллектор, 5 - сборный групповой коллектор, 6 - перепускной коллектор, 7 - смеситель, 8 - главные предохранительные клапана, 9 – барабан-сепаратор, 10 - деаэратор, 11 - теплообменник глубокого расхолаживания, 12 - насосы охлаждения контура СУЗ, 13 - аварийный питательный насос, 14 - питательные насосы, 15 - коллектор системы аварийного охлаждения реактора, 16 - БРУ60/7, 17 - БРУ60/2,5, 18 - пиковый бойлер, 19 - основной бойлер, 20 - доохладитель конденсата подогревателей, 21 - конденсатные насосы подогревателей, 22 - насосы промежуточного контура, 23 – водоводяной теплообменник, 24 - потребители тепла, 25 - конденсатор турбины, 26 - конденсатные насосы, 27 - охладитель конденсата, 28 - подогреватель низкого давления, 29 - фильтр смешанного действия, 30 - стопорный клапан турбины, 31 - турбина, 32 - генератор, 33 - промежуточный сепаратор, 34 – воздушно-радиаторные охладители, 35 - циркуляционные насосы.

Для Билибинской АЭС применена одноконтурная схема с циклом насыщенного пара. Пароводяная смесь поступает из реактора в барабан-сепаратор. Из него пар непосредственно подается на турбину. Для осушки пара предназначен промежуточный сепаратор, включенный между цилиндрами высокого и низкого давления турбины.

После конденсатора турбины конденсат проходит эжекторный и сальниковый подогреватели, подогреватель низкого давления и через обессоливающий фильтр поступает в атмосферный деаэратор. Далее деаэрированная вода при температуре до 104 °С с помощью питательного насоса подается в контур естественной циркуляции.

Тепло от конденсатора турбины отводится водой, циркулирующей в специальном контуре и охлаждаемой наружным воздухом в радиаторных охладителях.

Уровень воды в барабане-сепараторе регулируется клапанами, установленными в питательном узле. Для предотвращения повышения уровня воды в барабане-сепараторе выше максимально допустимого в схеме предусмотрен трубопровод аварийного сброса воды в конденсатор, который открывается автоматически.

П8.2 СБОР ИНФОРМАЦИИ, СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ДЛЯ БЛОКА АТОМНОЙ СТАНЦИИ

Для выполнения ВАБ внешних событий был выполнен сбор информации, необходимой для выполнения анализа в соответствии с рекомендациями РБ-021-14 [2]. Были собраны следующие сведения:

- метеорологические данные (осадки, скорость и направление ветра, температура воздуха и т.д.) в районе размещения площадки Билибинской АЭС, а также другие данные о внешних воздействиях природного и техногенного характера, имевших место в районе размещения площадки Билибинской АЭС за максимально доступный период наблюдений;
- данные об инфраструктуре в районе размещения площадки Билибинской АЭС, включая автомобильные, железнодорожные, речные и морские сообщения, а также сведения об опасных грузах (взрывоопасные и ядовитые грузы), перевозимых по ним (номенклатура, количество, масса, объем, частота перевозок); топографические карты всех транспортных сообщений с указанием минимальных расстояний до площадки Билибинской АЭС;
- данные о маршрутах и частоте полетов самолетов гражданской и военной авиации в районе размещения площадки Билибинской АЭС, включая сведения о летательных аппаратах (наименование, масса и другие необходимые данные) и размерах зоны ограничения полетов вблизи площадки Билибинской АЭС;
- данные об объектах (наименование, расстояние до площадки Билибинской АЭС и другие необходимые данные) в районе размещения площадки Билибинской АЭС, содержащих взрывоопасные и ядовитые вещества, включая сведения о них (наименование, масса, объем, способ хранения);
- данные об объектах, повреждение которых может привести к возникновению внешних воздействий на блоке Билибинской АЭС (разрушение дамбы, плотины, пролив нефтепродуктов и другие возможные события);
- данные о зданиях и сооружениях блока Билибинской АЭС (проектные характеристики, расчетные нагрузки), повреждение которых при внешних воздействиях может вызывать возникновение исходных событий.

Также был собран и изучен пакет технической документации, рекомендуемый в РБ-021-14:

- проектная документация;
- эксплуатационная документацию, включая:
 - а) технологический регламент безопасной эксплуатации блока Билибинской АЭС;
 - б) инструкции по эксплуатации систем (элементов), содержащие указания о способах ведения работ при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая предаварийные ситуации, а также инструкции и руководства, определяющие действия персонала при проектных и запроектных авариях; схемы систем;
 - в) инструкции по техническому обслуживанию и ремонту систем и оборудования Билибинской АЭС;
 - г) документацию по управляющим системам (элементам); опыт эксплуатации для всех блоков анализируемой АЭС, а также опыт эксплуатации прототипов, включая информацию о произошедших внешних воздействиях природного и техногенного происхождения;
- ВАБ Билибинской АЭС уровня 1 для внутренних ИС;
- описание систем, важных для безопасности блока Билибинской АЭС;
- существующие исследования по обоснованию безопасности блока Билибинской АЭС при внешних воздействиях;
- поэтажные чертежи основных зданий блока Билибинской АЭС и общестанционных зданий;

- отчеты по обоснованию безопасности блоков Билибинской АЭС;
- методические рекомендации, соответствующие современному уровню развития науки, техники и производства (в частности МАГАТЭ).

Помимо перечисленных технических документов для сбора исходных данных по потенциальным источникам внешних воздействий были изучены следующие материалы:

- базы данных по наблюдениям за метеорологическими характеристиками;
- топографические карты района размещения Билибинской АЭС;
- карты трассировки коммуникаций и расположения промышленных объектов;
- научные статьи и отчеты, посвященные исследованиям в области безопасности технических объектов и анализу метеорологических явлений;
- планы и технологические схемы оборудования на площадке Билибинской АЭС;
- геодезические карты площадки Билибинской АЭС.

П8.2.1 ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ БИЛИБИНСКОЙ АЭС

В административном отношении площадка Билибинской АЭС расположена в Билибинском районе Чукотского автономного округа Российской Федерации. Административным центром округа является г. Анадырь.

Географические координаты площадки – 68°03' северной широты и 166°30' восточной долготы.

Промплощадка Билибинской АЭС находится в 3,5 км восточнее границы застройки г. Билибино. В 28 км к югу располагается аэропорт Кеппервеем. На северо - востоке от промплощадки на расстоянии 378 км расположен центр Чаунского района Чукотского автономного округа г. Певек. Северо-западнее на расстоянии 286 км находится порт Зеленый Мыс (поселок городского типа Черский) – районный центр Республики Саха (Якутия).

Ближайшей административной границей к площадке АЭС является граница Республики Саха (Якутия), расстояние – порядка 160 км на запад, на юго-западе - Магаданской области, расстояние – около 400 км, на юге – Корякского автономного округа, расстояние – порядка 450 км.

Ближайшей к площадке государственной границей является граница между Российской Федерацией (Чукотский автономный округ) и Соединенными Штатами Америки. Точка соприкосновения границ находятся в 1200 км. северо-восточнее г. Билибино, примерно на расстоянии 150 км от пос. Уэлен.

Карта района размещения АЭС приведена на рисунке П8.2.1.1.

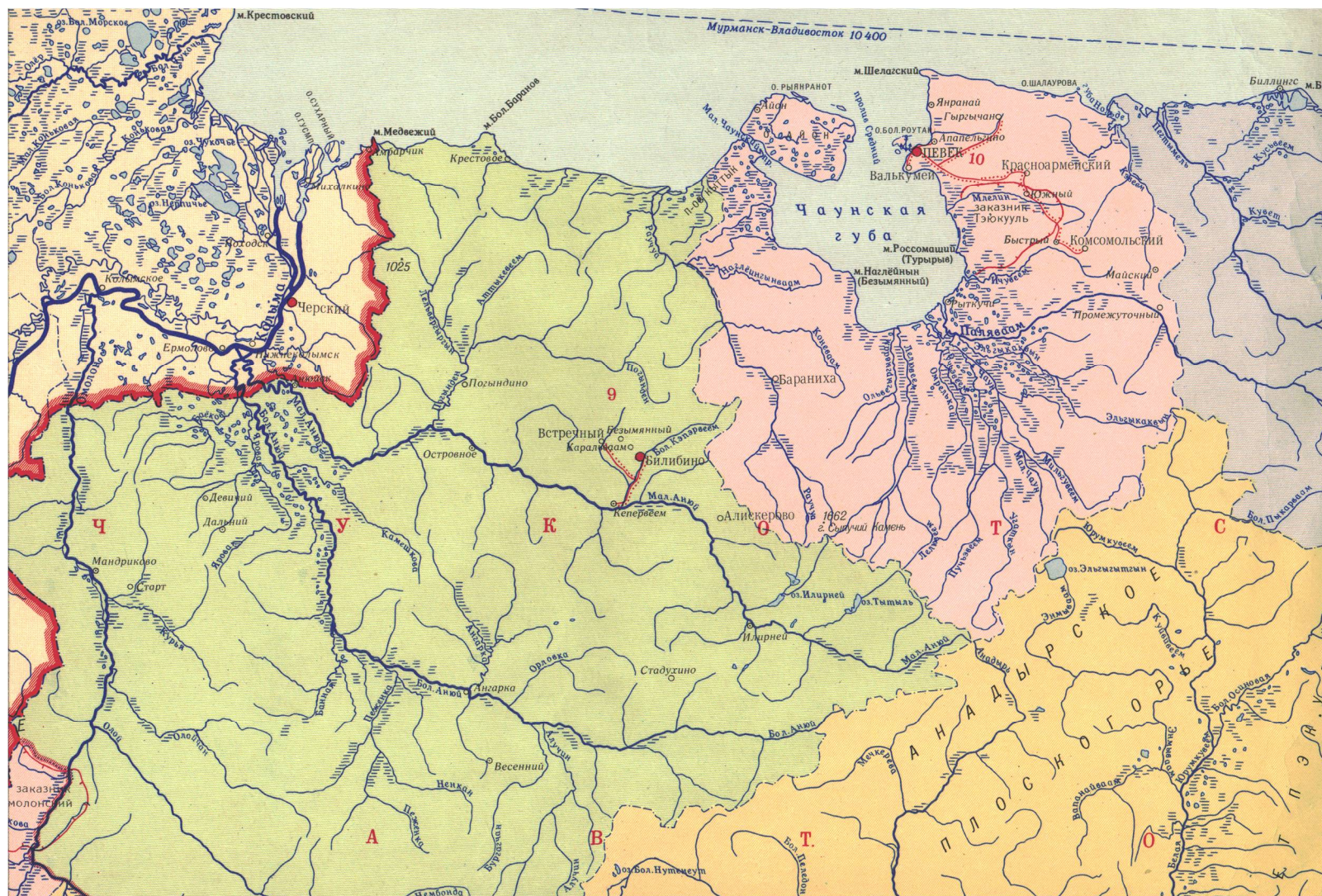


Рисунок П8.2.1.1 – Район размещения Билибинской АЭС

Район расположения Билибинской АЭС находится в центральной части отрогов Северо – Анюйского нагорья в пределах Кепервеевской горной гряды.

По морфологическим особенностям в районе выделяются три типа рельефа:

- среднегорный альпийский рельеф. Занимает до 1 % территории. Характеризуется узкими гребневидными и пикообразными водоразделами с абсолютными отметками от 1300 до 1600 м, и относительными превышениями от 700 до 800 м;

- среднегорный расчлененный рельеф. Занимает около 24 % территории. Характеризуется значительной расчлененностью, узкими водоразделами с крутизной склонов от 20 до 45°, абсолютные отметки водоразделов изменяются от 800 до 1147 м (г. Черынэй), относительные превышения от 500 до 600 м;

- низкогорный сглаженный рельеф. Занимает около 75 % территории. Характеризуется сглаженными, широкими водоразделами с обилием поверхностей выравнивания, переходящих местами в отпрепарированные возвышенности со ступенчатыми нагорными террасами (высота ступеней от 2 до 7 м). Абсолютные отметки водоразделов изменяются от 500 до 800 м, расчлененность рельефа незначительная, глубина вреза составляет от 200 до 300 м, склоны водоразделов пологие (до 20°).

Площадка Билибинской АЭС расположена на правобережном склоне долины руч. Бол. Поннеурген. Водораздел относится к третьему типу рельефа. Склон сложен скальными грунтами, что послужило одним из оснований для выбора места расположения промплощадки АЭС. Превышение площадки над руслом ручья достигает 30 м, крутизна склона – около 14°. Поверхность склона хорошо дренирована. У подножия склон заболочен, переходит в кочковатую поверхность поймы ручья.

Промплощадка находится в зоне сплошного распространения вечномёрзлых пород - мощность мерзлой толщи превышает 260 м.

П8.2.2 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОЩАДКИ БИЛИБИНСКОЙ АЭС

Район расположения Билибинской АЭС характеризуется суровыми климатическими условиями, что обусловлено расположением района на северо-восточной окраине Азиатского материка, омываемой водами холодных морей Северного Ледовитого океана, и сложным рельефом территории. Большое влияние на формирование климата оказывает также Колымский горный хребет, проходящий с юго-запада на северо-восток, и горная система Черского, пересекающая южную часть Магаданской области в направлении с северо-запада на юго-восток.

Площадка Билибинской АЭС расположена в 160 км от побережья Восточно-Сибирского моря, в зоне перехода от морского к умеренно-континентальному климату. Согласно климатическому районированию (ГОСТ – 16350 – 80), площадка АЭС относится к макроклиматическому району – холодный, к климатическому району – очень холодный I₁, с продолжительной суровой зимой и коротким прохладным летом.

Расположение территории в высоких широтах Северного полушария в непосредственной близости от Северно-Ледовитого океана определяет здесь суровые климатические условия. Большое влияние на формирование климата оказывают также горные системы Колымского нагорья и хребта Черского, задерживающих проникновение воздушных масс с юга на рассматриваемую территорию.

Типичной для климата данного района является его муссонность, т.е. сезонная смена влияния океана (летом) и материка (зимой).

Летом над прогретым Азиатским материком образуется область низкого давления, а над океаном давление повышенное. В результате этого начинается перемещение воздушных масс с океана на сушу, образующее летний муссон.

Зимой расположение барических систем обратное, т.е. над сушей образуется зона повышенного давления с малооблачной погодой и, как результат, с низкими температурами воздуха, а над океаном располагается область пониженного давления с

более теплыми и влажными воздушными массами. Поэтому создаются устойчивые воздушные холодные потоки с суши на море, образующие зимний муссон.

Моря, омывающие Чукотский автономный округ с трех сторон, и муссонная циркуляция атмосферы оказывает определяющее влияние на распределение температуры воздуха по ее территории, в результате чего изотермы проходят не в широтном направлении, а вдоль береговой линии.

Различные состояния погоды, которые определяют климат территории, формируются под влиянием факторов разного масштаба. К макромасштабным факторам следует отнести радиационный режим, атмосферную циркуляцию и подстилающую поверхность, зависящие от географической широты местности, степени континентальности и макрорельефа. Кроме этих основных факторов на климат оказывают влияние микрорельеф, растительность, непосредственная близость водоемов и т.д.

Горный массив занимает большую часть окрестностей станции, расчленен глубокими распадками различных направлений и долинами с оживающими в летний период водотоками и ручьями. Высота отдельных вершин над уровнем моря достигает 600-700 м (или 300-400 м над уровнем станции - высота площадки метеостанции 340 м над уровнем моря).

П8.2.2.1 Температура воздуха

Среднегодовая температура воздуха района размещения АЭС равна минус 10,4 °С, в течение года среднемесячная минимальная температура воздуха положительна только 2-3 месяца в году (июнь-август). Годовая амплитуда среднемесячных температур составляет около 80 °С.

Значения годовых минимальных и максимальных температур, зарегистрированных на МС Островное, обладающее наиболее репрезентативным рядом наблюдения, приведены в таблицах П8.2.2.1.1 и П8.2.2.1.2. Минимальная зафиксированная температура составила минус 57,8 °С, средняя минимальная за весь период равна минус 50,9 °С. Максимальная равна +35,1 °С, средняя максимальная +29,9 °С.

Таблица П8.2.2.1.1 – Минимальные годовые температуры МС Островное

| Год | Tmin, °С | Год | Tmin, °С | Год | Tmin, °С | Год | Tmin, °С | Год | Tmin, °С |
|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 1935 | -47,20 | 1952 | -49,80 | 1968 | -54,50 | 1984 | -51,20 | 2000 | -48,60 |
| 1936 | -50,50 | 1953 | -51,00 | 1969 | -48,00 | 1985 | -49,40 | 2001 | -53,00 |
| 1937 | -50,90 | 1954 | -52,70 | 1970 | -51,40 | 1986 | -50,00 | 2002 | -48,70 |
| 1938 | -54,20 | 1955 | -50,20 | 1971 | -53,10 | 1987 | -51,00 | 2003 | -48,50 |
| 1939 | -50,10 | 1956 | -51,70 | 1972 | -52,70 | 1988 | -49,90 | 2004 | -52,30 |
| 1940 | -53,30 | 1957 | -49,40 | 1973 | -49,50 | 1989 | -50,60 | 2005 | -50,30 |
| 1941 | -51,30 | 1958 | -49,10 | 1974 | -50,10 | 1990 | -49,20 | 2006 | -47,40 |
| 1943 | - | 1959 | -47,80 | 1975 | -54,20 | 1991 | -49,10 | 2007 | -50,00 |
| 1944 | -46,40 | 1960 | -50,70 | 1976 | -50,90 | 1992 | -53,30 | 2008 | -49,90 |
| 1945 | -51,50 | 1961 | -49,60 | 1977 | -55,90 | 1993 | -52,20 | 2009 | -48,80 |
| 1946 | -50,90 | 1962 | -47,90 | 1978 | -52,00 | 1994 | -52,80 | 2010 | -50,80 |
| 1947 | -51,80 | 1963 | -57,50 | 1979 | -48,90 | 1995 | -45,90 | 2011 | -50,40 |
| 1948 | -51,60 | 1964 | -48,70 | 1980 | -47,10 | 1996 | -54,10 | 2012 | -49,70 |
| 1949 | -46,80 | 1965 | -57,80 | 1981 | -51,70 | 1997 | -48,50 | 2013 | -48,9 |
| 1950 | -56,80 | 1966 | -54,20 | 1982 | -49,70 | 1998 | -52,50 | 2014 | -50,1 |
| 1951 | -54,00 | 1967 | -52,90 | 1983 | -50,30 | 1999 | -53,40 | 2015 | -47,5 |

Таблица П8.2.2.1.2 – Максимальные годовые температуры МС Островное

| Год | Tmax, °C | Год | Tmax, °C | Год | Tmax, °C | Год | Tmax, °C | Год | Tmax, °C |
|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 1936 | 31,80 | 1953 | 30,70 | 1969 | 32,50 | 1985 | 29,20 | 2001 | 31,20 |
| 1937 | 28,70 | 1954 | 29,30 | 1970 | 26,20 | 1986 | 24,30 | 2002 | 30,20 |
| 1938 | 29,10 | 1955 | 30,50 | 1971 | 30,60 | 1987 | 31,20 | 2003 | 34,10 |
| 1939 | 28,20 | 1956 | 29,50 | 1972 | 28,90 | 1988 | 32,00 | 2004 | 29,40 |
| 1940 | 27,50 | 1957 | 30,50 | 1973 | 31,50 | 1989 | 27,30 | 2005 | 30,60 |
| 1941 | 30,10 | 1958 | 29,70 | 1974 | 30,10 | 1990 | 30,10 | 2006 | 31,30 |
| 1943 | 29,10 | 1959 | 31,30 | 1975 | 33,00 | 1991 | 35,10 | 2007 | 30,00 |
| 1944 | 29,40 | 1960 | 31,40 | 1976 | 32,70 | 1992 | 30,60 | 2008 | 31,00 |
| 1945 | 26,40 | 1961 | 28,60 | 1977 | 31,90 | 1993 | 32,80 | 2009 | 28,30 |
| 1946 | 27,60 | 1962 | 27,20 | 1978 | 27,10 | 1994 | 34,20 | 2010 | 33,40 |
| 1947 | 28,00 | 1963 | 28,80 | 1979 | 25,40 | 1995 | 32,70 | 2011 | 27,90 |
| 1948 | 27,50 | 1964 | 26,90 | 1980 | 31,70 | 1996 | 29,50 | 2012 | 27,60 |
| 1949 | 26,60 | 1965 | 33,20 | 1981 | 33,10 | 1997 | 29,60 | 2013 | 30,70 |
| 1950 | 28,80 | 1966 | 28,20 | 1982 | 30,00 | 1998 | 30,00 | 2014 | 30,7 |
| 1951 | 29,30 | 1967 | 26,90 | 1983 | 29,60 | 1999 | 32,40 | 2015 | 32,3 |
| 1952 | 34,20 | 1968 | 29,60 | 1984 | 28,80 | 2000 | 29,50 | 2016 | 30,2 |

На рисунке П8.2.2.1.1 данные таблиц П8.2.2.1.1 и П8.2.2.1.2 приведены в графическом виде. Там же показаны линии трендов и их законы. Минимальные температуры показывают незначительный тренд средних минимальных температур: минус 51,39 °C в 1933 году и 50,26 °C в 2017 году (прирост 1,13 °C). Максимальные температуры показывают более значительный тренд средних максимальных температур: 28,95 °C в 1933 году и 31,05 в 2017 году (прирост 2,1 °C).

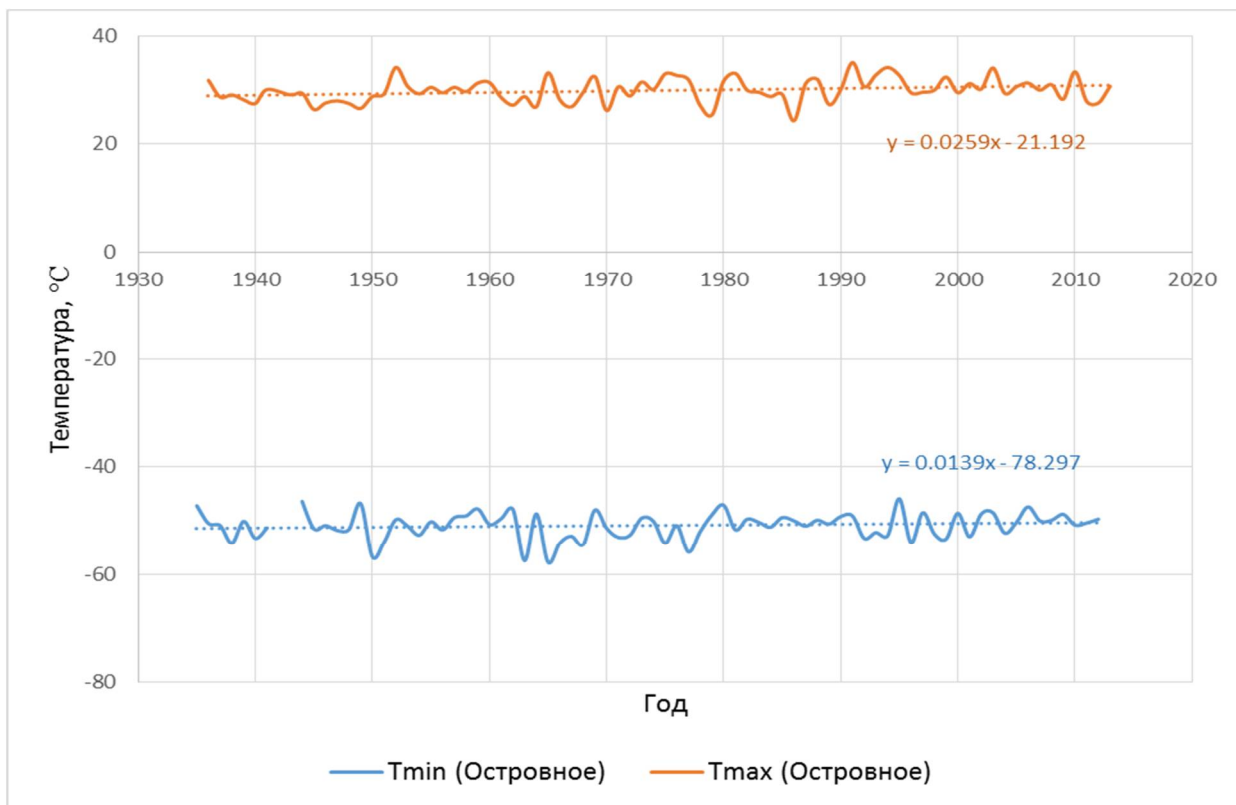


Рисунок П8.2.2.1.1 – Годовые минимальные и максимальные температуры МС Островное

П8.2.2.2 Температура почвы

На рассматриваемой территории многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение. Вскрытая мощность многолетнемерзлых пород в долине руч. Бол. Поннеурген составляет 240 м.

На промплощадке за время эксплуатации станции произошли существенные изменения мерзлотных условий, образовалась чаша оттаивания в основании тепловыделяющих сооружений главного корпуса и радиаторных охладителей (глубина чаши протаивания по состоянию к 2000 г. составляет 56 м).

В районе радиаторных охладителей максимальная температура 7,81 °C отмечена в скважине 3 на глубине 16 м. Следует отметить, что температурный режим под зданиями радиаторных охладителей полностью зависит от тепловыделений зданий и влияния «станционных вод», растепление пород связано с фильтрацией вод, поступающих в ВКУ блока 3-4.

На участках склона с ненарушенными природными условиями температура пород на глубине нулевых годовых амплитуд изменяется от минус 3,5 до минус 4,1 °C. Для высокой поймы характерны среднегодовые температуры от минус 2 до минус 6 °C, для надпойменных террас – от минус 4 до минус 6 °C.

Закономерности формирования среднегодовых температур пород на участках хозяйственного освоения более сложные, чем в естественных условиях. Здесь большое значение имеют: удаление растительного покрова и верхнего слоя грунта, тепловыделение от зданий, сооружений, подземных коммуникаций, приток тепла за счет сброса и утечек технических вод.

П8.2.2.3 Ветер

Ветровой режим обусловлен орографией района, ориентацией горных гряд и циркуляционными процессами, протекающими над территорией исследований.

Анализ ветрового режима района площадки АЭС (таблица П8.2.2.3.1) показывает, что в году преобладают ветры северо-восточной четверти горизонта (ССВ, СВ).

Совместная повторяемость этих ветров составляет 39 %. Зимой повторяемость этих направлений сохраняется и увеличивается до 43 %. Летом, кроме преобладающих ветров, увеличивается повторяемость западного ветра. Вероятность штиля в году составляет 36 %.

Розы ветров имеют выраженную зависимость от направления долины. Следует отметить, что с 1972 года до осени 1989 г. преобладающим было восточное и западное направление ветра – два максимума С осени 1989 г. по данным МС Билибино ветер устойчиво сместился к северу. Розы ветров для теплого и холодного периодов и в целом за год по МС Билибино представлены на рисунке П8.2.2.3.1.

Распределение ветров различных направлений по МС Островное и МС Илirian характеризуется существованием двух максимумов. Основной максимум – ветры восточного и юго-восточного направления, совместная повторяемость которых в году составляет 44 %. Другой максимум – ветры западного и северо-западного направления, совместная повторяемость которых в году составляет 33-41 %. Очень редко наблюдаются ветры северо-восточного и юго-западного направления. Вероятность штиля большая и в год составляет 35-55 %.

Район характеризуется слабыми ветрами, среднегодовая скорость ветра составляет 1,4-2,0 м/с. Наименьшие среднемесячные скорости ветра наблюдаются зимой (0,9-1,6 м/с). Наибольшие отмечаются в мае-июне (2,4-2,7 м/с). Среднее число дней в год с сильным ветром (≥ 8 м/с) по данным МС Билибино составляет 10,6 дней, с ветром ≥ 15 м/с – 0,2 дня.

Таблица П.6.4.1.1 – Повторяемость направлений ветра и штилей по МС Билибино, %

| месяц | С | ССВ | СВ | ВСВ | В | ВЮВ | ЮВ | ЮЮВ | Ю | ЮЮЗ | ЮЗ | ЗЮЗ | З | ЗСЗ | СЗ | ССЗ | Штиль |
|-------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|---|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-------|
| I | 10 | 23 | 16 | 8 | 9 | 2 | 2 | 4 | 6 | 3 | 2 | 4 | 6 | 3 | 1 | 1 | 61 |
| II | 10 | 28 | 18 | 7 | 8 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 2 | 4 | 5 | 2 | 1 | 1 | 56 |
| III | 13 | 35 | 17 | 5 | 6 | 2 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 42 |
| IV | 13 | 31 | 16 | 5 | 7 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 6 | 3 | 2 | 3 | 24 |
| V | 9 | 24 | 14 | 5 | 10 | 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 7 | 4 | 2 | 1 | 14 |
| VI | 7 | 15 | 9 | 6 | 9 | 5 | 4 | 3 | 8 | 5 | 5 | 5 | 9 | 5 | 3 | 2 | 14 |
| VII | 6 | 17 | 11 | 6 | 8 | 4 | 3 | 2 | 7 | 5 | 5 | 6 | 11 | 5 | 2 | 2 | 18 |
| VIII | 7 | 20 | 11 | 5 | 7 | 3 | 2 | 3 | 7 | 4 | 4 | 6 | 11 | 5 | 3 | 2 | 23 |
| IX | 10 | 23 | 11 | 5 | 6 | 2 | 1 | 2 | 5 | 4 | 4 | 7 | 11 | 6 | 2 | 1 | 28 |
| X | 13 | 30 | 14 | 6 | 6 | 1 | 1 | 1 | 5 | 3 | 3 | 4 | 8 | 2 | 1 | 2 | 38 |
| XI | 15 | 32 | 15 | 6 | 8 | 2 | 1 | 2 | 5 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | 51 |
| XII | 12 | 28 | 16 | 8 | 7 | 2 | 1 | 2 | 7 | 3 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| Год | 10 | 25 | 14 | 6 | 8 | 3 | 2 | 2 | 5 | 3 | 3 | 5 | 8 | 3 | 2 | 1 | 36 |

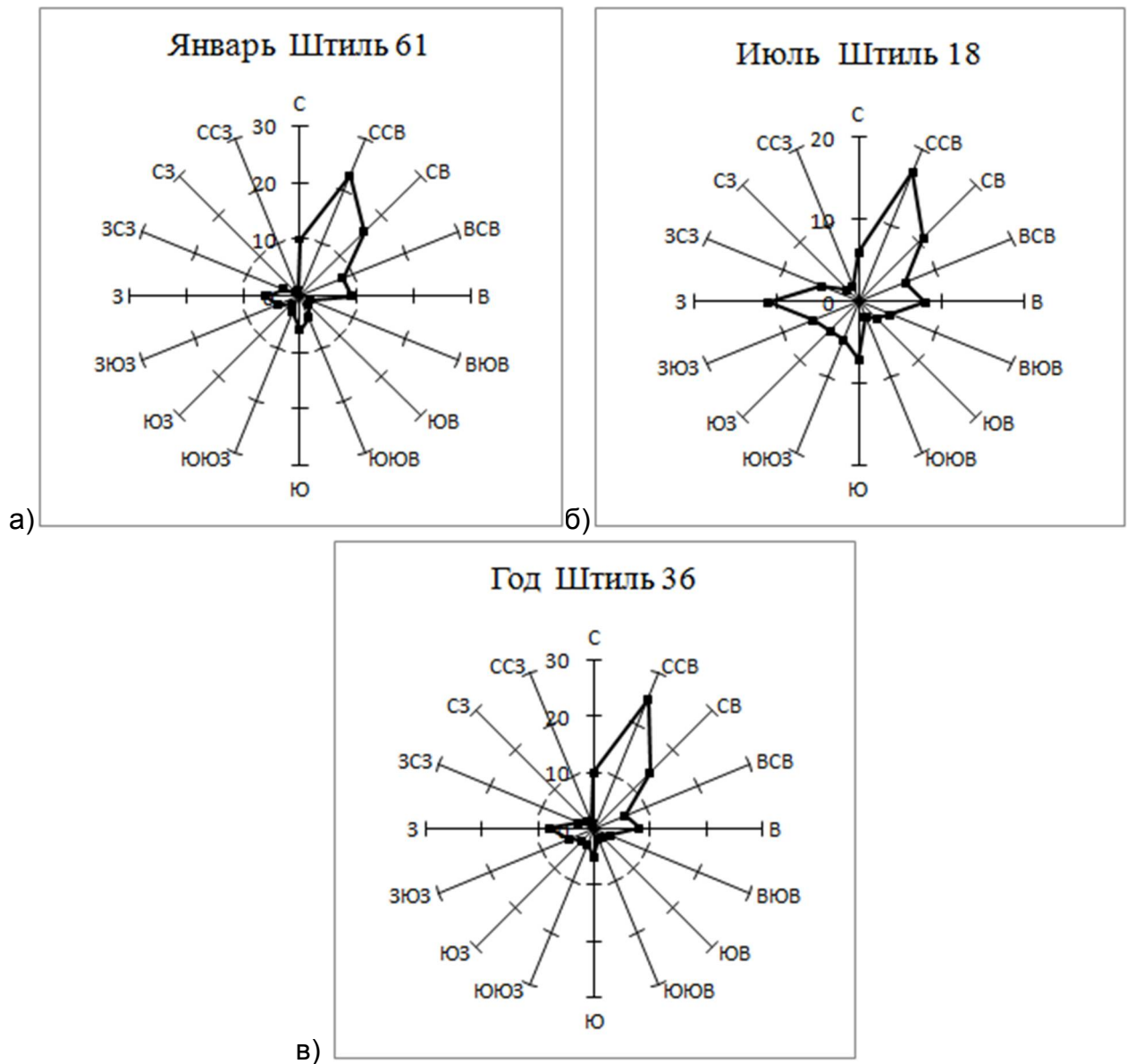


Рисунок П8.2.2.3.1 - Розы ветров по данным МС Билибино:

а) – за теплый период, б) – за холодный период, в) – за год.

Значения максимальных годовых скоростей ветра с учетом порывов на МС Илirianей, Островное и Билибино показаны в таблицах П8.2.2.3.2-П8.2.2.3.4.

Таблица П8.2.2.3.2 – Максимальные годовые скорости ветра на МС Илirianей

| Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с |
|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|
| 1977 | 17 | 1986 | 18 | 1995 | 15 | 2004 | 13 | 2013 | 20 |
| 1978 | 14 | 1987 | 20 | 1996 | 23 | 2005 | 11 | 2014 | 16 |
| 1979 | 14 | 1988 | 23 | 1997 | 14 | 2006 | 18 | 2015 | 15 |
| 1980 | 12 | 1989 | 17 | 1998 | 18 | 2007 | 14 | 2016 | 15 |
| 1981 | 20 | 1990 | 17 | 1999 | 12 | 2008 | 18 | 2017 | 22 |
| 1982 | 16 | 1991 | 19 | 2000 | 12 | 2009 | 14 | | |
| 1983 | 20 | 1992 | 14 | 2001 | 18 | 2010 | 15 | | |
| 1984 | 15 | 1993 | 14 | 2002 | 12 | 2011 | 15 | | |
| 1985 | 18 | 1994 | 18 | 2003 | 12 | 2012 | 20 | | |

Таблица П8.2.2.3.3 – Максимальные годовые скорости ветра на МС Островное

| Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с |
|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|
| 1977 | 10 | 1986 | 23 | 1995 | 18 | 2004 | 20 | 2013 | 20 |
| 1978 | 13 | 1987 | 17 | 1996 | 18 | 2005 | 18 | 2014 | 17 |
| 1979 | 15 | 1988 | 18 | 1997 | 21 | 2006 | 20 | 2015 | 20 |
| 1980 | 17 | 1989 | 16 | 1998 | 17 | 2007 | 16 | 2016 | 23 |
| 1981 | 24 | 1990 | 23 | 1999 | 20 | 2008 | 23 | 2017 | 22 |
| 1982 | 18 | 1991 | 14 | 2000 | 17 | 2009 | 19 | | |
| 1983 | 19 | 1992 | 21 | 2001 | 21 | 2010 | 22 | | |
| 1984 | 19 | 1993 | 19 | 2002 | 17 | 2011 | 18 | | |
| 1985 | 22 | 1994 | 17 | 2003 | 18 | 2012 | 21 | | |

Таблица П8.2.2.3.4 – Максимальные годовые скорости ветра на МС Билибино

| Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с | Год | V _{max} , м/с |
|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|
| 2005 | 15 | 2008 | 20 | 2011 | 21 | 2014 | 22 | 2017 | 18 |
| 2006 | 21 | 2009 | 19 | 2012 | 19 | 2015 | 19 | | |
| 2007 | 20 | 2010 | 18 | 2013 | 21 | 2016 | 23 | | |

П8.2.2.4 Смерчи

За время наблюдения на МС Билибинского района смерчи отмечены не были [9].

П8.2.2.5 Осадки и снежный покров

Режим выпадения осадков в рассматриваемом районе определяется прохождением атмосферных фронтов, связанных с прохождением циклонов. Интенсивная циклоническая деятельность не типична для района. Поэтому в районе АЭС годовое количество осадков невелико и составляет 250-275 мм (таблица П8.2.2.5.1).

Таблица П8.2.2.5.1 – Среднемесячные и годовая сумма осадков, мм

| Месяц | | | | | | | | | | | | Год |
|-------|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 15 | 10 | 8 | 11 | 14 | 32 | 59 | 37 | 27 | 26 | 21 | 15 | 275 |

Осадки выпадают каждый второй день в году, но при этом примерно 65 % имеют интенсивность до 1 мм. Однако, часто в день с осадками продолжительность их невелика, особенно в теплую половину года.

В рассматриваемом районе средняя продолжительность их в день с осадками составляет 2,5 часа. Летом продолжительность осадков меньше, чем в холодное время, хотя летом выпадает большая часть осадков. Это объясняется большим влагосодержанием атмосферы летом и ливневым характером осадков.

Суточный максимум осадков колеблется от 36 до 55 мм, зимой суточный максимум составляет 3-8 мм. Осадки суммой 10 мм и более выпадают в среднем от 4 до 5 раз в году. Основная доля осадков приходится на теплое время года - за три месяца (июнь-август) выпадает почти половина годового количества осадков – 46 %.

Отмеченный суточный максимум осадков по МС Билибино составил 55 мм. Суточный максимум осадков 1 % повторяемости равен 58 мм, 0,1 % - 81 мм, 0,01 % – 103 мм.

Наблюденный максимум осадков за 20 минут составил 6,2 мм, расчетный максимум осадков за 20 минут 1 % повторяемости равен 8,2 мм, 0,1 % – 10,5 мм, 0,01 % – 12,3 мм [9].

Зима в районе АЭС длится около 7 месяцев в году, выпадающие в это время твердые осадки образуют на земной поверхности устойчивый снежный покров, сохраняющийся до 9 месяцев. Он является фактором, оказывающим существенное влияние на формирование климата в зимний период, главным образом, вследствие большой отражательной способности поверхности. Из-за наличия снежного покрова небольшое количество тепла, получаемое зимой от солнца, почти полностью отражается. Особенно велика отражательная способность свежеснежавшего снега (70 %). В связи с наличием многолетней мерзлоты в районе, снежный покров предохраняет почву от сильного выхолаживания и является источником влаги в почве, а также важным фактором формирования весенних вод в реках. В рассматриваемом районе снежный покров появляется в среднем 19 сентября. Как правило, даты выпадения первого снега близки к осенней дате перехода температуры воздуха через 0 °С. Колебания сроков появления снежного покрова из года в год довольно значительны и достигают от 15 до 25 дней. Первый снег не всегда остается лежать всю зиму, а стает под влиянием оттепелей или жидких осадков.

Устойчивый снежный покров в среднем устанавливается только через 10-15 дней спустя после первого снега и образуется в первой декаде октября. Со времени появления снежного покрова высота его постепенно увеличивается. Важнейшим фактором формирования снежного покрова является прохождение через район циклонов с фронтами, а особенностью является рост высоты снежного покрова в основном в октябрь-ноябре, когда и создаются основные запасы снега.

Средняя высота снежного покрова в районе равна 45 см, максимальная высота, отмеченная в районе при наблюдениях 75 см, а минимальная 13 см.

Число дней со снежным покровом составляет 236.

Средняя дата разрушения снежного покрова 26 мая. Как и другие метеорологические элементы, высота снежного покрова значительно колеблется из года в год.

Максимальные зимние запасы воды в снеге по данным МС Островное приведены в таблице П8.2.2.5.2.

Таблица П8.2.2.5.2 – Запасы воды в снеге

| Год начала зимы | Запас воды в снеге, мм | Год начала зимы | Запас воды в снеге, мм | Год начала зимы | Запас воды в снеге, мм | Год начала зимы | Запас воды в снеге, мм | Год начала зимы | Запас воды в снеге, мм |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1965 | 149 | 1975 | 112 | 1985 | 108 | 1995 | 111 | 2006 | 104 |
| 1966 | 136 | 1976 | 60 | 1986 | 88 | 1996 | 109 | 2007 | 69 |
| 1967 | 141 | 1977 | 90 | 1987 | 79 | 1997 | 88 | 2011 | 53 |
| 1968 | 112 | 1978 | 88 | 1988 | 110 | 1998 | 79 | 2012 | 54 |
| 1969 | 70 | 1979 | 122 | 1989 | 49 | 1999 | 61 | 2013 | 114 |
| 1970 | 92 | 1980 | 87 | 1990 | 143 | 2000 | 80 | 2014 | 80 |
| 1971 | 109 | 1981 | 122 | 1991 | 91 | 2001 | 69 | 2015 | 77 |
| 1972 | 94 | 1982 | 86 | 1992 | 158 | 2003 | 108 | | |
| 1973 | 81 | 1983 | 90 | 1993 | 110 | 2004 | 93 | | |
| 1974 | 74 | 1984 | 90 | 1994 | 129 | 2005 | 104 | | |

П8.2.2.6 Атмосферные явления

Метели

В районе в среднем за год отмечается 4 дня с метелью, максимальное число дней с метелью может достигать 11 дней (таблица П8.2.2.6.1). При этом средняя непрерывная продолжительность метелей составляет 5,5 часа. Максимальная средняя продолжительность метелей отмечается в декабре и достигает 8,7 часа. Объем снегопереноса за зиму с максимальной продолжительностью метелей не превышает 100 м³/м.

Таблица П8.2.2.6.1 – Среднее и наибольшее число дней с метелью по месяцам и за год

| Число дней | Месяц | | | | | | | | Год |
|------------|-------|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Среднее | 0,6 | 0,4 | 0,8 | 0,3 | 0,7 | 0 | 0,5 | 0,5 | 4 |
| Наибольшее | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0 | 4 | 2 | 11 |

Грозы

Грозы в районе явление довольно редкое и наблюдаются только в летнее время (таблица П8.2.2.6.2). Средняя продолжительность невелика (менее часа), максимальная продолжительность составила 2,5 часа.

Таблица П8.2.2.6.2 – Среднее и наибольшее число дней с грозой по месяцам и за год

| Число дней | Месяц | | | | Год |
|------------|-------|-----|------|----|-----|
| | VI | VII | VIII | IX | |
| Среднее | 0,3 | 1 | 0,3 | 0 | 2 |
| Наибольшее | 7 | 4 | 2 | 1 | 11 |

Туманы

В рассматриваемом пункте туманы образуются в течение всего года кроме марта месяца. В среднем за год наблюдается от 5 до 21 дней с туманом (таблица П8.2.2.6.3). В суточном ходе туманы имеют четкий максимум в ранние утренние часы и минимум после полудня. В годовом ходе повторяемости туманов максимум наблюдается в летне-осенний период, минимум – весной и в начале лета.

Сравнительно небольшое количество и интенсивность туманов связана с низкой абсолютной влажностью, наблюдающейся в районе. Средняя продолжительность тумана в день с туманом равна 2-4 часам.

Таблица П8.2.2.6.3 – Число дней с туманами

| Метеостанция | Месяц | | | | | | | | | | | | Год |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Среднее | | | | | | | | | | | | | |
| Билибино | 8 | 4 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,03 | 0,07 | 1 | 6 | 21 |
| Островное | 0,1 | 0,03 | - | 0,07 | 0,03 | 0,1 | 0,6 | 2 | 1 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 5 |
| Илирней | 0,9 | 0,9 | 0,04 | 0,1 | - | 0,07 | 0,3 | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 1 | 7 |
| Наибольшее | | | | | | | | | | | | | |
| Билибино | 20 | 20 | 12 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 7 | 21 | 50 |
| Островное | 3 | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 10 | 2 | 2 | 3 | 15 |

| Метеостанция | Месяц | | | | | | | | | | | | Год |
|--------------------------------------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|---|----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Илирней | 14 | 10 | 1 | 2 | - | 1 | 2 | 8 | 5 | 3 | 5 | 19 | 44 |
| Средняя продолжительность туманов, ч | | | | | | | | | | | | | |
| Островное | 0,3 | 0,07 | - | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 2 | 8 | 8 | 2 | 1 | 0,3 | 23 |
| Илирней | 10 | 7 | 0,3 | 0,1 | - | 0,2 | 1 | 5 | 4 | 4 | 4 | 19 | 55 |

Град

Град для рассматриваемого района явление редкое, наблюдается не ежегодно. Среднее число дней с градом в год - 0,2-0,3 дня, наибольшее – 3 дня (таблицы П8.2.2.6.4).

Таблица П8.2.2.6.4 – Число дней с градом

| Метеостанция | Месяц | | | | | | | | | | | | Год |
|---|-------|----|-----|----|------|------|------|------|------|---|----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Среднее | | | | | | | | | | | | | |
| Билибино | - | - | - | - | 0,04 | 0,13 | 0,04 | - | 0,04 | - | - | - | 0,3 |
| Островное | - | - | - | - | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,1 | - | - | - | 0,3 |
| Илирней | - | - | - | - | - | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,1 | - | - | - | 0,2 |
| Наибольшее | | | | | | | | | | | | | |
| Билибино | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | - | 1 | - | - | - | 1 |
| Островное | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | - | - | - | 3 |
| Илирней | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 2 | - | - | - | 3 |
| Среднее многолетнее число дней со шквалом | | | | | | | | | | | | | |
| Островное | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,4 | - | - | - | 0,4 |
| Илирней | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Гололедно-изморозевые явления

Процессы образования гололедно-изморозевого обледенения в районе площадки изысканий наблюдаются с ноября по март. Иногда при тумане в процессе осадения и замерзания переохлажденных капелек воды образуется изморозь зернистая (при температуре воздуха от 0 до минус 10 °С и умеренном ветре до 5 м/с) или кристаллическая (при температуре от минус 5 до минус 20 °С и безветрии). В среднем за сезон может отмечаться от 15 до 81 дней с изморозью. Наибольшее число дней с обледенением всех видов 125 дней (таблицы П8.2.2.6.5, П8.2.2.6.6). В районе площадки образуется гололед, но бывает он очень редко и не каждый год. Он обычно возникает при температурах воздуха от минус 1 до минус 4 °С.

Согласно ПУЭ участок проектирования расположен в III районе по гололеду, т.е. нормативная толщина стенки гололеда составляет 20 мм. Температура воздуха при гололеде – минус 10 °С.

Таблица П8.2.2.6.5 – Среднее число дней с обледенением проводов гололедного станка

| Явление | Месяц | | | | | | | | | Год |
|----------|-------------|---|----|------|----|----|-----|----|-----|------|
| | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | |
| | МС Билибино | | | | | | | | | |
| Гололед | 0,04 | - | - | 0,04 | - | - | - | - | | 0,04 |
| Изморозь | 2 | 9 | 14 | 17 | 17 | 10 | 7 | 4 | 0,6 | 81 |

| Явление | Месяц | | | | | | | | | Год |
|------------------------|-------|-----|----|-----|----|----|------|-----|-----|-----|
| | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | |
| Обледенение всех видов | 2 | 9 | 14 | 17 | 17 | 10 | 7 | 4 | 0,6 | 81 |
| МС Островное | | | | | | | | | | |
| Гололед | 0,03 | 0,1 | - | - | - | - | 0,03 | - | - | 0,2 |
| Изморозь | 0,5 | 5 | 13 | 11 | 12 | 8 | 5 | 3 | 0,2 | 58 |
| Обледенение всех видов | 0,6 | 5 | 13 | 11 | 12 | 8 | 5 | 3 | 0,2 | 58 |
| МС Илirней | | | | | | | | | | |
| Гололед | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Изморозь | 0,3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,1 | 15 |
| Обледенение всех видов | 0,3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,1 | 15 |

Таблица П8.2.2.6.6 – Наибольшее число дней с обледенением проводов гололедного станка

| Явление | Месяц | | | | | | | | | Год |
|---------------------------|-------|----|----|-----|----|----|-----|----|---|-----|
| | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | |
| МС Билибино | | | | | | | | | | |
| Гололед | 1 | - | - | 1 | - | - | - | - | - | 1 |
| Изморозь | 7 | 17 | 26 | 30 | 24 | 17 | 18 | 10 | 3 | 124 |
| Обледенение всех видов | 8 | 17 | 26 | 31 | 24 | 17 | 18 | 10 | 3 | 125 |
| МС Островное | | | | | | | | | | |
| Гололед | 1 | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - | 4 |
| Изморозь | 3 | 16 | 29 | 22 | 28 | 22 | 24 | 10 | 2 | 119 |
| Обледенение всех видов | 4 | 20 | 29 | 22 | 28 | 22 | 25 | 10 | 2 | 123 |
| МС Илirней | | | | | | | | | | |
| Гололед | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Изморозь | 5 | 7 | 23 | 17 | 13 | 19 | 9 | 17 | 3 | 57 |
| Обледенение всех видов | 5 | 7 | 23 | 17 | 13 | 19 | 9 | 17 | 3 | 57 |

П8.2.3 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОЩАДКИ БИЛИБИНСКОЙ АЭС

П8.2.3.1 Водотоки района размещения Билибинской АЭС

Речная сеть района размещения АЭС высоко развита, однако представлена в основном небольшими реками и ручьями. Озера на расстоянии до 100 км отсутствуют.

Самая значительная долина реки Большой Кепервеем имеет меридиональное направление и ширину около 6 км. Долина сильно заболочена, имеется множество озер, проток, рукавов.

Ручей Большой Поннеурген, возле которого расположена промплощадка АЭС, берет начало на склонах водораздела рек Большой и Малый Кепервеем на высоте около

800 м и впадает в р. Бол. Кепервеем с левого берега на 32 км от его устья. Площадь водосбора руч. Бол. Поннеурген в устье 97 км², длина 6 км.

В бассейне руч. Бол. Поннеурген хорошо развита гидрографическая сеть: он имеет 27 притоков длиной менее 10 км (рисунок П8.2.3.1.1).

Ширина долины в рассматриваемом районе колеблется от 700 до 1500 м. Русло и дно долины сложены слабоустойчивыми рыхлыми аллювиальными отложениями. В среднем и нижнем течении имеется много стариц и проток, действующих в период половодья и паводков.

В 3 км выше по течению р. Бол. Поннеурген перекрыт плотиной, образующей водохранилище.

Внутригодовое распределение стока характеризуется неравномерностью: 90-95 % стока приходится на теплый период года (с мая по август); в период с октября по апрель сток отсутствует вследствие замерзания водотоков.

Весеннее половодье наблюдается в конце мая-июня, на долю его приходится 40-60 % годового объема стока. Дождевые паводки проходят с июня по сентябрь. Продолжительность дождевых паводков невелика (от 1 до 15 суток), но по величине максимальных расходов они часто превышают весеннее половодье.

Максимальные расходы в створе площадки Билибинской АЭС, определяющие высокий уровень воды в руч. Бол. Поннеурген, обуславливаются холостыми сбросами, которые имеют место при прохождении половодья или паводка при наполненном водохранилище. При этом определяющим является дождевой паводок, который будет проходить через водосброс гидроузла без трансформации. Максимальный расход дождевого паводка обеспеченностью 0,01 % составит 135 м³/с.

Характеристики расчетных гидрографов максимального стока руч. Бол. Поннеурген в створе существующей плотины приведены в таблице П8.2.3.1.1.

Наименьшие расходы за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета и перед появлением на реке ледяных образований.

Сток и уровенный режим ручья Бол. Поннеурген в районе площадки Билибинской АЭС, расположенной ниже водохранилища, полностью определяется режимом его работы.

На рисунке П8.2.3.1.2 приведен поперечный разрез поймы ручья Большой поннеурген и части промплощадки Билибинской АЭС.

Таблица П8.2.3.1.1 – Характеристики расчетных гидрографов максимального стока руч. Бол. Поннеурген в створе существующей плотины

| Характеристика | Обеспеченность, Р % | | | |
|---|---------------------|------|------|------|
| | 0,01 | 0,1 | 1 | 5 |
| Весеннее половодье | | | | |
| Максимальный расход, м ³ /с | 86,8 | 53,0 | 35,7 | 25,0 |
| Объем стока, 10 ⁶ м ³ | 40,8 | 25,6 | 17,9 | 13,0 |
| Дождевой паводок | | | | |
| Максимальный расход, м ³ /с | 135,0 | 69,9 | 41,4 | 26,0 |
| Объем стока, 10 ⁶ м ³ | 10,8 | 10,8 | 6,43 | 4,11 |

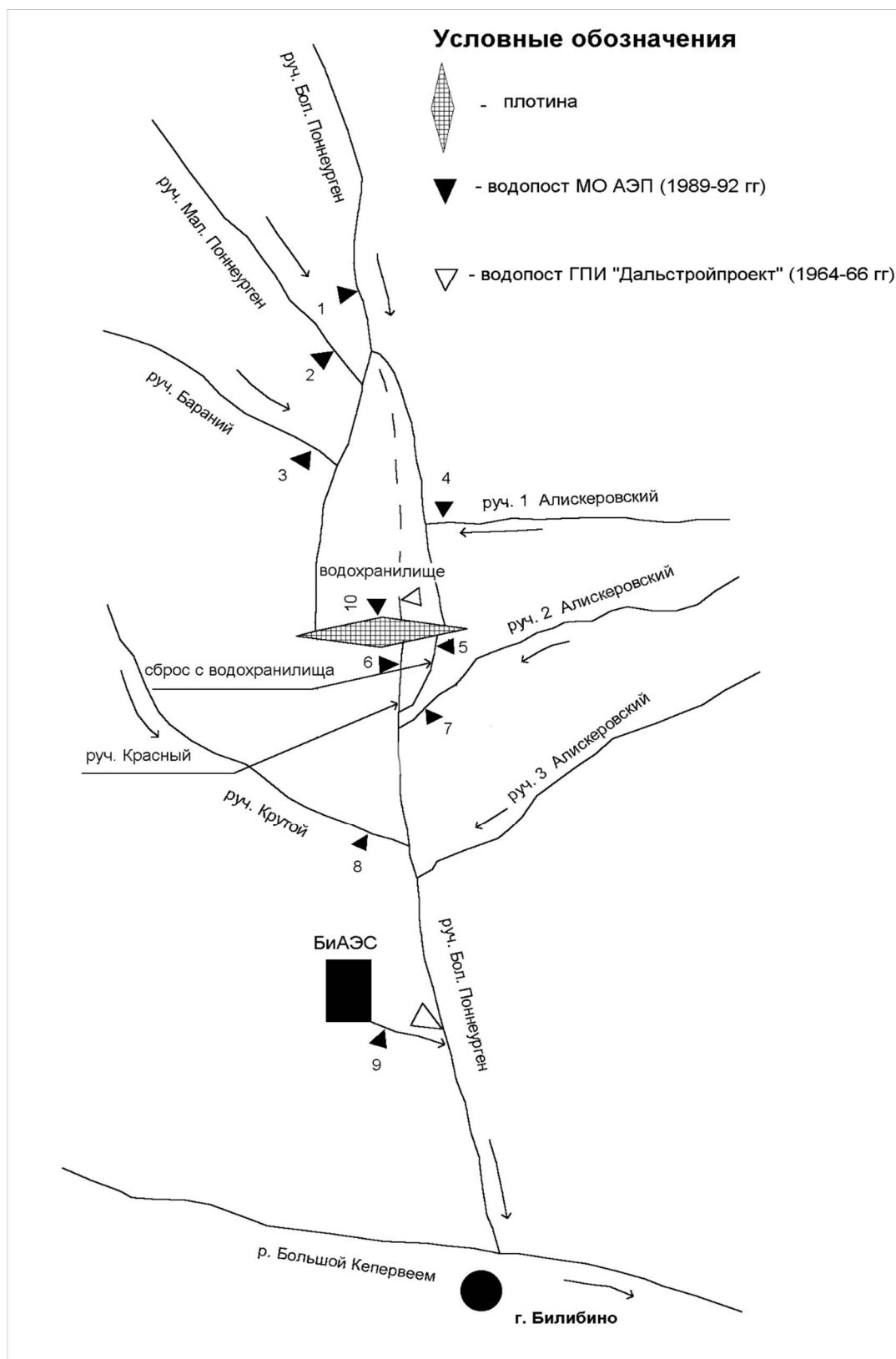


Рисунок П8.2.3.1.1 – Гидрографическая схема долины ручья Бол. Поннеурген

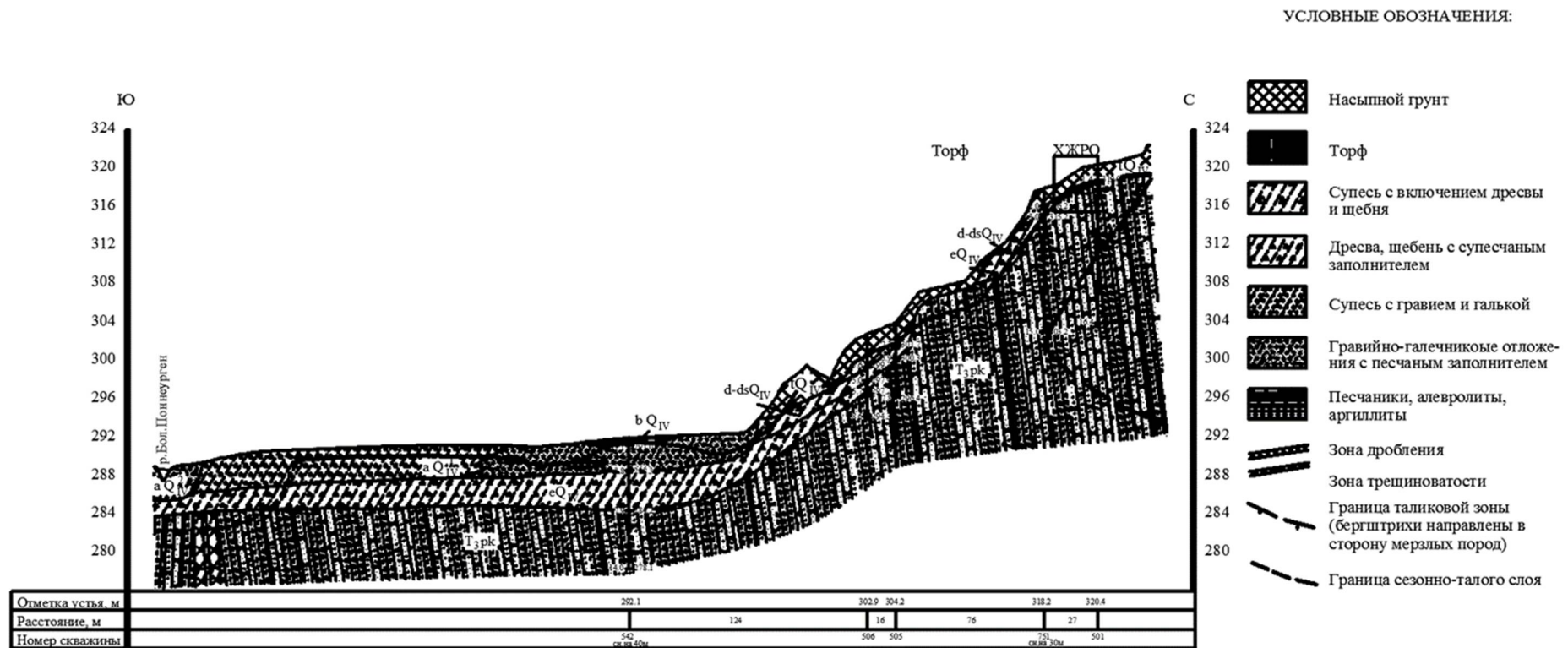


Рисунок П8.2.3.1.2 – Поперечный разрез поймы ручья Большой поннеурген и части промплощадки Билибинской АЭС

П8.2.3.2 Характеристики водохранилища и дамбы на ручье Большой Поннеурген

Гидроузел Билибинской АЭС построен на ручье Большой Поннеурген в зоне вечной мерзлоты. Местоположение головного узла обусловлено топографическими и геологическими условиями створа, а также санитарными нормами. Водохранилище предназначено для технического и хозяйственного водоснабжения Билибинской АЭС и города Билибино.

В состав сооружений гидроузла входят:

- грунтовая плотина;
- паводковый водосброс;
- донный водозабор - водовыпуск;
- дренажные насосные станции (две станции);
- самотечные водоводы.

Земляная плотина из песчано-гравелистого грунта с ядром из суглинка запроектирована и построена как плотина талого типа с допущением оттаивания вечномерзлых грунтов основания, а также тела плотины после заполнения водохранилища.

Проект гидроузла разработан ГПИ «Дальстройпроект», Магадан.

Гидротехнические сооружения соответствуют III классу (при соответствующих этому классу объеме инженерно-геологических, геокриологических, геотехнических и других изысканий и исследований).

В качестве источника водоснабжения Билибинской АЭС и города Билибино принят ручей Большой Поннеурген с годовым стоком, колеблющимся от 5,0 млн. м³ – повторяемостью 97 % (меньше емкости водохранилища) до 12,0 млн. м³ – повторяемостью 50 % и 26,8 млн. м³ – повторяемостью 1 %. Водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока ручья Большой Поннеурген для обеспечения водой систем технического и хозяйственного водоснабжения Билибинской АЭС и города Билибино.

Водохранилище расположено в долине, имеющей асимметричную форму. Правый берег пологий, сильно заболоченный, левый отличается крутизной. План дамбы показан на рисунке П8.2.3.2.1.

Основные параметры водохранилища

| | |
|--|--------|
| НПУ, м | 338,3 |
| УС, м | 334,75 |
| УМО, м | 328,75 |
| ФПУ, м | 339,45 |
| полная емкость водохранилища, млн. м ³ | 5,14 |
| полезный объем сработки, млн. м ³ | 3,69 |
| расчетные потери на льдообразование, млн. м ³ | 0,410 |
| расчетные потери на фильтрацию, млн. м ³ | 0,340 |
| мертвый объем, млн. м ³ | 0,570 |
| площадь зеркала при НПУ, км ² | 0,657 |
| максимальная глубина в приплотинной части водохранилища, м | 16 |
| расчетная высота волны, м | 0,5 |
| толщина льда в водохранилище, м | до 2 |
| максимальная мутность воды в период паводка, кг/м ³ | 0,72 |

Грунтовая плотина. Основные параметры плотины

| | |
|----------------------------|--------|
| длина по гребню, м | 686,0 |
| ширина по гребню, м | 6,0 |
| максимальная высота, м | 18,0 |
| заложение верхового откоса | 1:2,5 |
| заложение низового откоса | 1:2 |
| отметка гребня | 341,15 |

Насыпь плотины выполнена из гравийно-галечниковых грунтов с супесчаным и суглинистым заполнителем. Грунтовая плотина имеет центральное ядро из суглинка, содержащим до 20 % гальки, гравия, дресвы и щебня, а в зоне боковых примыканий – гравийные, галечниковые, дресвяные и щебенистые грунты.

Боковые призмы плотины из песчано-гравийных и галечниковых грунтов. С основанием ядро соприкасается зубом, который прорезает толщу аллювиальных отложений и выветрелую толщу трещиноватой скалы:

| | |
|--------------------------|---------------------|
| толщина ядра по верху | 4,0 м, откосы 1:0,5 |
| ширина зуба по подошве | 6,0 м, откосы 1:1 |
| зуб заглубляется в скалу | не менее 1,0 м |

Сопряжение ядра осуществляется с помощью бетонной плиты размером 0,7-0,6 м, имеющей внизу шпонку высотой 0,8 м. Плита нужна для пригрузки основания.

После заполнения водохранилища по проекту допускалось оттаивание вечномерзлого основания. Учитывая это, для организованного отвода фильтрационных вод и понижения кривой депрессии, под низовым клином плотины выполнен дренаж протяженностью 575 м из перфорированных асбоцементных труб диаметром от 300 до 400 мм, уложенных на глубину 7 м от поверхности земли. Укладывается труба по слою щебня толщиной 15 см. Поверх трубы отсыпается трехслойный обратный фильтр.

Для осмотра и очистки дренажа предусмотрены шесть смотровых колодцев, один из которых ДК-5-водосборный. Из водосборного колодца вода поступает в водозаборный колодец дренажной насосной станции.

В нижнем бьефе плотины в период с ноября по апрель имеет место развитие наледей. Источником их образования является разгрузка в нижний бьеф фильтрационных вод из водохранилища. По данным наблюдений сосредоточенный выход фильтрационных вод изменяется от 0,034 до 0,25 м³/с.

Образование наледей начинается в октябре, после перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 градусов. После прекращения поверхностного стока в дальнейшем образовании наледей участвуют только подземные воды таликовой зоны. Максимального развития наледи достигают к марту-апрелю. Стаивание наледей завершается в июне.

Переформирование берегов водохранилища происходит в основном за счет криогенных процессов и носит только высотный характер. Плановые деформации не прослеживаются. Волновая деятельность ввиду малой площади водохранилища незначительна. Объем разрушенного грунта в 1990 г. составил около 500 м³. Вместе с поступающим в водохранилище твердым стоком величина заиления дна водохранилища составит 2 мм в год.

Имеющиеся данные лабораторных анализов проб воды водохранилища свидетельствуют о том, что характеризуемые ими показатели воды в целом отвечают требованиям ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая», за исключением цветности и железа, ухудшающими ее качество.

При прохождении максимального расхода воды дождевого паводка повторяемостью 0,01 % уровни воды в районе площадки Билибинской АЭС поднимутся на 1,6-1,9 м над отметкой дна.

Для водохранилища максимальным следует считать ФПУ, равный 339,45 м. Максимальный уровень воды за период с 1989 по 1992 г. отмечался 3 июня 1991 г. и составил 338,84 м.

В случае гидродинамической аварии во время прохождения пика паводка 0,01 % повторяемости, при уровне воды в верхнем бьефе ФПУ 340,05 м, в результате одновременного сейсмического воздействия мгновенно происходит частичное разрушение грунтовой плотины Билибинской АЭС – в ее теле образуется проран шириной 50 м. Поток в нижний бьеф будет вынесено 35500 м³ грунта плотины (суглинок, содержащий до 20 % гальки, гравия, дресвы, щебня). Максимальная высота волны достигнет 6 м, скорость волны прорыва составит 2,5 м/с.

Проведенные расчеты показали, что зона затопления не захватывает территорию промплощадки Билибинской АЭС, которая находится на 30 м выше дна долины руч. Бол. Поннеурген. Из сооружений станции в зону разрушения и затопления попадают гидротехнические сооружения (сама плотина, донный водозабор-водовыпуск, концевой участок отводящего канала паводкового водосброса, дренажные насосные станции и отдельные участки трубопроводов), а также отдельные участки линий электропередач и, частично, очистные сооружения. Основные сооружения Билибинской АЭС не подвергнутся воздействию волны прорыва.

Низкие уровни воды отмечаются в период пересыхания (перемерзания) речных русел. Минимальные уровни наблюдаются обычно в мае перед началом снеготаяния. Минимальный наблюдаемый уровень воды в отмечен 18 мая 2007 г. и составил 334,88 м. при уровне мертвого объема равный 328,75 м.

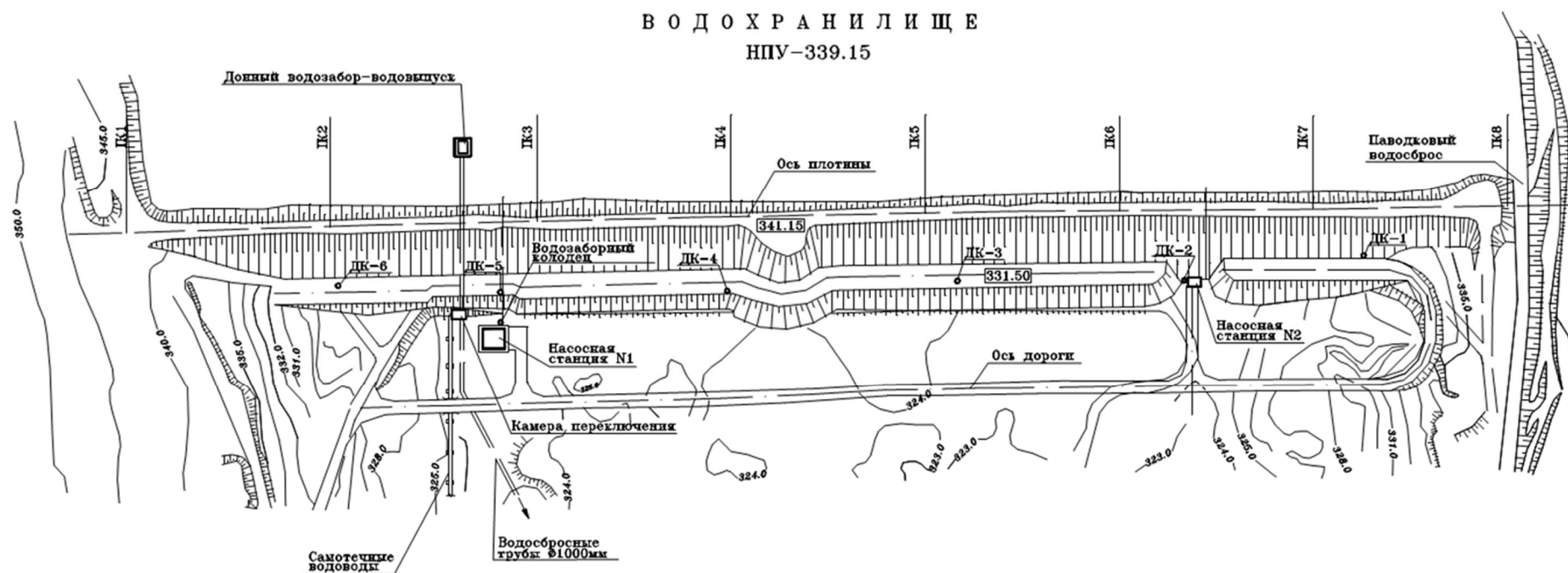


Рисунок П8.2.3.2.1 – План плотины и гидроузла

П8.2.3.3 Грунтовые воды на площадке Билибинской АЭС

Сплошное распределение многолетнемерзлых пород определяет своеобразные условия формирования подземных вод. По взаимоотношению с мерзлыми толщами выделяются надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды.

Надмерзлотные воды

По условиям залегания надмерзлотные воды разделяются на воды СТС и воды техногенных несквозных таликов.

Воды СТС функционируют в теплый период года и имеют практически повсеместное распространение. Водовмещающими породами являются преимущественно четвертичные отложения: техногенные, делювиальные, делювиально-солифлюкционные и элювиальные. Мощность обводненных пород невелика и определяется глубиной сезонного протаивания пород. Глубина сезонного протаивания не превышает 1,5-2,0 м в естественных условиях и достигает 4-5 м на участках залегания техногенных грунтов. Подземные воды безнапорные. Нижним водоупором для них служат вечномерзлые породы.

По условиям циркуляции воды пластово-поровые в четвертичных отложениях и пластово-трещинные в коренных породах. Водоносный горизонт функционирует в теплый период года с конца мая до начала октября (в среднем 4 месяца). Питание вод сезонно талого слоя осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Область питания горизонта совпадает с областью распространения талых пород. Разгрузка вод сезонно талого слоя осуществляется в понижения рельефа, а также в искусственные выемки (котлован пристроя). В начале зимнего периода, при промерзании водоносного горизонта, воды его приобретают напорный характер, замерзая, образуют наледные шлейфы у подножия склонов.

Водообильность пород невелика. Коэффициенты фильтрации различных литологических разностей составляют от 0,01 до 0,5 м/сут.

По химическому составу воды сезонно талого слоя весьма разнообразны. Режимные наблюдения показали, что в засушливый период вода сульфатная с минерализацией до 0,3 г/л, после выпадения дождей – гидрокарбонатная ультрапресная. Жесткость воды изменяется от 0,2 до 1,0 мг-экв./л, рН - от 5,8 до 6,6.

Согласно СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» подземные воды сезонно талого слоя слабо агрессивны по бикарбонатной щелочности и водородному показателю и средне агрессивны по содержанию агрессивной углекислоты по отношению к бетону нормальной проницаемости.

Воды техногенных несквозных таликов развиты на промплощадке I очереди, в основании сооружений, построенных по II принципу.

За время эксплуатации АЭС под радиаторными охладителями и главным корпусом образовалась единая чаша оттаивания. На 2000 г. длина чаши оттаивания составляла 220 м, ширина от 90 до 130 м, мощность чаши оттаивания более 80 м под радиаторными охладителями и от 50 до 56 м под главным корпусом.

По условиям циркуляции воды чаши оттаивания – пластово-трещинные. Водовмещающими породами являются трещиноватые коренные породы. Основное питание вод таликовых зон осуществляется за счет подтока вод сезонно-талого слоя в летний период; некоторый объем поступает за счет вытаивания льда при росте чаши оттаивания и за счет утечек из коммуникаций.

Подземные воды безнапорные. Нижней и боковыми границами таликовых зон являются многолетнемерзлые породы.

Режимные наблюдения за изменениями уровня вод чаши оттаивания ведутся в главном корпусе. Минимальный уровень зафиксирован в зимние месяцы (абсолютные отметки от 308 до 310 м).

Начиная с мая, отмечается резкое повышение уровня воды. Максимальная отметка уровня (абсолютные отметки от 312 до 319 м) отмечается в июле. С августа по октябрь – ноябрь уровень воды в чаше оттаивания понижается.

У восточной стенки главного корпуса Билибинской АЭС заложен котлован пристроя глубиной 19,4 м (абсолютная отметка дна 308,8 м) с двумя приялками для откачки воды (центральный приямок углублен на 2,2 м). По данным Билибинской АЭС приток в приямок из котлована пристроя в летний период составляет около 100 м³/сут.

Имеющиеся данные позволяют сделать вывод, что разгрузка надмерзлотных вод чаши оттаивания происходит в летний период в приямок котлована пристроя, откуда ее откачивают на протяжении трех месяцев; в зимний период – в виде наледей (за зданием РСЦ, насыпь у здания ВПЧ-4).

По химическому составу подземные воды сульфатные магниево-кальциевые с минерализацией от 0,9 до 4,3 г/л, рН от 6,8 до 8,4.

Подземные воды таликовых зон слабо агрессивны по бикарбонатной щелочности, средне агрессивны по содержанию сульфатов к бетону нормальной проницаемости и слабо агрессивны – к арматуре железобетонных конструкций при периодическом смачивании.

Межмерзлотные воды

Межмерзлотные воды встречены на описываемой территории в пределах площадки проектируемого ХОЯТ.

Впервые межмерзлотные воды были вскрыты на участке трестом СевВостТИСИЗ в 1985 г. и в период с 1990 по 1992 г. МО АЭП.

Межмерзлотные воды (криопэги) вскрыты в полосе шириной около 130 м, протягивающейся от восточной границы таликовой зоны до промплощадки II очереди. По условиям циркуляции вода относится к трещинно-жильному типу, связана с зонами повышенной трещиноватости. Глубина установившегося уровня изменяется от 9,7 до 44,7 м (абсолютные отметки от 295 до 318 м) от поверхности земли. Воды преимущественно безнапорные, реже напорные, имеют техногенное происхождение.

Существование в вечномерзлых грунтах вод в жидкой фазе объясняется их высокой минерализацией (до 250 г/л). Замерзание этих вод происходит при более низких отрицательных температурах, чем температура вмещающих мерзлых пород. Температура межмерзлотных вод составляет минус 2,6 °С.

Фильтрационные параметры обводненных зон невелики, по результатам откачек коэффициент фильтрации составляет 0,17-0,48 м/сут, водопроницаемость 5 м²/сут. Уровень воды в скважинах после откачек не восстанавливается до статического, несмотря на небольшие отборы воды (первые десятки литров).

По химическому составу межмерзлотная вода сульфатная магниевая с минерализацией от 130 до 250 г/л, относится к рассолам, рН изменяется от 6,2 до 6,8.

Межмерзлотные воды криопэгов слабоагрессивны по водородному показателю, среднеагрессивны по содержанию сульфатов по отношению к бетону нормальной проницаемости; среднеагрессивны к арматуре железобетонных конструкций при периодическом смачивании.

Следует отметить, что при изыскании под I очередь Билибинской АЭС линзы криопэгов не были обнаружены. При изысканиях под II очередь в 1985 и в 1990 годах линзы криопэгов были зафиксированы на территории, прилегающей к площадке I очереди, подверженной техногенному воздействию, что дает основание утверждать об их техногенном генезисе.

С целью изучения генезиса межмерзлотных вод и их связи с поверхностными водами было проведено изучение изотопного состава водорода (дейтерия и трития) и кислорода (кислород-18) в подземных и поверхностных водах.

Закономерности в изменении химического и изотопного состава межмерзлотных вод объясняются следующим образом.

Криопэги магниевого состава сформировались в толще вечномерзлых пород за счет повышения ее температуры при нарушении естественного теплового режима в результате техногенной деятельности (тепловое загрязнение от АЭС, нарушение поверхностного слоя грунтов при строительстве).

В настоящее время наблюдается поступление «станционных» вод в межмерзлотный водоносный горизонт. Это приводит к разбавлению криопэгов поверхностными водами и еще большему прогреву мерзлой толщи.

В ряде скважин промплощадки были отмечены в коренных породах по трещинам налеты и корочки белого материала, анализ вещественного состава которого показал, что основным его компонентом является гипс, содержащийся в количестве 76 %. Очевидно, гипс является вторичным минералом, переотложенным из минерализованных растворов, когда концентрация ионов сульфата и кальция превышает их произведение растворимости, этим же и объясняется увеличение содержания магния с ростом минерализации раствора.

Возможный механизм образования минерализованных, межмерзлотных вод представляется следующим образом.

В процессе строительства произошло резкое изменение геокриологических условий промплощадки. Коренные породы в основаниях сооружений были вскрыты котлованами и выведены на дневную поверхность.

Движение криопэгов вглубь массива происходит под действием силы тяжести по зонам повышенной проницаемости (трещиноватости).

Поверхностные воды и воды сезонно-талого слоя, проникая в летний период в массив коренных пород по трещинам, выщелачивали пирит с образованием сульфата. При этом минерализация воды возрастала.

Приобретя минерализацию свыше 1,0 г/л, подземная вода в зимний период не замерзала (при данных температурах мерзлой толщи). В то же время, при сезонном промерзании с поверхности, вода «задавливалась» в трещины породы.

Имея пестрый анионный и катионный состав и малую минерализацию, поверхностные воды и воды сезонно-талого слоя при движении вглубь массива приобретают сульфатный, магниевый состав и минерализацию до 250 г/л. С повышением минерализации происходит выпадение из раствора гипса.

Подмерзлотные воды

Подмерзлотные воды на территории промплощадки не вскрыты.

П8.2.4 ЛИТОЛОГИЯ

П8.2.4.1 Осадки и крены основных зданий АЭС

С целью контроля за состоянием зданий и сооружений Билибинской АЭС организованы и проводятся режимные наблюдения за их осадкой методом повторного высокоточного нивелирования по контрольным осадочным маркам. Периодичность циклов повторного нивелирования один раз в год.

Главный корпус, ряды А и Д (южный и северный фасады)

Начало наблюдений 07.1977 г. Максимальную осадку – 78,6 мм имеет марка № 8 в юго-восточном углу здания (оси А 17) вблизи котлована пристроя. Суммарные осадки с начала наблюдений для остальных марок колеблются от 22 до 39 мм по южному фасаду (ряд А), от 34 до 56 мм по северному фасаду (ряд Д).

Характер осадок в течение всего периода наблюдений переменный:

- для марки № 8 в период с 1983 по 1991 г. усиленная осадка до 64,4 мм,
- с 1992 по 2006 г. – осадка, одинаковая с остальными марками ряда А;
- для остальных марок после стабилизации осадки с 1984 по 1994 годы увеличение осадки с 1995 по 2013 г. по ряду А на 5-14 мм, по ряду Д на 24-44 мм.

Максимальная скорость осадки составляла с 1998 по 2013 г. по ряду А составила минус 1,1 мм/год, по ряду Д – минус 2,3 мм/год, что превышает критерий стабилизации осадки (минус 1 мм/год).

Осадки марок ОВК с 1990 по 2013 г. от 36 до 37 мм, максимальная скорость осадки с 1998 по 2013 г. –1,5 мм/год.

Схема разрешения марок приведена на рисунке П8.2.4.1.1.



Рисунок П8.2.4.1.1 – Схема размещения марок главного корпуса

Главный корпус, крен реакторного отделения и вентиляционных труб

По результатам проведенного геодезического обследования установлено, что полное значение кренов строительных конструкций машинного реакторного отделений главного корпуса не превышает допустимых значений 0,004 высоты колонны согласно СП 22.1330.2011 (актуализация СНиП 2.02.01-83).

Полное значение кренов строительных конструкций ВКУ-1,2 и ВКУ-3,4 не превышает предельно допустимых значений согласно СНиП 2.02.01-83, за исключением отдельных колонн. На основании ранее проведенных обследований и наблюдений за кренами строительных конструкций ВКУ-1,2, сделан вывод, что полные значения кренов носят колебательный характер, и могут изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Рекомендовано продолжить наблюдения за кренами колонн и в случае изменения полного значения кренов колонн, превышающих предельно допустимые значения, в большую сторону, провести техническое обследование строительных конструкций силами специализированной организации с целью выявления причин крена.

Полное значение кренов вентиляционной трубы блоков 1,2 составляет 37 и 105 мм (векторная сумма 111 мм), что не превышает предельно допустимого значения 0,005 высоты трубы согласно СП 22.1330.2011 (актуализация СНиП 2.02.01-83). Полное значение кренов вентиляционной трубы блоков 3,4 составляет 75 и 92 мм (векторная сумма 117 мм), что не превышает предельно допустимого значения 0,005 высоты трубы согласно СП 22.1330.2011 (актуализация СНиП 2.02.01-83). Учитывая результаты предыдущих наблюдений за креном вентиляционных труб блоков 1,2 и 3,4 сделан вывод, что крен вентиляционных труб может изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Главный корпус, ряды колонн В и Г в машзале

Начало наблюдений 07.1977 г. Суммарная осадка с начала наблюдений:

- по ряду В по марке В-12 0,6 мм (начало наблюдений 2011 г.), по остальным маркам от 11 до 28 мм,
- по ряду Г от 4 до 17 мм, кроме марок Г-5, Г-13, Г-16, Г-17 (начало наблюдений 2009-2011 г.).

Характер осадки: незначительная, почти равномерная. Наибольшая осадка зафиксирована в 2000 г. Схема разрешения марок приведена на рисунке П8.2.4.1.2.

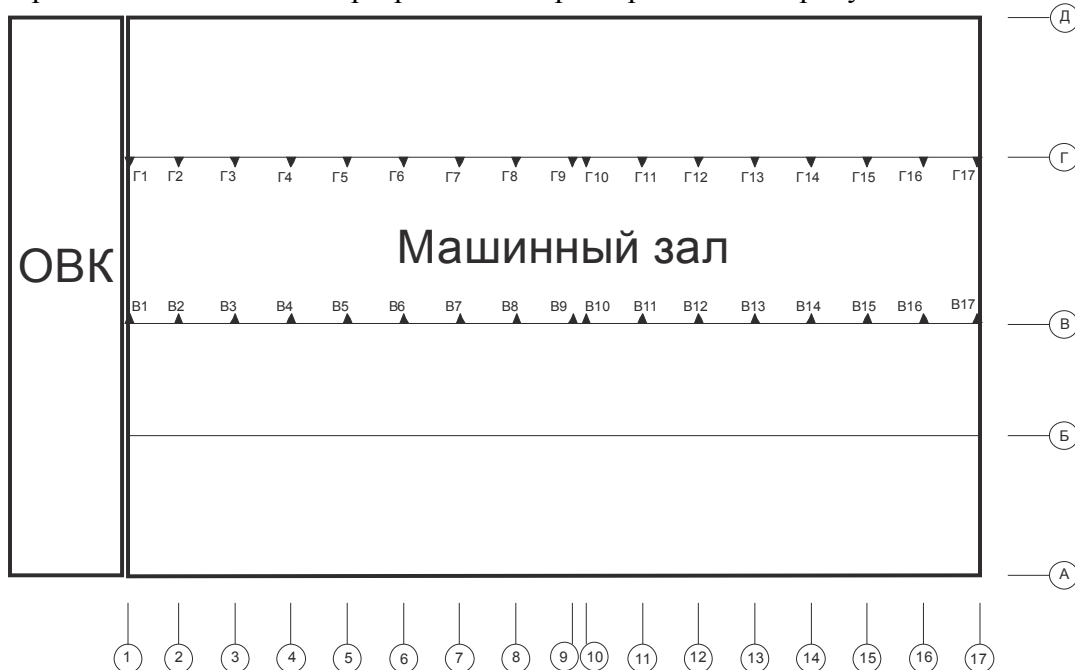


Рисунок П8.2.4.1.2 – Схема размещения марок машинного зала главного корпуса
Текущие осадки марок ряда В не превышают 40 мм, а марок ряда Г не превышают 30 мм.

Турбогенераторы ТГ-1, ТГ-2, ТГ-3, ТГ-4

Начало наблюдений 07.1977 г. Осадки марок турбогенераторов относительные. За исходную с нулевой осадкой условно принимается марка № 3 ТГ-4.

Средняя суммарная осадка турбогенераторов (по четырем маркам каждого турбогенератора) относительно марки № 3 ТГ-4 составляет:

- ТГ-1 - 18,2 мм;
- ТГ-2 - 17,0 мм;
- ТГ-3 - 10,3 мм;
- ТГ-4 – 4,5 мм.

Приращение средней осадки с 1998 по 2006 г. соответственно минус 1,3; минус 1,7; минус 1,2; минус 0,8 мм, с 2010 по 2011 г. соответственно минус 1,7, минус 2,1, минус 1,6, минус 1,2. Абсолютная осадка и ее скорость не определяются. Характер осадки: незначительная, почти равномерная.

Неравномерность осадки (максимальная разность осадки по 4-м маркам каждого турбогенератора):

- ТГ-1 - 5,7 мм;
- ТГ-2 – 7,5 мм;
- ТГ-3 – 4,0 мм;
- ТГ-4 - 6,7 мм.

Радиаторные охладители (ВКУ-1,2 и ВКУ-3,4)

Начало наблюдений 07.1977 г.

Суммарные осадки с начала наблюдений по 2013 г.:

- ВКУ-1,2 - от минус 55,0 до плюс 5,7 мм;

– ВКУ-3,4 - от минус 73,1 до плюс 23,7 мм.

Характер осадки ВКУ-1,2:

– с 1989 по 1995 годы - равномерная осадка со скоростью 2-4 мм в год;

– 1996 г. - подъем на величину от 0 до 17 мм (марка 1), для части марок осадка до 10 мм (марки 4-6);

– с 1997 по 2006 г. – осадка от 6 до 13 мм, средняя скорость осадки минус 2,0 мм/год;

– с 2006 по 2013 годы – подъем на величину от 5 до 53 мм.

Характер осадки ВКУ-3,4:

– с 1989 по 1995 г. – осадка марок 4 и 5 на величину 4-10 мм, осадка остальных марок 16-30 мм;

– 1996 г. – для части марок (марки 1 и 2) подъем до 14,5 мм или слабая осадка до 3 мм (марки 3 и 11), для остальных марок (4-10) усиленная осадка от 13 до 31 мм;

– с 1997 по 2006 г. – осадка от 14 до 24 мм;

– с 2006 по 2013 г. – подъем на величину от 16 до 84 мм (марка 5).

Для сооружений радиаторных охладителей характерна значительная по сравнению с другими сооружениями и неравномерная осадка, причем минимальные осадки соответствуют северной (ряд И), максимальные – южной (ряд А) стороне сооружения.

Направление наклона южное.

Азотно-кислородная станция с дизельгенераторной

Начало наблюдений 07.1977 г.

Суммарные осадки с начала наблюдений от 8 мм (марка 1) до 56 мм (марка 6).

Характер осадок: в основном равномерная осадка в течение всего периода со скоростью 1-3 мм в год, с 1997 по 1998 г. стабилизация осадки.

Допустимые и фактические значения осадок приведены в таблице П8.2.4.1.1.

Таблица П8.2.4.1.1 – Допустимые и фактические значения осадок

| Наименование сооружений | Допустимая величина осадки, см | Фактическая величина осадки, см |
|--|---|-----------------------------------|
| Реакторное отделение | 10 – за период эксплуатации 20 – за период строительства | Мах – 6,7 (м 8) Средн. – 3,5 |
| Деаэрационно-щитовое отделение, машинный зал, ЗРУ | 12 | Мах – 3,85 (м 10) Средн. – 2,3 |
| Объединенно-вспомогательный корпус | 12 | Мах – 1,94 (м 18) Средн. – 2,3 |
| Служебно-бытовой корпус с заглубленным убежищем ГО | 8 | Мах – 2,5 (м 10) Средн. – 2,0 |
| Радиаторные охладители ВКУ-1,2 | 12 | Мах – 6,97 (м 10) Средн. – 4,5 |
| Радиаторные охладители ВКУ-3,4 | 12 | Мах – 10,5 Средн. – 7,33 |
| Азотно-кислородная с дизельгенераторной | 10 | Мах – 4,25 (м 2) Средн. – 2,7 |

| Наименование сооружений | Допустимая величина осадки, см | Фактическая величина осадки, см |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Турбоагрегаты | - | Мах – 1,48 |
| ТГ-1 | | Средн. – 1,3 |
| ТГ-2 | | Мах – 2,27 |
| ТГ-3 | | Средн. – 1,72 |
| ТГ-4 | | Мах – 1,06 |
| | | Средн. – 0,93 |
| | | Мах – 0,6 |
| | | Средн. – 0,34 |

П8.2.4.2 Характеристики грунтов территории промплощадки

На территории промплощадки широко распространены четвертичные отложения, представленные техногенными, делювиальными, делювиально-солифлюкционными и элювиальными грунтами мощностью от 3 до 5 м, перекрывающими коренные породы верхнего триаса.

Техногенные грунты представлены крупнообломочными разностями – щебнем, дресвой с супесчаным заполнителем, имеют в основном массивную криогенную текстуру.

Делювиальные и делювиально-солифлюкционные отложения обладают достаточно высокой льдистостью. Для них характерна корковая, массивная и сетчатая криотекстура. Мощность линз и прослоев льда от 1 мм до 10-40 см. Часто встречаются включения льда в виде гнезд диаметром до 5-8 см. Льдистость за счет ледяных включений до 0,30.

Элювиальные грунты на исследуемой площади развиты повсеместно. Гранулометрический состав элювиальных грунтов определяется степенью устойчивости скальных пород к процессу криогенного выветривания. Для этих грунтов характерна слоистость, свойственная коренным породам. В элювиальных грунтах лед является цементом, криотекстуры меняются от корковой для обломков, до сетчатой в заполнителе. Льдистость грунтов за счет ледяных включений менее 0,20.

Скальные породы верхнетриасового возраста представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами. В целом, они характеризуются как трещиноватые. Наибольшая льдистость характерна для интервалов, залегающих в верхней части массива, на глубине до 4-7 м (зона интенсивной трещиноватости), а также приуроченных к зонам тектонических нарушений. Лед в породах выполняет трещины, отмечается и открытая трещиноватость. В зонах дробления лед в виде цемента в глинисто-дресвяном материале. В общем, криогенная текстура коренных пород – трещинная.

Освоение изучаемой территории не привело к активизации криогенных (в т.ч. солифлюкционных) процессов на участке склона, за исключением поймы, где образуются техногенные наледы. В отсыпках, сделанных при строительстве объектов АЭС, дорог и линий коммуникации, отмечаются небольшие термоэрозионные промоины. Слабое проявление криогенных процессов на изучаемой территории объясняется тем, что склон сухой, хорошо дренирован, на большей части склона высокольдистые отложения сняты.

Гравитационные, склоновые процессы на площадке отсутствуют. На площадке нет оползней, обвалов, осыпей, солифлюкции, складчатых деформаций, выпоров [12].

В естественных условиях карстовые, суффозионные и суффозионно-карстовые процессы отсутствуют. На площадке нет предпосылок для развития этих процессов под влиянием изложенных факторов [12].

Основными критериями стабильности оснований сооружений являются глубина чаши протаивания, физико-механические свойства оттаявших и мерзлых грунтов, и как следствие величины осадок сооружений.

В проекте предусмотрен и фактически осуществлен II принцип использования вечномёрзлых грунтов с допущением оттаивания в процессе эксплуатации здания.

Строительство и эксплуатация сооружений промплощадки АЭС в течение более 20 лет вызвали определенные изменения природного состояния грунтов. К наиболее изменяемым факторам относятся:

- температурный режим в основании сооружений;
- гидрогеологические и геокриологические условия грунтов в основании сооружений;
- физико-механические свойства грунтов в основании сооружений.

Температурный режим пород под сооружениями зависит от температуры воздуха в помещениях и обогревающего воздействия «станционных вод».

Температурное поле весьма неоднородно по глубине, по площади и во времени на протяжении годового цикла. По данным наблюдений 2006 г. под фундаментом главного корпуса Билибинская АЭС максимальное значение температуры наблюдалось в непосредственной близости от фундамента и составило плюс 20,2 °С.

Натурные наблюдения на территории Билибинской АЭС подтвердили существование чаш оттаивания под сооружениями. Максимальные глубины чаш оттаивания наблюдаются под центральными частями зданий и составляют под зданиями радиаторных охладителей 55,5 м, а под главным корпусом 51,0 м по состоянию на 2006 г.

Натурные наблюдения за изменением уровня грунтовых вод, определение влияния подземных вод на дальнейшее развитие «чаш оттаивания» под главным корпусом и радиаторными охладителями ведутся с помощью контрольно-измерительной аппаратуры.

Температурный режим пород основания главного корпуса и радиаторных охладителей анализируется по результатам замеров в 9 температурных скважинах.

По взаимоотношению с мерзлыми толщами на изучаемой территории разделяются воды надмерзлотные и воды «чаш оттаивания».

С 1993 г. глубина ореола оттаивания под северо-западным крылом главного корпуса остается постоянной. Глубина чаши оттаивания под главным корпусом составляет 50-51 м. Мощность обводненного слоя невелика: она определяется глубиной сезонного протаивания пород. В естественных условиях глубина сезонного протаивания не превышает 1,5-2,0 м. Водупором для них служит верхняя граница мерзлых пород.

Уровень грунтовых вод под главным корпусом колеблется от 311 до 317 м (абсолютная отметка) с ежегодной периодичностью. Максимальное значение уровня приходится на июнь — июль, минимальное на декабрь — январь.

Отмеченные до настоящего времени уровни грунтовых вод в чаше оттаивания не нарушают каких-либо требований по ядерной и радиационной безопасности.

Чаши оттаивания под главным корпусом и радиаторными охладителями соединились в единую чашу. Максимальная расчетная глубина чаши оттаивания под главным корпусом за 50-летний период ожидается равной 100 м.

По заключению ВНИИОСП глубина оттаивания под главным корпусом и радиаторными охладителями значительно превышает глубину распространения сжимаемой толщи от здания. Следовательно, дальнейшее развитие чаш оттаивания не приведет к дополнительным осадкам фундаментов указанных сооружений.

П8.2.5 ИСТОЧНИКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ БИЛИБИНСКОЙ АЭС

П8.2.5.1 Использование воздушного пространства в районе площадки Билибинская АЭС

Полеты над площадкой АЭС запрещены (приказ Минтранса России от 24.09.2010 № 204 «Об установлении запретных зон». В районе расположения Билибинской АЭС установлена запретная зона UHP 301).

В период с 1991 по 1992 годы ФЭИ совместно с ГосНИИ ГА был проведен комплекс работ по разработке расчетных моделей и определению вероятностных показателей аварии с падением воздушного судна на главное здание Билибинской АЭС [13-15]. Для расчета использованы данные по структуре местного воздушно-транспортного сообщения в районе Билибинской АЭС и данные по статистике авиационных происшествий с гражданскими и военными летательными аппаратами за период с 1986 по 1991 годы. В результате этих исследований установлено, что повторяемость падения воздушного судна на здание реакторного отделения составляет около $5,5 \cdot 10^{-11}$ 1/год.

С момента последнего исследования воздушного пространства в районе Билибинской АЭС прошло более 25 лет, и за это время его структура изменилась. В таблице П8.2.5.1.1 приведено расписание движения воздушных судов ГП ЧАО «ЧукотАВИА» в 2017 году в из/в аэропорт «Кепервеем» (<http://chukotavia.com/ru/>). Данный аэропорт расположен на расстоянии около 30 км от промплощадки АЭС. Остальные аэропорты удалены от территории АЭС на расстояния сотен километров.

В непосредственной близости от Промплощадки АЭС проходят воздушные трассы полетов по маршрутам, связывающим аэропорты «Кепервеем» и «Певек». Прочие рейсы осуществляются на существенном удалении от территории АЭС.

Таблица П8.2.5.1.1 – Расписание движения воздушных судов ГП ЧАО «ЧукотАВИА» в 2017 году

| Рейс | Воздушные суда | Маршрут | Количество рейсов в 2017 году | Количество полетов судов по воздушной трассе |
|------------|----------------------------|--|-------------------------------|--|
| АД 25/26 | АН-24, АН-26 | Анадырь-Кепервеем-Анадырь | 64 | 128 |
| АД 25 | АН-24, АН-26 | Анадырь-Кепервеем | 30 | 30 |
| АД 71/72 | АН-24, АН-26 | Кепервеем-Омолон-Кепервеем | 30 | 60 |
| АД 87/88 | АН-24, АН-26 | Кепервеем-Певек-Кепервеем | 30 | 60 |
| АД 26 | АН-24, АН-26 | Кепервеем-Анадырь | 30 | 30 |
| АД65/66 | МИ-8 | Кепервеем-Островное-Аньюиск-Островное-Кепервеем | 18 | 36 |
| АД 65А/66А | МИ-8 | Кепервеем-Островное-Кепервеем | 2 | 4 |
| АД 65В/66В | МИ-8 | Кепервеем-Аньюиск-Кепервеем | 2 | 4 |
| АД 67/68 | МИ-8 | Кепервеем-Илирней-Кепервеем | 29 | 58 |
| АД 69/70 | МИ-8 | Кепервеем-Бургахчан-Каэттын-Омолон-Каэттын-Бургахчан-Кепервеем | 8 | 16 |
| АД 69А/70А | МИ-8 | Кепервеем-Бургахчан-Каэттын-Омолон-Кепервеем | 4 | 8 |
| АД 71/72 | МИ-8 (DHC-6, АН-24, АН-26) | Кепервеем-Омолон-Кепервеем | 18 | 36 |
| АД 71А/72А | МИ-8 | Кепервеем-Омолон-Каэттын-Бургахчан-Кепервеем | 4 | 8 |
| АД 87/88 | МИ-8 (DHC-6, АН-24, АН-26) | Кепервеем-Певек-Кепервеем | 24 | 48 |

Также осуществляется ряд межрегиональных рейсов по маршрутам:

- Москва-Анадырь и Анадырь-Москва (UT533/UT534, «ЮТэйр», Boeing767, 2 раза в неделю в обоих направлениях);
- Магадан-Кеperвеем и Кеperвеем-Магадан (Ю133/134, «ИрАэро», Ан24, 5 рейсов в неделю в обоих направлениях);
- Москва-Якутск-Певек и Певек-Якутск-Москва (R3 9733/R6 9734, «Якутия», Boeing737, 1-4 рейса в месяц в обоих направлениях);
- Москва-Новосибирск-Певек и Певек-Новосибирск-Москва (6R 9977/6R 9978, «Алроса», 3-4 рейса в месяц в обоих направлениях).

Регулярные международные рейсы аэропорты Чукотского автономного округа не принимают.

Над территорией Чукотского автономного округа проходят транзитные маршруты из Китая и Республики Корея в США (рисунки П8.2.5.1.1-П8.2.5.1.4). В районе аэропортов села Кеperвеем (и в непосредственной близости от Билибинской АЭС) и города Певека проходят воздушные трассы из аэропортов восточного побережья северного Китая (Пекин) и Республики Корея (Сеул) в аэропорты востока США (Нью-Йорк, Детройт).

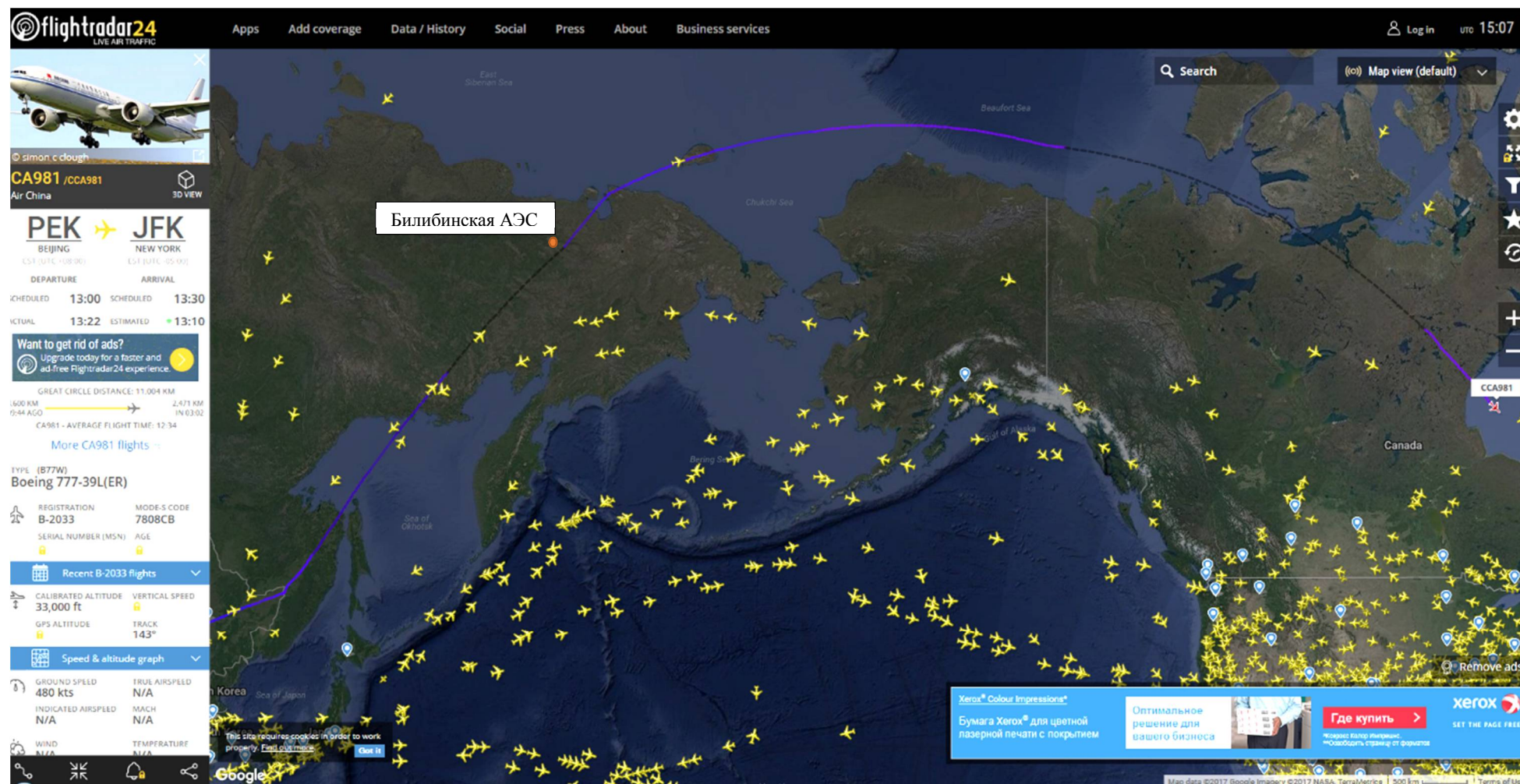


Рисунок П8.2.5.1.1 – Поток воздушных судов над северной части Тихого океана и Ледовитого океана. Показана трасса самолета Boeing 777 авиакомпании Air China по маршруту Пекин-Нью-Йорк, проходящей в непосредственной близости от промплощадки Билибинской АЭС (20 ноября 2017 г.)

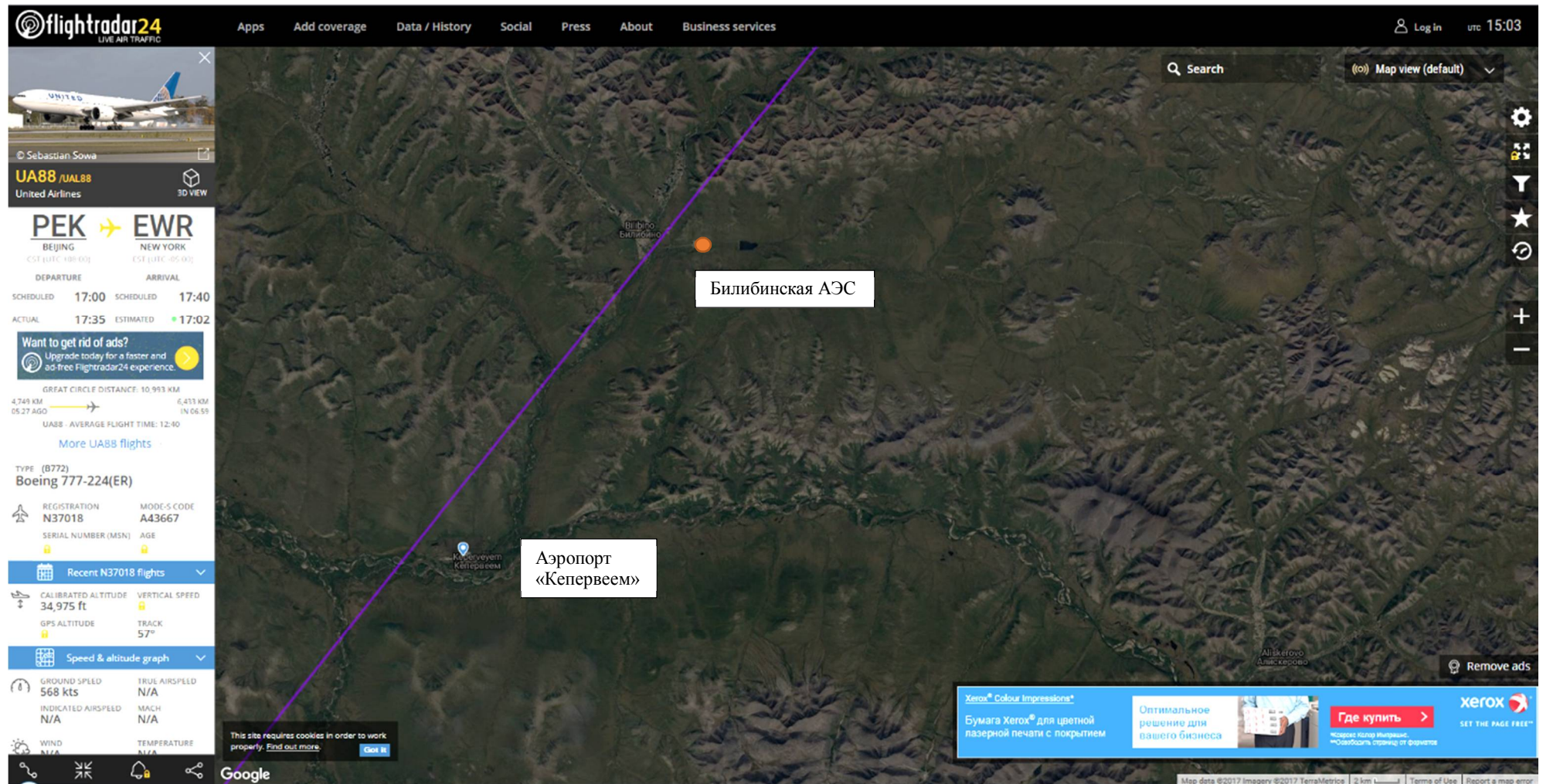


Рисунок П8.2.5.1.2 – Воздушная трасса самолета Boing 777 авиакомпании United Airlines по маршруту Пекин-Нью-Йорк, проходящей в непосредственной близости от промплощадки Билибинской АЭС (20 ноября 2017 г.)

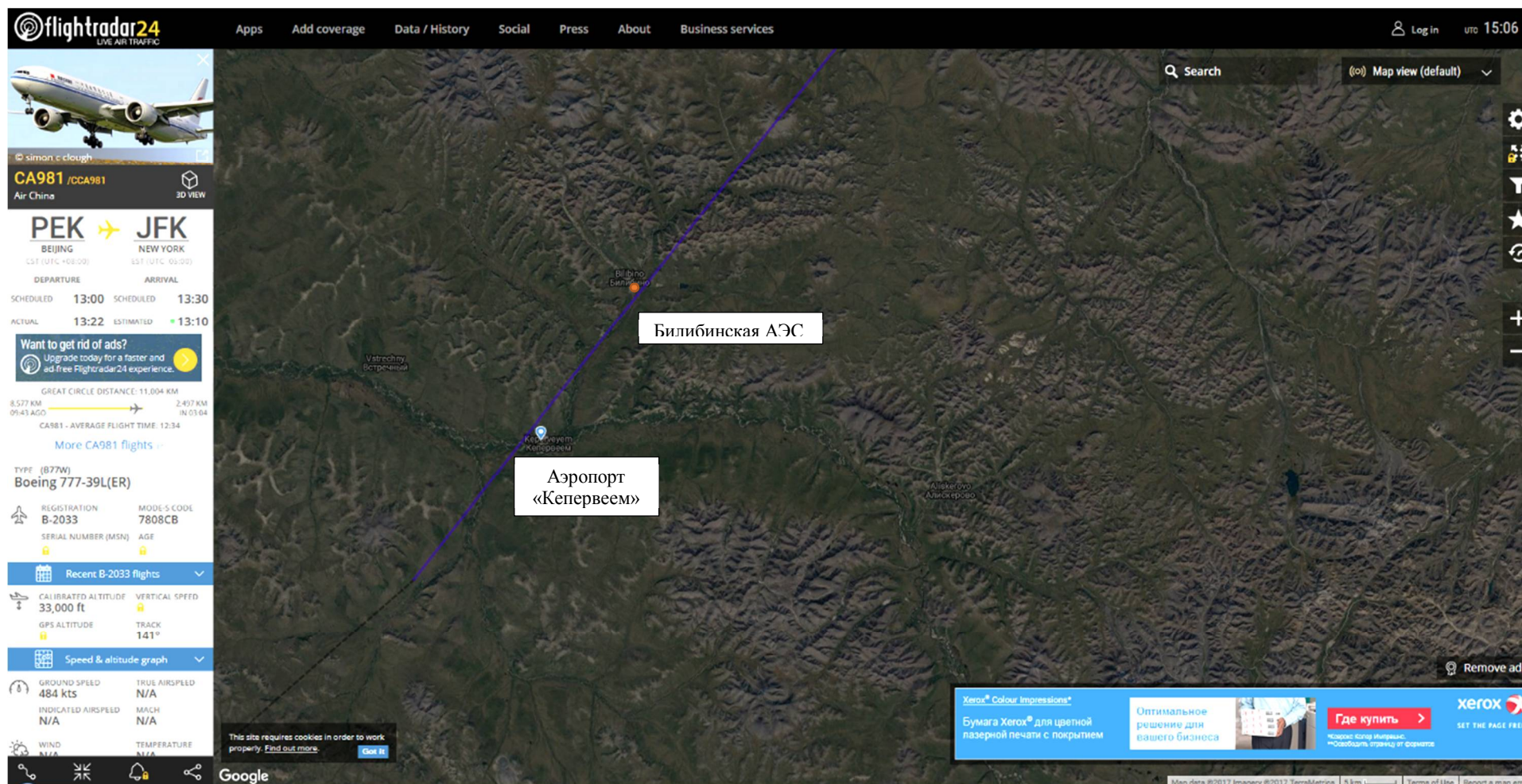


Рисунок П8.2.5.1.3 – Воздушная трасса самолета Boing 777 авиакомпании Air China по маршруту Пекин-Нью-Йорк, проходящей в непосредственной близости от промплощадки Билибинской АЭС (20 ноября 2017 г.)

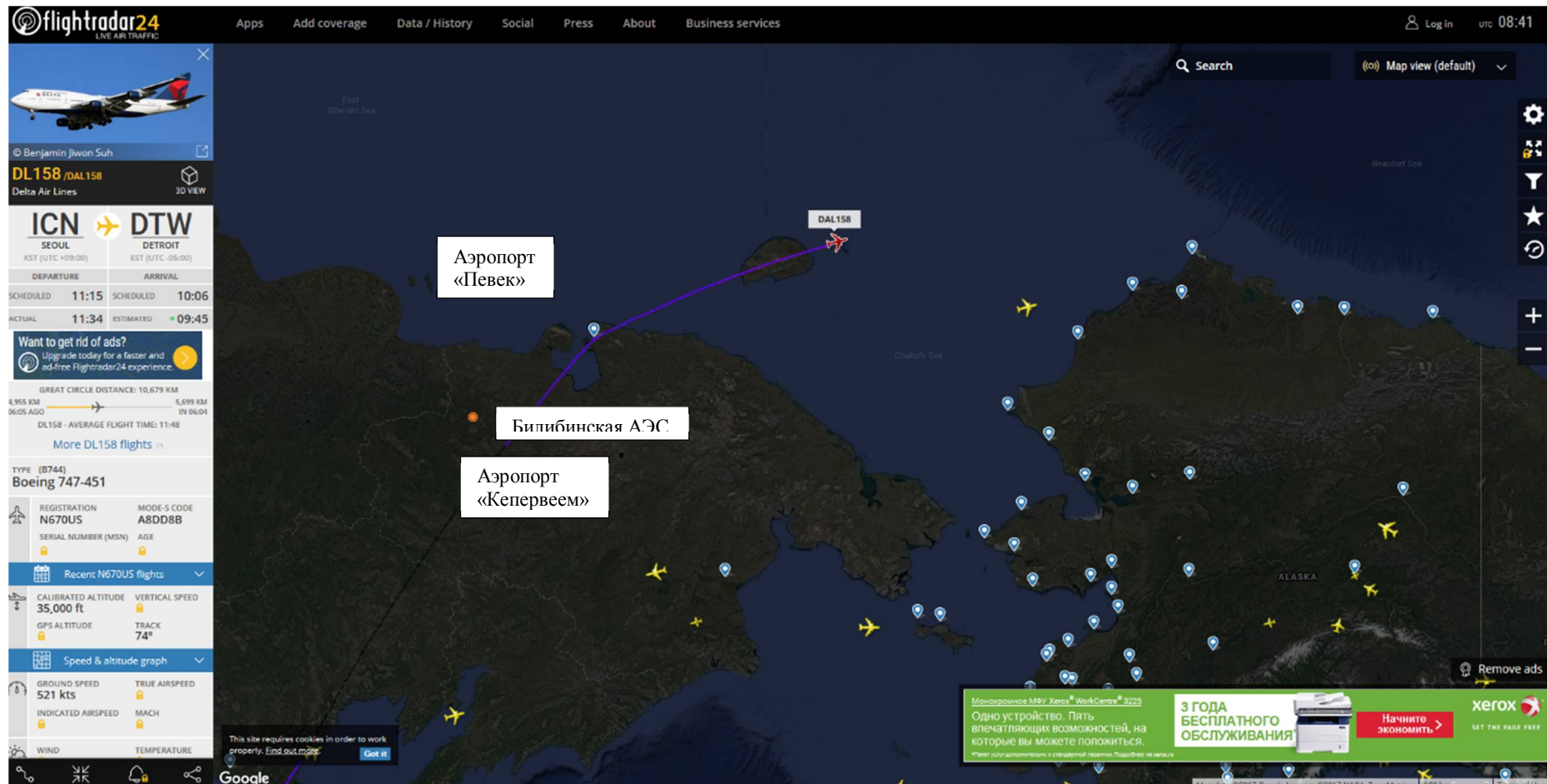


Рисунок П8.2.5.1.4 – Воздушная трасса самолета Boeing 747 авиакомпании Delta Air Lines по маршруту Сеул-Детройт, проходящей в непосредственной близости от промплощадки Билибинской АЭС (21 ноября 2017 г.)

П8.2.5.2 Железные дороги

В зоне 30 километров от площадки размещения Билибинской АЭС железные дороги отсутствуют.

П8.2.5.3 Автомобильные дороги

Схема автомобильных дорог в районе Билибинской АЭС приведена на рисунке П8.2.5.3.

Билибинская АЭС связана с г. Билибино щебеночной автодорогой.

На расстоянии 1,65 км от границы промплощадки АЭС проходит автодорога с покрытием, проложенная из аэропорта в селе Кепервеем в поселок городского типа Встречный (ликвидирован в 2008 году). Дорога проходит через город Билибино, на прииск «Каральвеем».

На расстоянии 2,1 км от границы промплощадки АЭС проходит зимник в село Илирней через поселок городского типа Алискерово.

В обход промплощадки АЭС проходит зимник продленного действия в Певек и Анадырь.

Город Билибино связан автозимниками с портами "Певек" и "Зеленый мыс" протяженностью 378 и 286 км соответственно.

В 2012 году начато строительство дороги Колыма — Омсукчан — Омолон — Анадырь с подъездами к Билибино, Комсомольскому и Эгвекиноту. Схема перспективной возможной дороги приведена на рисунке П8.2.5.3.2. Участок соединения данной дороги с городом Билибино, согласно схеме, пройдет по зимнику продленного действия Билибино - Певек.

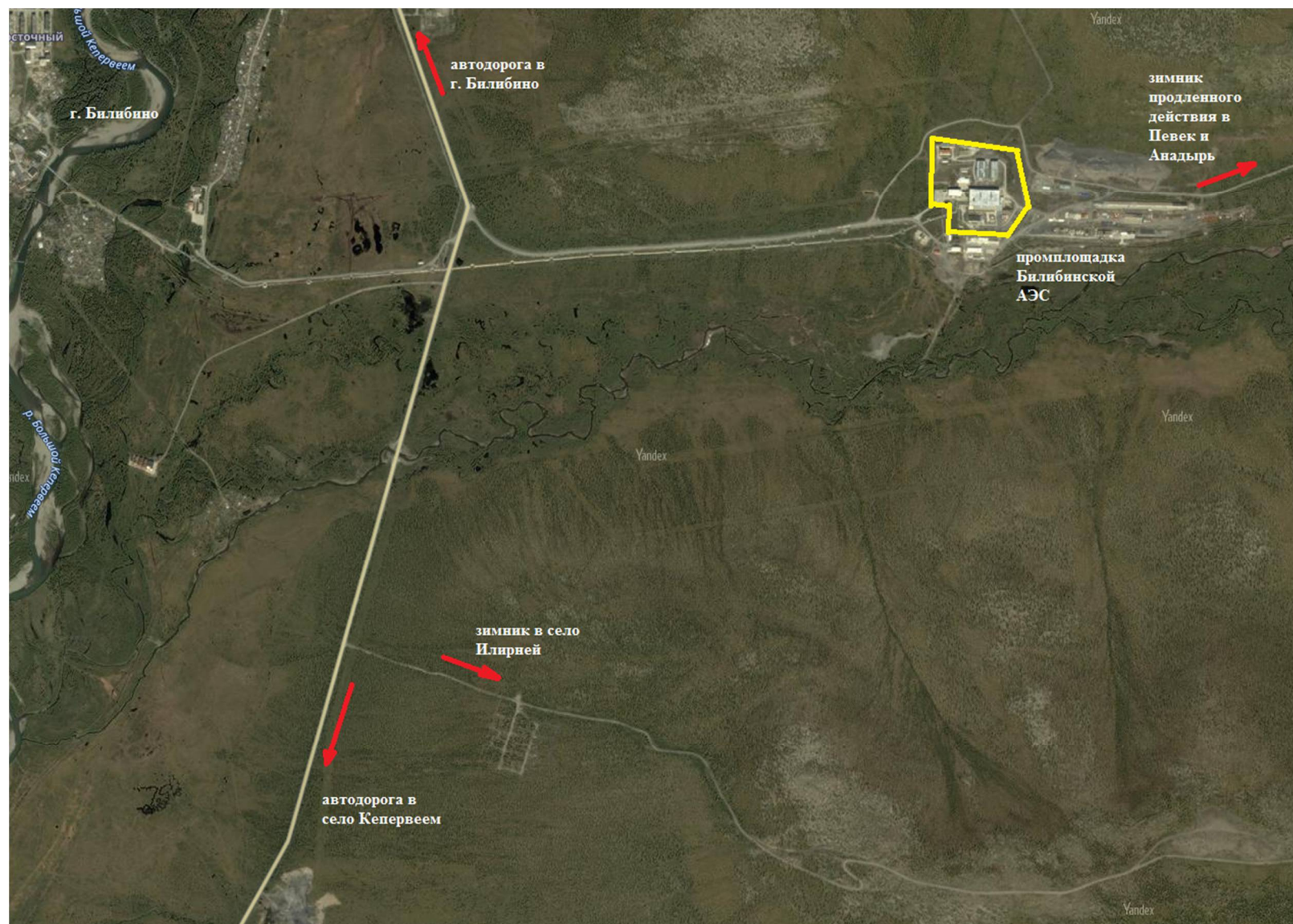


Рисунок П8.2.5.3.1 – Карта дорог в районе Билибинской АЭС

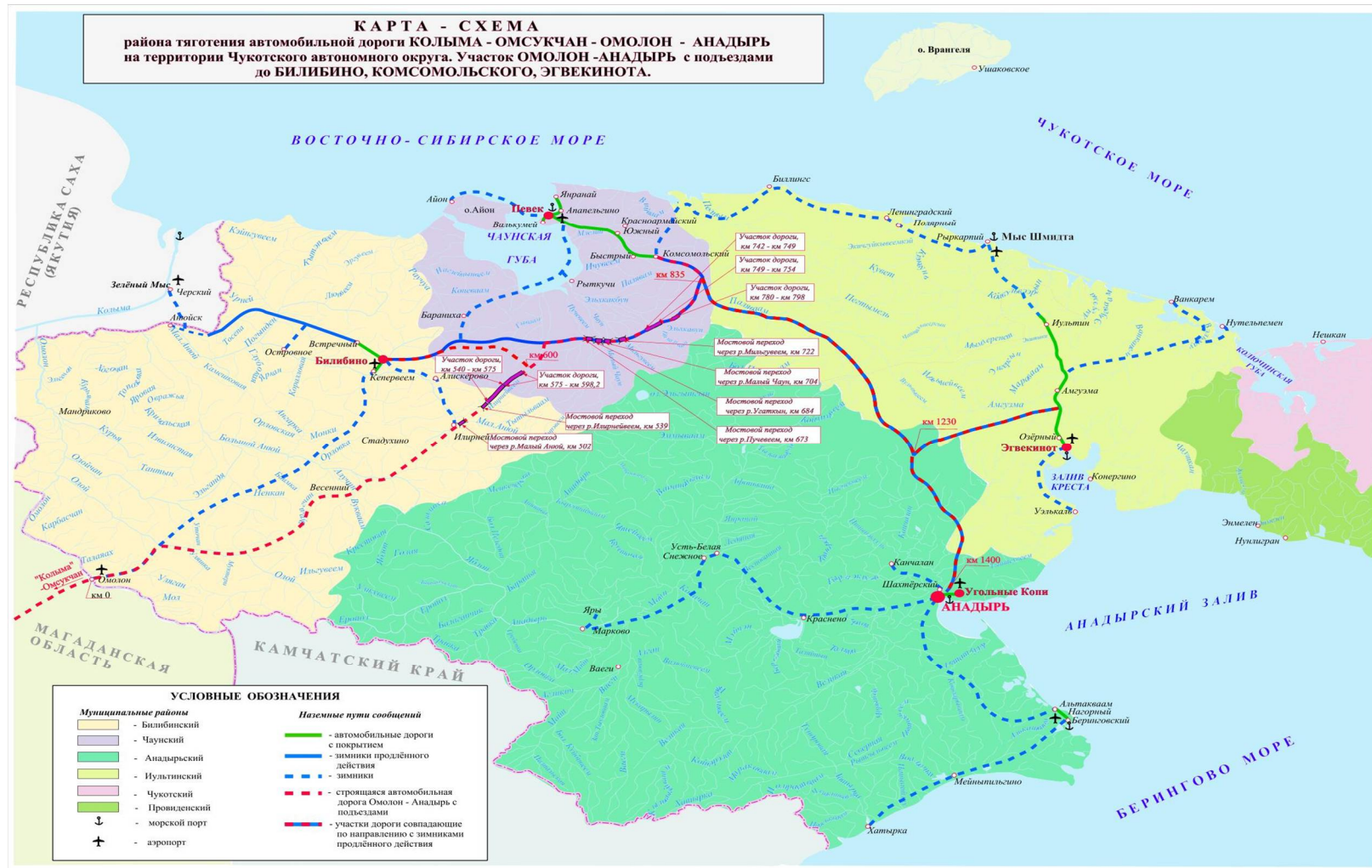


Рисунок П8.2.5.3.2 – Карта-схема дороги Колыма — Омсукчан — Омолон — Анадырь (участок Омолон-Анадырь) с подъездами к Билибино, Комсомольскому и Эгвекиноту

П8.2.5.4 Речной транспорт

В зоне 30 километров от площадки Билибинской АЭС есть только одна ограниченно судоходная река – Малый Анюй, на которой выполняется судоходство от села Кепервеем (28 км от Билибинской АЭС) и выше по течению для судов с осадкой до 30 см.

П8.2.5.5 Трубопроводы

В районе размещения площадки Билибинской АЭС отсутствуют магистральные нефтепроводы, газопроводы и продуктопроводы.

Из внешних трубопроводов присутствует только теплотрасса протяженностью 4 км от АЭС к городу Билибино. На безопасность и надежность АЭС она не влияет. Теплотрасса пересекает шоссе и реку Кепервеем. Параллельно теплотрассе проходит автодорога. Средняя частота потери теплотрассы – один раз в 20 лет.

П8.2.5.6 Электросеть. Источники электромагнитных воздействий

Билибинская АЭС является центральным звеном в изолированной Чаун – Билибинской энергосистеме и связана высоковольтной линией 110 кВ с портами «Певек» и «Зеленый мыс». В состав узла кроме Билибинской АЭС входит Чаунская ТЭЦ (установленная электрическая мощность 34,5 МВт). Общая протяженность линий составляет около 800 км.

Кроме этой ВЛ имеется несколько линий 35 кВ, через которыми посредством электроподстанций обеспечивается электроснабжение основных потребителей.

Средняя частота потери внешнего электроснабжения - два раза в год.

Карта-схема чукотской энергосистемы приведена на рисунке П8.2.5.6.1.



Рисунок П8.2.5.6.1 – Чукотская энергосистема

П8.2.5.7 Горючие, взрывоопасные и ядовитые вещества на промплощадке Билибинской АЭС и в районе размещения Билибинской АЭС

Перечень потенциально опасных объектов в районе размещения Билибинской АЭС приведен в таблице П8.2.5.7.1.

Таблица П8.2.5.7.1 – Перечень потенциально опасных объектов

| Наименование объекта | Характеристика объекта | Расстояние от объекта до площадки АЭС, м |
|---|--|--|
| Военные объекты, воздушное пространство, используемое в качестве полигона для бомбометания в 30 км зоне от площадки АЭС | Нет | - |
| Наличие складов ВВ в 10 км зоне | Базисный постоянный расходный склад ВМ АО «Билибинский ГОК» Масса ВВ – 120 т | 8 000 |
| Автомобильные дороги общего назначения | Автомодороги Билибино-Кепервеем Провоз ВВ автомобильным транспортом. Масса ВВ – 12,6 т Провоз бензина автоцистерной объемом $V = 14 \text{ м}^3$ | 1800 |
| Промышленно опасные объекты в 5 км зоне | Нет | - |
| Наличие складов ГСМ в 5 км зоне | ГП СУБАЭС ул. Механизаторов. $V = 300 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 900 \text{ м}^3$. Дизтопливо. | 5650 |
| | ОАО «Чукотское АТП» ул. Механизаторов. $V = 25 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 75 \text{ м}^3$. Дизтопливо, бензин. | 5650 |
| | ОАО «Билибинремтехснаб» ул. Механизаторов. $V = 75 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 300 \text{ м}^3$. Дизтопливо. | 5500 |
| | БУП «Дорожное предприятие» ул. Дорожников. $V = 60 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 240 \text{ м}^3$. Дизтопливо, бензин. | 5000 |
| | МУП «БУМ» ул. Механизаторов. $V = 15 \text{ м}^3$ | 5700 |
| | ОАО «Билавто» ул. Речная $V = 200 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 1040 \text{ м}^3$. Бензин. | 4700 |
| | БМП «АТП» ул. Механизаторов. $V = 25 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 65 \text{ м}^3$. Бензин. | 5100 |
| | АГТП ул. Южная. $V = 425 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 925 \text{ м}^3$. Дизтопливо, бензин. | 3600 |
| | ЗАО «Северные рудные технологии» $V = 515 \text{ м}^3$ $V_{\Sigma} = 15\,266 \text{ м}^3$. Дизтопливо. | 10400 |
| | Топливный резервуар № 1. Объем $V = 100 \text{ м}^3$. Топливо – дизельное. Количество – 2 шт. | 800 |

| Наименование объекта | Характеристика объекта | Расстояние от объекта до площадки АЭС, м |
|---|------------------------|--|
| Места хранения токсичных или едких веществ в районе Билибинской АЭС | Нет | - |

П8.2.5.8 Пожароопасность района размещения Билибинской АЭС

Метеоплощадка расположена на южном склоне крутизной 10-12°. К северу от площадки в 200 м. проходит граница поле-лес, за которой - редкий лиственный лес, кедровый стланник. К востоку – поле (вырубка), южнее площадки - поле.

П8.2.6 ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ НА БИЛИБИНСКОЙ АЭС

П8.2.6.1 Общая характеристика Билибинской АЭС

Площадка Билибинской АЭС расположена на искусственно террасированной поверхности, имеющей уклон в сторону долины руч. Бол. Поннеурген и отделенной от его поймы уступом высотой до 7 м. Абсолютные отметки площадки колеблются от 305,00 до 350,00 м.

Инженерные сети по площадке Билибинской АЭС трассированы в основном надземно. Водоводы проложены в изоляции с тепловым спутником. Теплотрассы уложены на бетонных опорах и, где необходимо, в каналах. В связи с тем, что указанные коммуникации эксплуатируются с 1974 г., проложен новый участок надземных трасс водоводов и теплопроводов, заменяющий аварийные участки, и проходящий вдоль южной части ограждения промплощадки. Канальный участок, проходивший по территории промплощадки от новой трассы до главного корпуса, заменен на эстакаду.

Естественный уклон промплощадки (склон 15°) определил расположение зданий и сооружений АЭС на трех террасах.

На первой, нижней террасе расположено здание центрального материального склада и подземные баки-хранилища жидких и сухих радиоактивных отходов. Баки ХЖРО расположены на отметках в зоне вечной мерзлоты.

На второй террасе находится главный корпус, административно-бытовой корпус и здание, где расположены азотно-кислородная станция, дизель-генераторные установки и аппаратная маслохозяйства.

На третьей верхней террасе установлены резервуары для хранения масла и два здания радиаторных охладителей, между которыми стоят опоры ЛЭП-110.

Установленная электрическая мощность Билибинской АЭС - 48 МВт при одновременном отпуске теплоты 78 МВт (67 Гкал/ч). Максимальный, по возможностям отборов пара из турбины и теплообменного оборудования, отпуск теплоты - до 116 МВт (100 Гкал/ч) при снижении электрической мощности станции до ~ 38 МВт.

Билибинской АЭС состоит из четырех однотипных энергоблоков.

Для обеспечения минимальных строительных затрат все реакторы размещены в одном зале, принята контейнерная схема перегрузки ТВС, каналов и стержней СУЗ, позволившая отказаться от усиленных защитных стен по всей высоте здания, ограничившись защитным бетоном только вокруг шахты реактора и бокса барабана-сепаратора.

С момента пуска первого энергоблока Билибинской АЭС работает по диспетчерскому графику, участвуя в покрытии переменной части графика нагрузки ЧБЭУ. Мощность энергоблоков, выбранных для работы в режиме переменных нагрузок (в

режиме поддержания напряжения и частоты в сети), меняется оператором в диапазоне 50-100 % 3-4 раза в сутки по числу максимумов в графике нагрузки энергоузла.

Реакторная установка допускает:

- пуск и вывод на мощность в ручном режиме управления;
- автоматическое поддержание уровня мощности и перевод с одного уровня на другой в пределах от 2 до 105 % $N_{ном}$, а также перевод управления на ручное на любом уровне мощности;
- быстрое снижение мощности в аварийных режимах посредством ввода стержней СУЗ в активную зону с необходимыми скоростями по сигналам АЗ первого рода и АЗ второго рода;
- повторный подъем мощности после сброса мощности, в том числе и после аварийного ввода стержней СУЗ, без ограничения времени после сброса мощности.

Для Билибинской АЭС применена одноконтурная схема с циклом насыщенного пара. Пароводяная смесь поступает из реактора в барабан-сепаратор. Из него пар непосредственно подается на турбину. Для осушки пара предназначен промежуточный сепаратор, включенный между цилиндрами высокого и низкого давления турбины.

После конденсатора турбины конденсат проходит эжекторный и сальниковый подогреватели, подогреватель низкого давления и через обессоливающий фильтр поступает в атмосферный деаэратор. Далее деаэрированная вода при температуре до 104 °С с помощью питательного насоса подается в контур естественной циркуляции.

Тепло от конденсатора турбины отводится водой, циркулирующей в специальном контуре и охлаждаемой наружным воздухом в радиаторных охладителях.

Уровень воды в барабане-сепараторе регулируется клапанами, установленными в питательном узле. Для предотвращения повышения уровня воды в барабане-сепараторе выше максимально допустимого в схеме предусмотрен трубопровод аварийного сброса воды в конденсатор, который открывается автоматически.

Трехмерная модель промплощадки Билибинской АЭС показана на рисунке П8.2.6.1.1. Трехмерная модель главного корпуса показана на рисунках П8.2.6.1.2-П8.2.6.1.6.

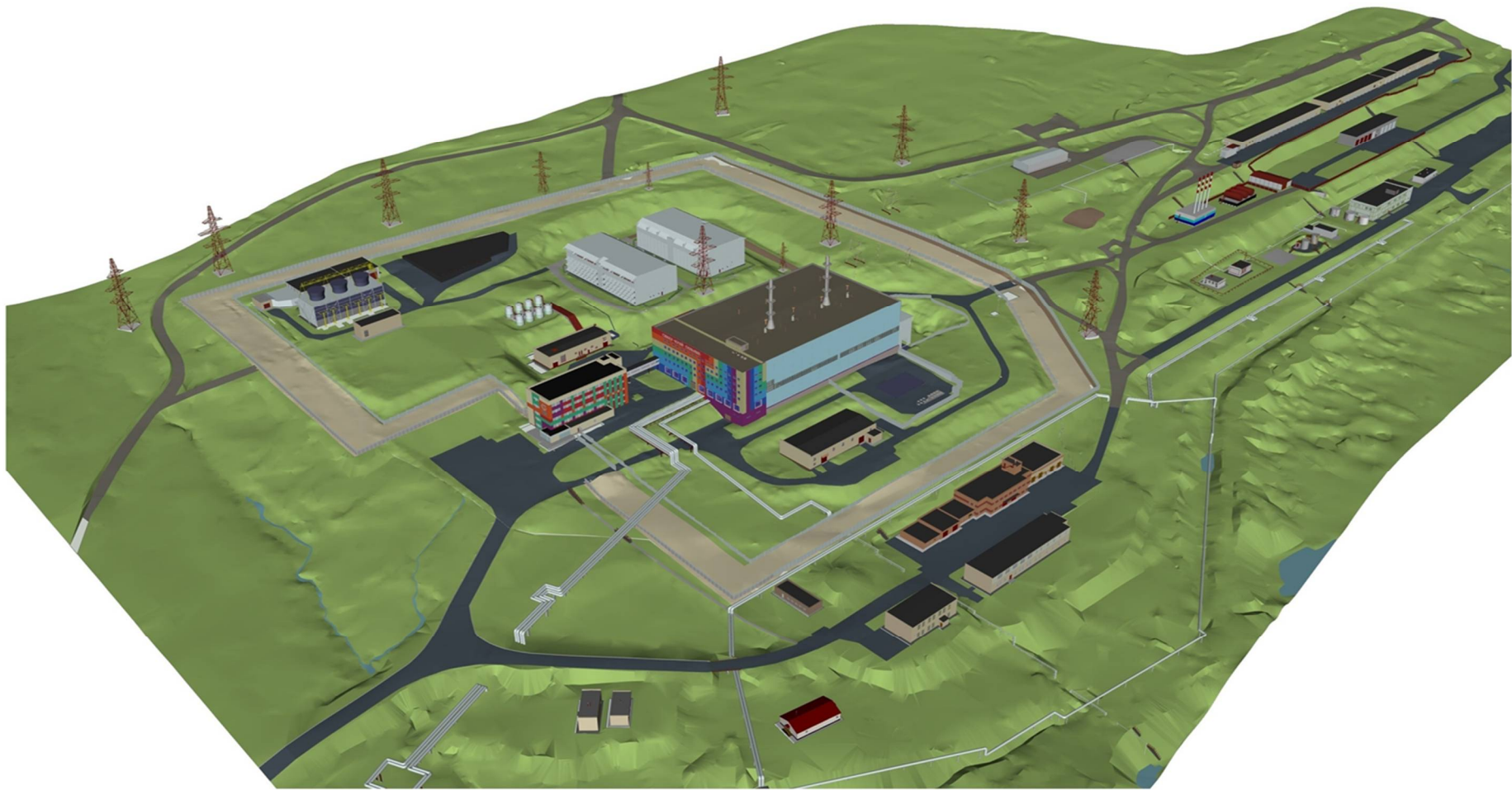


Рисунок П8.2.6.1.1 – Схема промышленной площадки Билибинской АЭС

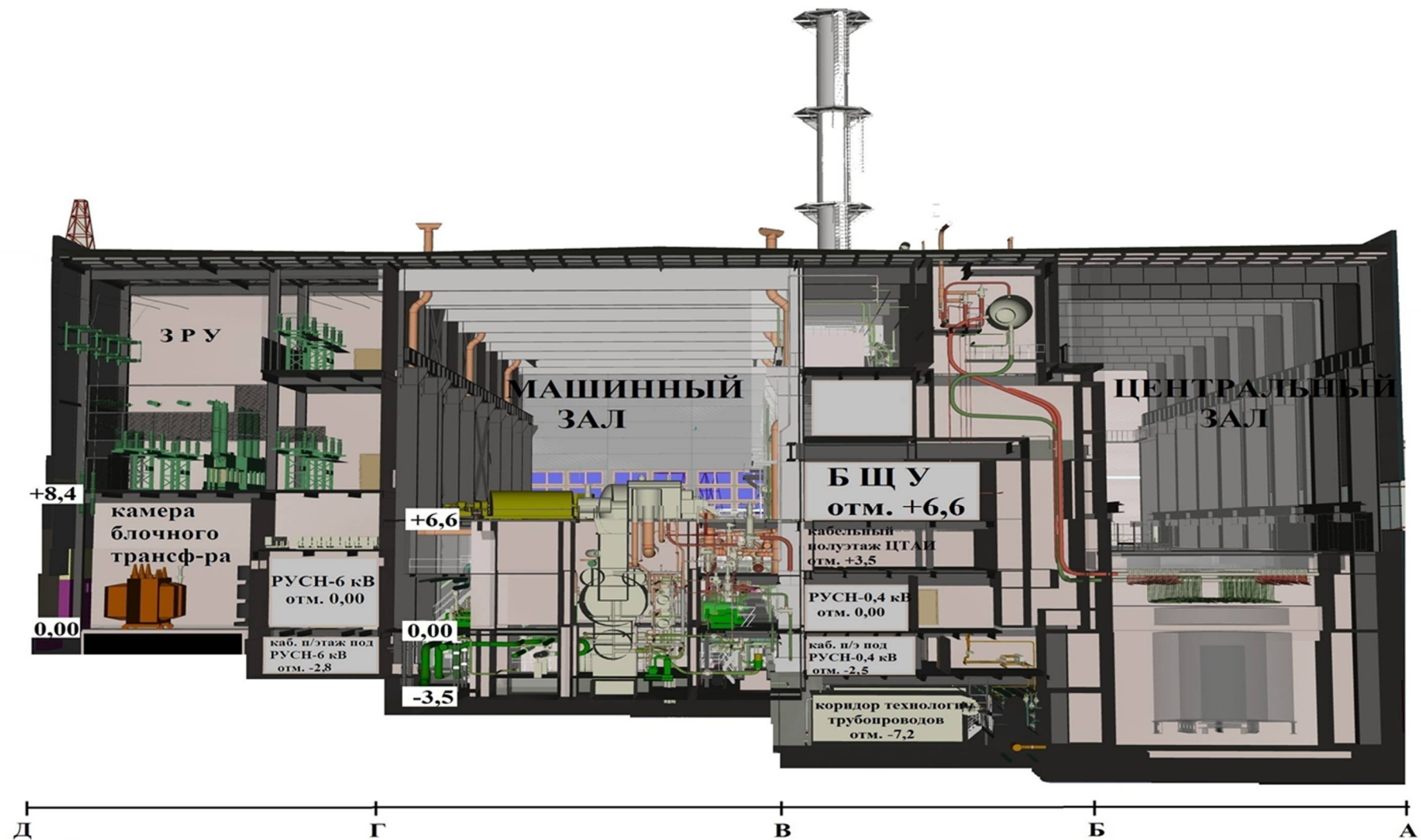


Рисунок П8.2.6.1.2 – Схема Главного корпуса (поперечный разрез по оси 9)

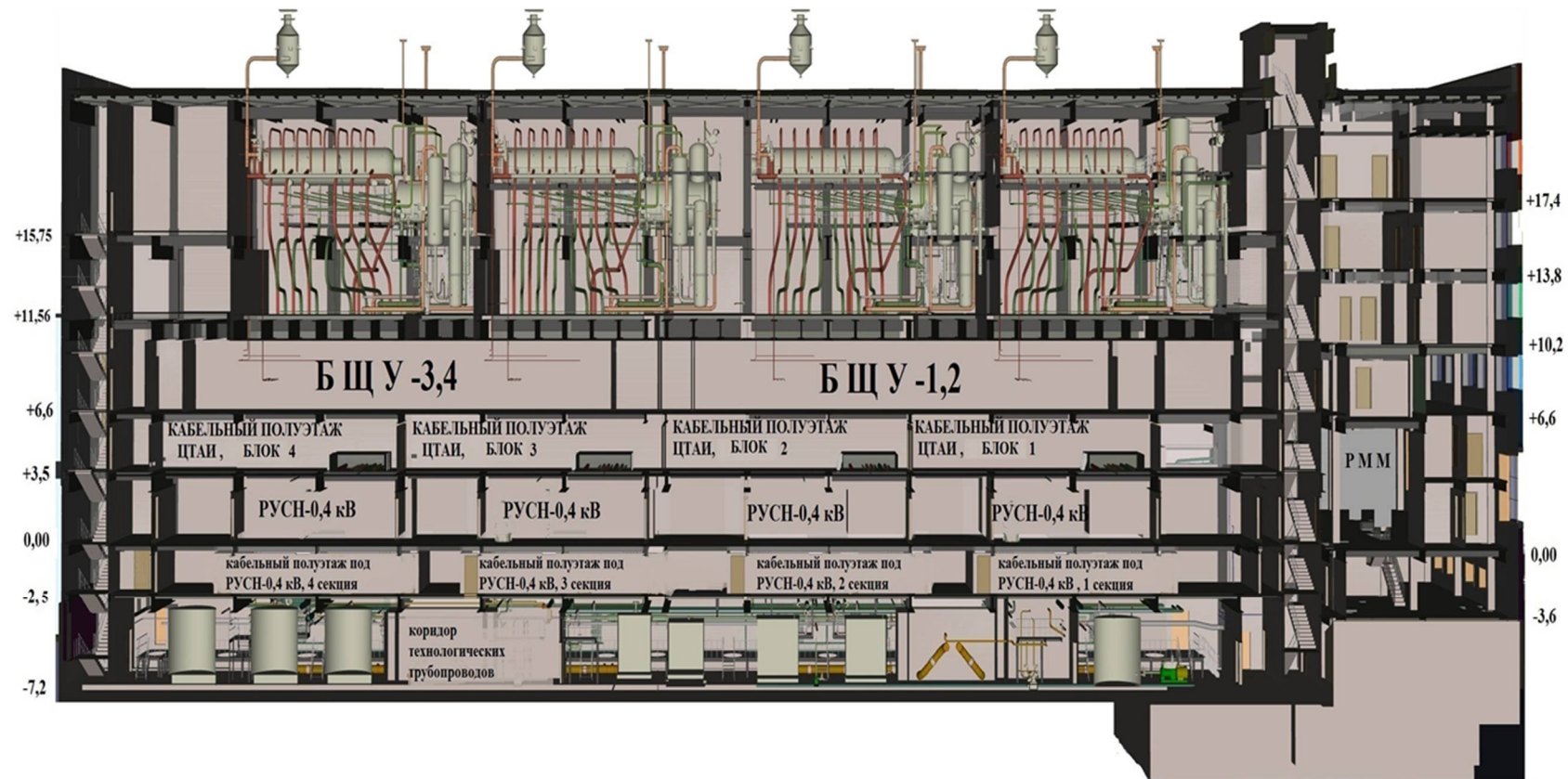


Рисунок П8.2.6.1.3 – Схема главного корпуса и ОВК (продольный разрез по ряду Б2)

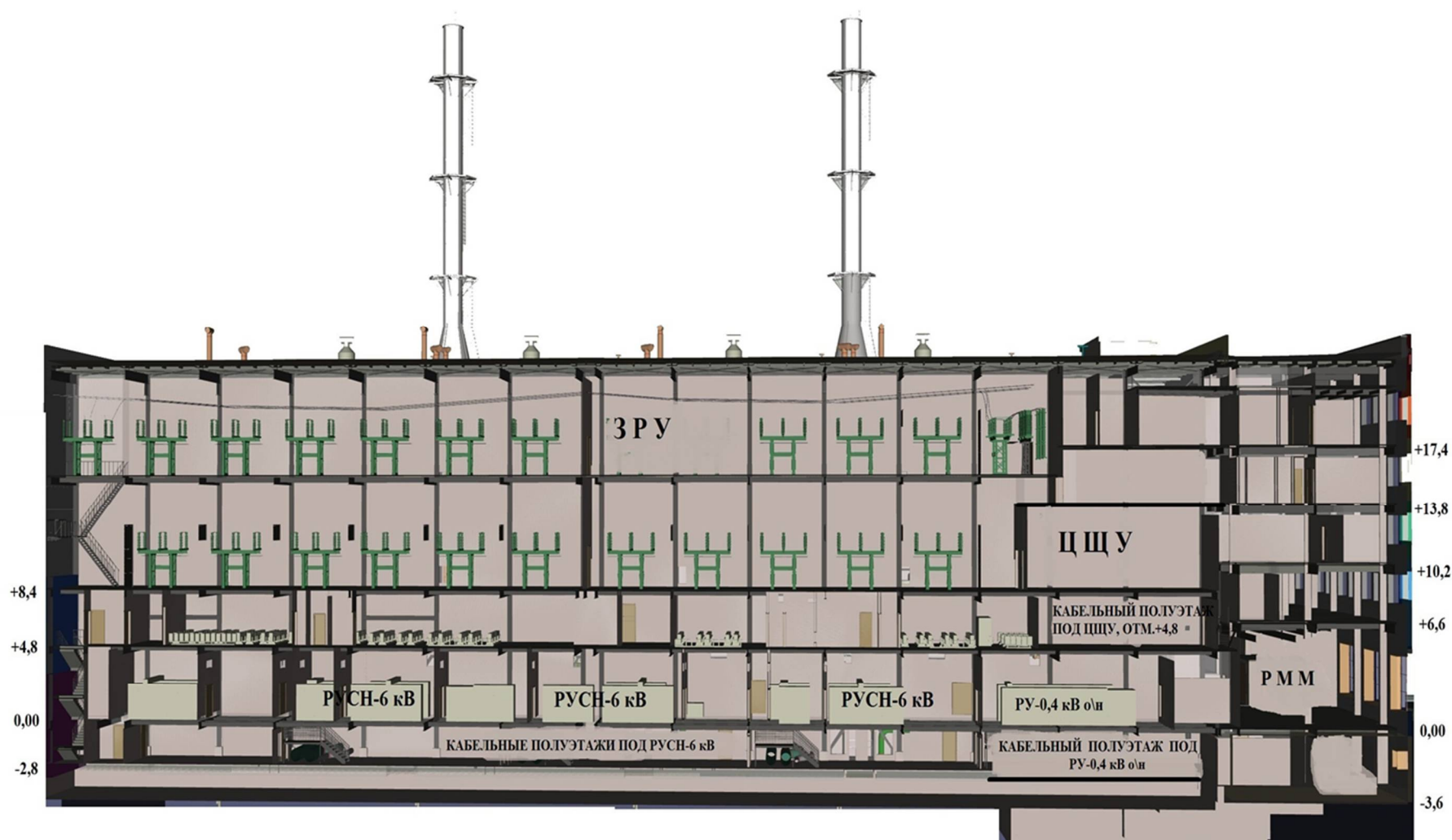


Рисунок П8.2.6.1.4 – Схема главного корпуса и ОВК (продольный разрез по ряду Г2)

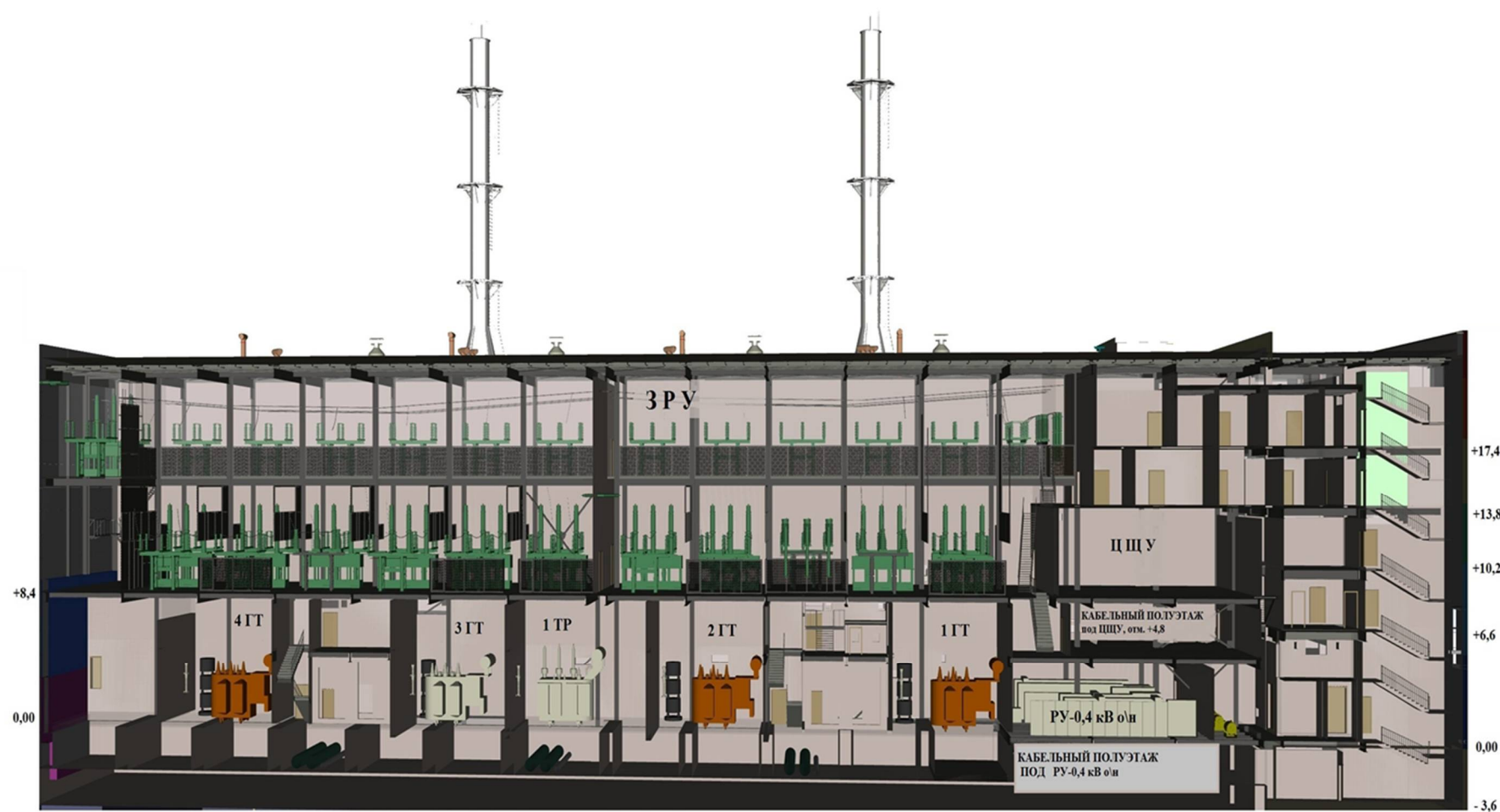


Рисунок П8.2.6.1.5 – Схема главного корпуса и ОВК (продольный разрез по ряду Д)

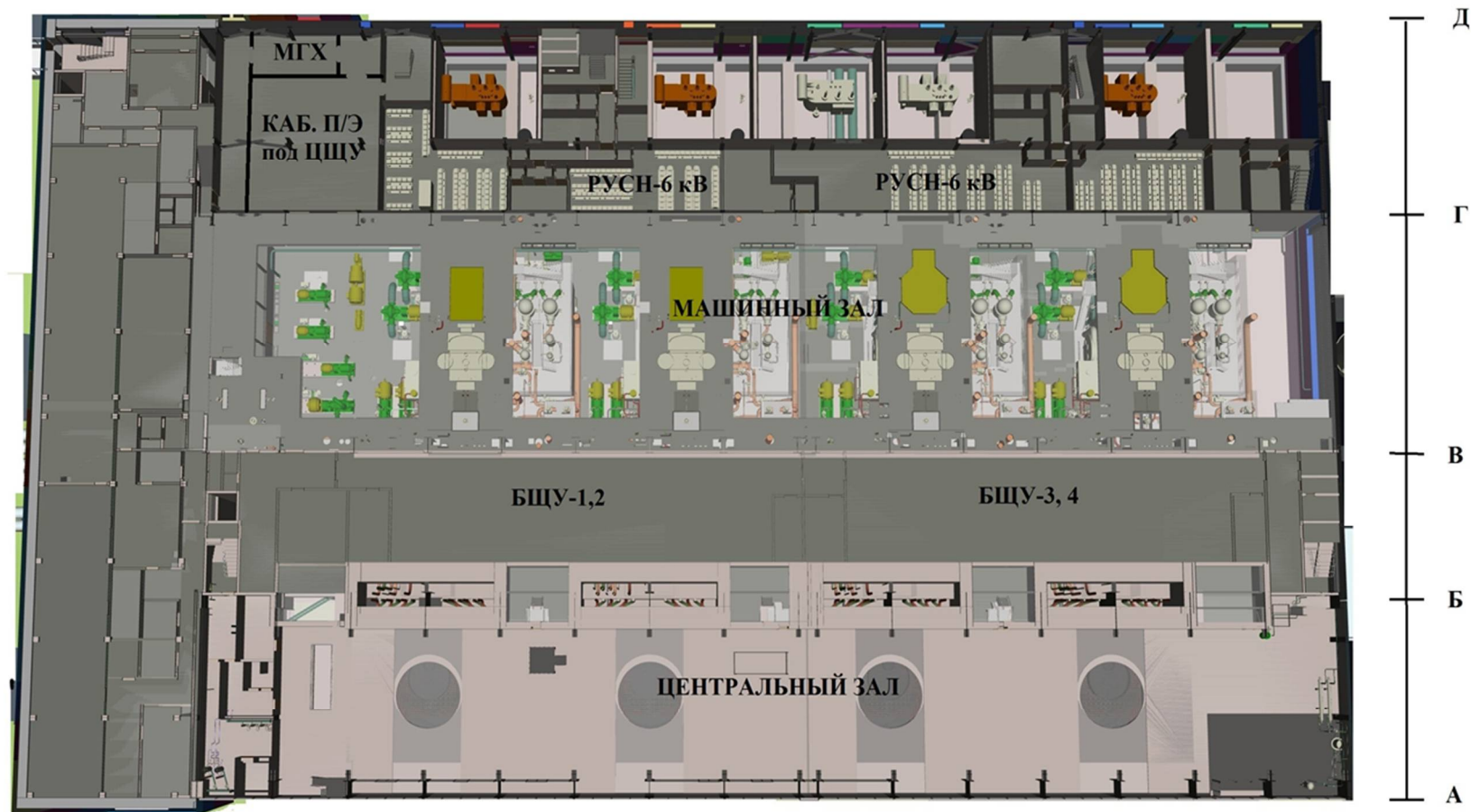


Рисунок П8.2.6.1.6 – Схема главного корпуса и ОВК (горизонтальный разрез по отметке +6,600)

Здания Билибинской АЭС представляют из себя следующие конструкции:

- главный корпус (реакторный зал, деаэрационно-щитовое отделение, машинный зал, ЗРУ) – металлический каркас, фундамент – монолитная железобетонная плита, перекрытие – сборный железобетон по металлическим балкам, стеновое ограждение из легких утепленных стеновых панелей;
- объединено-вспомогательный корпус – металлический каркас, фундамент – монолитная железобетонная плита, перекрытие – монолитный железобетон по металлическим балкам, покрытие – из сборных железобетонных плит, стены из бетонных блоков типа «Крестьянин»;
- Служебно-бытовой корпус с заглубленным убежищем гражданской обороны – каркас – сборные ж/б колонны и сборные ригели, перекрытия – из сборных ж/б плит, фундаменты – сборные ж/б стаканного типа;
- Радиаторные охладители ВКУ-1,2 (ВКУ-3,4) – металлический каркас, ограждающие конструкции – металлические навесные панели, фундаменты – столбчатые монолитные ж/б;
- вентиляторная градирня – металлический каркас с обшивкой профлистом, фундаменты ленточные монолитный ж/б и столбчатые;
- насосная пиковой градирни – стены из бетонных блоков типа «Крестьянин», перекрытия сборные ж/б, фундамент – монолитная ж/б плита;
- азотно-кислородная с дизель-генераторной – стены из бетонных блоков типа «Крестьянин», перекрытия сборные железобетонные, фундамент – из сборных бетонных блоков
- хранилище жидких радиоактивных отходов и хранилище сухих радиоактивных отходов – заглубленное сооружение на 1,5 м, обваловано. Монолитное ж/б сооружение с внутренней облицовкой из нержавеющей стали
- здание внешней дозиметрии – несущие нарушенные стены из бетонных блоков типа «Крестьянин» и внутренней ж/б каркасом, фундаменты ленточные под стены и столбчатые под колонны, перекрытия из сборных ж/б плит.

П8.2.6.2 Основные системы энергоблоков

Все системы РУ подразделяются на системы нормальной эксплуатации и системы безопасности. К системам, важным для безопасности, относятся системы безопасности и те системы нормальной эксплуатации, отказы которых являются исходными событиями аварий, то есть приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и/или условий безопасной эксплуатации.

Системы нормальной эксплуатации

- реактор;
- система контура естественной циркуляции, включая барабан-сепаратор, и система контроля;
- система подачи питательной воды (деаэрактор, всасывающий трубопровод, питательный трубопровод, ПЭН);
- контур теплосъема с каналов СУЗ (всасывающий трубопровод, насос, напорный трубопровод, сборный коллектор, подпорная шайба);
- система управления и защиты (кроме подсистемы аварийной защиты);
- газовая система реактора;
- системы технологического контроля;
- система теплотехнического контроля реактора;
- система дозиметрического контроля;
- системы спецвентиляции энергоблоков;
- бойлер, включая систему контроля защит и автоматики;
- бассейн выдержки (БВ - 1, 2, 3, 4);

– хранилище жидких радиоактивных отходов и хранилище сухих радиоактивных отходов;

Системы безопасности реакторной установки

- защитные системы безопасности;
- локализирующая система безопасности;
- обеспечивающие системы безопасности;
- управляющие системы безопасности;

Вспомогательные общестанционные системы, важные для безопасности

- самоходная перегрузочная машина;
- узел развески свежего ядерного топлива;
- распределительное устройство собственных нужд 6 кВ (РУСН - 6 кВ);
- система ремонтного расхолаживания;
- система подпитки ОЦК (ДБ - 1, 2 НДБ - 1, 2, 3);
- контуры циркуляционной и технической воды;
- система охлаждения подшипников насосов;
- система аварийной и предупредительной сигнализации;
- радио и громкоговорящая связь;
- система сбора и переработки радиоактивных отходов, включая выпарные аппараты;
- азотно-кислородная станция;
- газотурбинная установка.

Конструкция реактора

Реактор водо-графитовый, канального типа, теплосъем в котором осуществляется при естественной циркуляции воды и паро-водяной смеси.

Реактор состоит из верхней и нижней плит, кожуха с компенсатором температурных расширений, бака биологической защиты, тепловыделяющих сборок, каналов СУЗ и спецканалов, трубопроводов подвода и отвода теплоносителя, трубопроводов системы охлаждения каналов СУЗ и ионизационных камер, верхнего защитного перекрытия и др.

Реакторная установка включает:

- реактор;
- контур естественной циркуляции теплоносителя (или основной циркуляционный контур) с системой контроля и защиты;
- контур СУЗ;
- газовый контур;
- систему ремонтного расхолаживания;
- аварийную систему подачи охлаждающей воды.

Реактор включает:

- графитовую кладку;
- 273 ТВС и 60 каналов СУЗ;
- металлоконструкции реактора, обеспечивающие размещение элементов реактора и защиты (нижняя плита, кожух, верхняя плита, бак биологической защиты);
- систему управления и защиты.

П8.2.6.3 Техническое водоснабжение

Источником водоснабжения Билибинской АЭС является водохранилище, образованное с помощью плотины, которая построена одновременно с Билибинской АЭС в долине ручья Поннеурген. Вода водохранилища используется также для снабжения г. Билибино. Отсутствие водостоков (и соответственно, подпитки водохранилища) в

зимнее время обуславливает необходимость создания запасов воды на этот период. Однако, запасы воды в водохранилище настолько ограничены (его полезная емкость 3,5 млн. м³), что для Билибинской АЭС не представлялось возможным применить традиционные схемы теплоотвода из конденсаторов турбины и другого оборудования, например, с помощью прудов - охладителей или водяных открытых градирен.

В связи с этим впервые в нашей стране для условий Крайнего Севера была разработана система водоснабжения электростанции с замкнутым контуром и охлаждением технической воды в воздушно-радиаторных охладителях - в теплообменниках «вода-воздух».

Теплообменники (теплообменные колонны – «сухие» градирни Геллера-Форго) разработаны и изготовлены в Венгрии. Достоинства этой системы - небольшой расход воды, практически только на восполнение утечек из контура, существенно меньшее загрязнение конденсата пара присосами охлаждающей воды в конденсаторе турбины по сравнению с традиционными системами водоснабжения (пруды охладители, капельные градирни). Поскольку контур «сухих» градирен заполняется химически обессоленной водой (это обстоятельство особенно важно для одноконтурных энергоблоков, какие и применены на Билибинской АЭС), отсутствие экологического (теплового) воздействия на окружающую природу в связи с тем, что теплота от Билибинской АЭС отводится не в ближайшие водоемы, а в воздух, где она рассеивается.

П8.2.6.4 Система теплоотвода от активной зоны

Контур теплосъема с активной зоны состоит из шести групповых петель, замкнутых на барабан-сепаратор, каждая групповая петля включает: узел ввода питательной воды, трубопроводы и коллекторы, смеситель АСПОВ, расходомерное устройство в опускном групповом трубопроводе и в двух индивидуальных трубопроводах реперных ТВС.

Барабан-сепаратор

БС представляет собой цилиндрический горизонтальный корпус с эллиптическими днищами внутренним диаметром 1800 мм и длиной ~10 м. Внутри БС пароводяная смесь поступает в шесть групповых раздаточных коллекторов прямоугольного сечения, к которым присоединены циклоны. Влажный пар, поступающий из циклонов, полностью осушается в жалюзийном сепараторе, установленном в верхней части барабана, а затем, через отводящие трубопроводы отводится в коллектор острого пара, а далее на турбину.

Система трубопроводов контура естественной циркуляции: групповые трубопроводы и коллекторы, индивидуальные трубопроводы к ТВС и от ТВС

РУ имеет 12 групповых трубопроводов Ø 219×12 мм, из которых шесть опускных (водяных) и шесть подъемных (пароводяных). На опускных линиях под БС установлены: смесители с полезным напором, патрубки ввода воды АСПОВ, расходомерные устройства - трубы Вентури. Над верхней плитой симметрично продольной оси реактора располагается 12 коллекторов: шесть РГК, шесть СГК. Каждая пара коллекторов объединяет одну группу ТВС. ТВС подключена к РГК и СГК с помощью индивидуальных трубопроводов. Разводка подводящих-отводящих индивидуальных трубопроводов ТВС над верхней плитой, в целях уменьшения высоты стояков и длины ТВС, произведена в обе стороны от продольной оси РУ. При разводке трубопроводов принят вариант с использованием калачей.

П8.2.6.5 Турбоустановка

Турбина паровая конденсационная Т-12/12-60/2,5 с одним регулируемым отбором пара и двумя нерегулируемыми номинальной мощностью 12 МВт, частотой вращения 3000 об/мин предназначена для непосредственного привода генератора ТАП-12-2/6,3 типа

Т-12-2 с воздушным охлаждением, а также для отпуска теплоты в количестве 25 Гкал/ч при графике сетевой воды 150/70 °С.

Турбина разработана и изготовлена Брненским машиностроительным заводом в ЧССР. Генератор изготовлен Лысьвенским турбогенераторным заводом.

Турбина состоит из двух частей: высокого и низкого давления, между этими частями имеется выносной сепаратор влаги. Основной отопительный отбор пара осуществляется после части высокого давления. Давление в отборе регулируется в диапазоне от 0,4 до 0,1 МПа. Кроме того, часть пара, отбираемая из регулируемого отбора, направляется на подогрев воды в деаэраторе (он является последней ступенью регенеративного подогрева питательной воды) и на общестанционные нужды.

Турбогенератор синхронный типа ТАП 12 2/6,3 У3 с возбудителем БВД 50 3000У3 предназначен для выработки электроэнергии в продолжительном режиме работы S1 по ГОСТ 183 74 при непосредственном соединении с паровой турбиной. Генератор в объеме поставочного комплекта соответствует требованиям ТУ 3383 110 05757908 99, соответствующих ГОСТов, ПУЭ и комплекта документации 6БС.125.082.

Электрически турбогенератор соединен в блок с трансформатором типа ТД-16000/110.

Пиковый отопительный (нерегулируемый) отбор пара осуществляется после регулирующей ступени части высокого давления турбины. Давление в нерегулируемом отборе при номинальном расходе пара через турбину 1,0 МПа.

П8.2.6.6 Меры по защите объектов и персонала Билибинской АЭС от внешних воздействий, предусмотренные в проекте

В связи с суровым климатом электрораспределительное устройство выполнено закрытого типа. Выполнены молниезащиты и надежное заземление.

Годовое количество осадков в районе Билибинской АЭС невелико и составляет 275 мм. Осадков интенсивностью более 30 мм/сутки не отмечено. Водоотводящие конструкции зданий и территории обеспечивают с запасом отвод дождевой и талой воды без затопления помещений АЭС и влияния на ее безопасность.

Площадка Билибинской АЭС относится к IV снеговому району по карте 1 СНиП 2.01.07-85 с нормативной снеговой нагрузкой 150 кгс/м² (1,5 кПа).

Снегопады могут приводить к накоплению снега на крышах здания АЭС. Средняя высота снежного покрова 45 см, максимальная – 200 см при плотности снега 0,2 г/см³ с повторяемостью ~ 1 раз в 50 лет. Конструкции зданий рассчитаны на указанные нагрузки и обеспечивают безопасность АЭС.

Обледенение до 50 мм наблюдается с повторяемостью не выше одного раза в 20 лет и может повлиять на работоспособность вентиляционных систем и системы воздушно-радиаторных охладителей, внешнее электроснабжение.

При выборе материалов несущих металлоконструкций главного корпуса АЭС в расчет было взято значение минимальной температуры минус 62 °С. Все оборудование станции расположено в закрытых отапливаемых и вентилируемых помещениях. Максимальная летняя температура составляет +33 °С и наблюдается с частотой 1 раз в 50 лет.

Отвод поверхностных вод с территории осуществляется открытым способом системой канав, лотков и водопропускных труб со сбросом на свободную территорию в сторону ручья Большой Поннеурген.

В соответствии с требованиями современных нормативных документов строительные конструкции зданий и сооружений I категории по ПИН АЭ-5.6 должны выдерживать воздействие ВУВ с величиной давления во фронте 10 кПа. При наличии в 5 км зоне от площадки АС внешних источников взрывной опасности (склады ГСМ, автомобильные дороги общего назначения и т.д.) и в 10 км зоне складов ВВ, строительные конструкции зданий и сооружений I категории должны выдерживать воздействие ВУВ, параметры которой определяются расчетом или принимаются равной 30 кПа.

Проект Билибинской АЭС был выполнен в 1965 г. с соблюдением нормативных документов общего и специального назначения, действовавших в период разработки проекта, не требующих учета воздействия ВУВ. Несущая способность строительных конструкций зданий и сооружений I категории на действие ВУВ в 10 и 30 кПа не рассчитывались и, на основании экспертных оценок можно сделать вывод, что она не обеспечена. Анализ конструктивных решений зданий и сооружений показывает, что они не могут быть доведены до требований современных НТД [16].

Для приведения проекта Билибинской АЭС в соответствие с действующей в атомной энергетике нормативной базой в 2000-2002 выполнена оценка несущей способности основных строительных конструкций главного корпуса, сооружения категории I ответственности за ядерную и радиационную безопасность по ПиНАЭ-5.6, на нагрузки от внешних воздействий.

Напряженно-деформированное состояние строительных конструкций определялось с использованием программного комплекса «СТАДИО» - «Расчет строительных конструкций главного корпуса Билибинской АЭС на особые воздействия», НИЦ «СТАДИО», Москва, 2002 г. Расчет выполнен на экстремальные климатические нагрузки и техногенные нагрузки с учетом требований ПиНАЭ-5.6, НП-064-05, в том числе воздушную ударную волну величиной 1,0 кПа во фронте.

Расчётные исследования металлического каркаса главного корпуса, железобетонных панелей покрытия и вентиляционной трубы при экстремальных воздействиях были проведены в отчёте арх. № 2001-АЭП-06/02. В числе экстремальных воздействий был рассмотрен экстремальный ветер. Величина ветрового напора консервативно была принята равной 2,58 кПа, т.е., с коэффициентом запаса 2,0. В этой работе были определены деформации главного корпуса и усилия в основных элементах. Проверка прочности строительных конструкций по результатам расчёта НИЦ «Стадио» выполнена институтом «Атомэнергопроект» и представлена в отчёте 1290537-14-239Т. Как показывает проведённый инженерный анализ, несущая способность металлоконструкций каркаса, фундаментной плиты и балок покрытия при воздействии экстремального ветра обеспечена.

П8.3 ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

П8.3.1 ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО И ОКОНЧАТЕЛЬНОГО ПЕРЕЧНЕЙ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В настоящем разделе представлен анализ по выявлению всех возможных внешних воздействий и результаты решения данной задачи - окончательный перечень внешних воздействий. Согласно рекомендациям РБ-021-14 перечень внешних воздействий формируется с учетом:

- примерного перечня внешних воздействий, приведенного в приложении № 5 РБ-021-14;
- номенклатуры процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, указанных в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии» (НП-064-05), утвержденном постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 16 от 20 декабря 2005 г.;
- перечней внешних воздействий из ВАБ внешних воздействий для российских и зарубежных АЭС;
- перечня потенциальных сочетаний внешних воздействий;
- специфического перечня потенциальных внешних воздействий, составленного по результатам обхода прилегающей к площадке АЭС территории (при условии выявления не указанных в проектной документации внешних воздействий).

Предварительный перечень внешних воздействий формируется без учета объединения внешних воздействий в категории (например, категория внешних воздействий «аварии на транспорте» может объединять следующие внешние воздействия: падение самолета, аварии на автотранспорте, аварии на железнодорожном транспорте, аварии на речном транспорте).

Для формирования окончательного перечня внешних воздействий разрабатываются качественные и количественные критерии исключения внешних воздействий из анализа. Критерии приведены в подразделе П8.3.2.

Формирование окончательного перечня внешних воздействий выполняется путем последовательной проверки соответствия/несоответствия всех внешних воздействий и их сочетаний из предварительного перечня сначала качественным критериям исключения, затем количественным критериям исключения.

Для внешних воздействий и их сочетаний, оставшихся в предварительном перечне внешних воздействий после исключения на основе качественных критериев исключения, выполняется:

- оценка вероятности (частоты) внешнего воздействия;
- при необходимости определяется зависимость вероятности (частоты) внешнего воздействия от параметров внешнего воздействия (например, скорость ветра, уровень воды).

Полученные результаты используются для исключения внешних воздействий на основе количественных критериев исключения, а также при выполнении отборочного и детального анализа. Необходимость разработки указанных зависимостей устанавливается в процессе формирования окончательного перечня внешних воздействий при выполнении отборочного и детального анализа.

Если внешнее воздействие или их сочетание удовлетворяют любому из качественных или количественных критериев исключения, то такое внешнее воздействие исключается из перечня внешних воздействий. Тем самым из предварительного перечня внешних воздействий формируется окончательный перечень внешних воздействий.

Если внешнее воздействие или их сочетание могут быть исключены из предварительного перечня на основании нескольких принятых критериев исключения, указываются все критерии исключения, которым удовлетворяет исключенное внешнее воздействие.

Приводится обоснование исключения внешних воздействий и их сочетаний и/или точные ссылки на разделы из документов, подтверждающих обоснованность исключения внешнего воздействия из дальнейшего рассмотрения.

Устанавливается возможность совместного воздействия на блок АЭС нескольких внешних воздействий, а также устанавливаются внешние воздействия, являющиеся следствием других внешних воздействий. Результаты указанного анализа представляются в виде матрицы сочетаний внешних воздействий.

П8.3.2 ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ИСКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Согласно РБ-021-14 критерии исключения внешних воздействий формируются на этапе разработки перечня внешних воздействий и на этапе отборочного анализа с целью ограничения объема анализа и концентрации усилий только на тех сценариях внешних воздействий, которые являются потенциально значимыми с точки зрения риска для АЭС.

При формировании критериев исключения внешних воздействий учитываются следующие факторы:

- расстояние (реализуемость) — источник внешнего события находится достаточно далеко от площадки АЭС, чтобы оказывать на нее воздействие;
- включение (группировка) - событие уже рассматривалось или планируется к рассмотрению в составе другого события или при выполнении другого этапа ВАБ;
- время - длительность развития воздействия от внешнего события во времени позволяет выполнить предупредительные и защитные мероприятия, которые предотвращают развитие аварийных последовательностей и возможные последствия, влияющие на безопасность блока АЭС;
- защита от события данной интенсивности предусмотрена проектом - проектные мероприятия, предусмотренные для события рассматриваемой интенсивности, подтвержденные расчетами (испытаниями), обеспечивают низкий уровень условной вероятности отказа при заданной интенсивности воздействия;
- низкая частота события - внешнее событие данной интенсивности имеет низкую частоту; предполагается, что вклад в частоту повреждения активной зоны (или других рассматриваемых источников радиоактивности) от такого события будет пренебрежимо малым.

Критерии исключения внешних воздействий, подготовленные для этапа разработки окончательного перечня внешних воздействий, приведен в таблице П8.3.3.1.

Таблица П8.3.3.1 – Критерии исключения для формирования окончательного перечня внешних воздействий

| Код критерия | Описание |
|--------------|--|
| А | Внешнее воздействие, способное оказать воздействие на блок АЭС не может произойти вблизи площадки размещения АЭС за период эксплуатации блока |
| В | Внешнее воздействие, способное оказать воздействие на блок АЭС, рассматривается в рамках другого внешнего воздействия или в рамках другого раздела ВАБ |

| Код критерия | Описание |
|--------------|--|
| С | Внешнее воздействие отличается медленным характером развития и имеется достаточно времени либо для устранения источника опасности, либо для выполнения адекватных защитных мероприятий препятствующих формированию условий, влияющих на безопасность блока АЭС |
| D | Внешнее воздействие данного типа имеет существенно меньшую среднюю частоту возникновения, чем для другого события того же типа, последствия от которого для блока АЭС аналогичны или меньше, чем последствия от этого другого события. Средние частоты этих событий определены равными по достоверности методами |
| Е | <p>Вариант а). Внешнее воздействие рассматриваемой интенсивности от внешнего события характеризуется аналогичным или меньшим разрушающим потенциалом, чем воздействие, для которого защищенность АЭС обеспечена проектом.</p> <p>Вариант б). Внешнее воздействие рассматриваемой интенсивности имеет частоту возникновения ниже 10^{-6} 1/год</p> |

П8.3.3 ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИИ ПРИМЕРНОГО ПЕРЕЧНЯ РБ-021-14

П8.3.3.1 Падение летательного аппарата или других летящих предметов

Повреждающими факторами данного внешнего события являются:

- ударное воздействие;
- разлив топлива;
- попадание топлива внутрь герметичного ограждения;
- сопутствующие пожары и взрывы;
- колебания грунта.

Анализ воздушной обстановки и оценка частоты падения воздушных судов или их обломков выполнена на основании данных до 1992 года. К 2017 году произошло существенное изменение структуры использования воздушного пространства: изменилась частота полетов, появились потоки транзитных полетов международных рейсов (подраздел П8.2.5.1). Таким образом, использование результатов анализа, основанного на воздушной обстановке до 1991 г. для обоснования безопасности Билибинской АЭС некорректно, в связи с чем рекомендуется выполнить анализ современного состояния воздушной обстановки в районе Билибинской АЭС.

В тоже самое время, необходимо отметить, что для Нововоронежской АЭС, воздушное пространство в районе которой характеризуется высокой интенсивностью полетов как гражданских, так и военных воздушных судов, частота падения воздушного судна или его обломков по порядку величины равно 10^{-7} 1/год [17]. Для Билибинской АЭС данная частота ожидается значительно ниже, поэтому значение, полученное для Нововоронежской АЭС может считаться за верхнюю граничную оценку. Следовательно, применим критерий исключения Е-б).

П8.3.3.2 Взрыв

П8.3.3.2.1 Повреждающие факторы и источники взрывов по РБ-021-14

Повреждающими факторами данного внешнего события являются:

- воздушная ударная волна;
- летящие предметы;
- дым, газ, пыль;
- сопутствующие пожары;
- колебания грунта.

Опасными источниками взрыва являются:

- стационарные и передвижные источники на территории промплощадки АЭС;
- склады и хранилища взрывчатых веществ в радиусе 10 км;
- предприятия, на которых применяются опасные технологии, где возможны технологические взрывы, а также где имеются сосуды, работающие под давлением, и установки высокого давления с газами, парами и другими жидкостями в радиусе 5 км;
- автомобильный, железный, водный транспорт;
- магистральные трубопроводы нефти и газа, продуктопроводы, технологическое оборудование или трубопроводы горючих газов, легковоспламеняющихся жидкостей в радиусе 7 км. Данные объекты могут стать источниками утечки, в результате которой образуются облака взрыво- и пожароопасных смесей;
- военные объекты в радиусе 30 км.

П8.3.3.2.2 Перечень взрывоопасных объектов

На площадке и в районе размещения Билибинской АЭС выявлены следующие источники взрывной опасности:

- склад взрывчатых веществ (120 т, на расстоянии 8000 от промплощадки АЭС);
- автотранспорт со взрывчатым веществом (12,6 т, расстояние 1800 м);
- едущий по дороге бензовоз с автоцистерной объемом $V = 14 \text{ м}^3$ на расстоянии 1800 м от промплощадки;
- два топливных резервуара с дизельным топливом, объемом $V = 100 \text{ м}^3$ каждый, расстояние 800 м.

Согласно [9] другие источники взрывной опасности не могут оказать значимого влияния.

П8.3.3.2.3 Анализ взрывоопасных источников

Согласно имеющимся данным, представленным в П8.2.6:

- радиусе 30 км от Билибинской АЭС отсутствуют военные объекты (критерий А);
- в радиусе 7 км отсутствуют магистральные трубопроводы нефти и газа, продуктопроводы, технологическое оборудование или трубопроводы горючих газов, легковоспламеняющихся жидкостей (критерий А);
- в радиусе 30 километров отсутствуют железные дороги, не выполняется судоходство (критерий А).

Ниже рассмотрены взрывоопасные объекты, расположенные как на площадке Билибинской АЭС, так и в ее окрестностях.

Согласно П.4.2 [16] при взрыве на складе взрывчатых веществ и автоцистерны на автодороге давление на фронте ударной волны на расстоянии 1800 м не превысит 1,13 кПа.

Учитывая взаимное расположение главного корпуса и автодороги дороги – дорога на местности проходит значительно ниже площадки размещения главного корпуса, перепад составляет от 10,0 м и более, то, что главный корпус закрыт от дороги корпусом ОВК а также консервативные методы определения величины параметров ВУВ, дающие максимально возможные величины, согласно П.4.2 [16] максимальным последствием взрыва будет разрушение стеклянных окон. Оцененная частота таких событий ~ один раз в 25 лет. Следует отметить, что в последнее десятилетие перевозка взрывчатых веществ в районе расположения Билибинской АЭС не осуществляется [12].

Событие исключается по критерию Е-а).

В случае аварии со взрывом резервуар дизельного топлива на котельной Билибинской АЭС давление ВУВ на ограждающие конструкции главного корпуса достигнут 7,34 кПа.

По экспертным оценкам строительные конструкции главного корпуса не выдерживают нагрузку при ВУВ 7,34 кПа. В расчетах [18,19] обоснована стойкость здания главного корпуса к давлению ВУВ, равное 1 кПа и величине ветрового напора 2,58 кПа, при которой сохраняется несущая способность металлоконструкций каркаса, фундаментной плиты и балок покрытия.

Чтобы произошел взрыв дизельного топлива необходимо, чтобы концентрация паров при температуре вспышке (55°C) должна была не менее 2 %. Дизельное топливо загорается только, когда происходит испарение и нагрев паров, от поднесённого огня. В соответствии с этим рассматривается следующий сценарий развития аварии: происходит разгерметизация емкости с дизельным топливом, ее интенсивное испарение, в том числе образование топливовоздушной смеси в опустевшем баке. Через какое-то время происходит возгорание, что приводит к нагреванию смеси с последующим взрывом. Согласно таблицы П.1.1 [20] вероятность образования течи в емкости хранения горючей жидкости составляет $8,8 \times 10^{-5}$ 1/год на каждый из двух баков. Условная вероятность того, что после истечения случится воспламенение, согласно таблице П.2.1.[20] равна 0,005, а условная вероятность сгорания с образованием давления при образовании горючего топливовоздушного облака и его последующего воспламенения равна 0,05. Оба сценария потенциально приводят к взрыву и суммарная вероятность аварии со взрывом составит $9,7 \times 10^{-6}$ 1/год.

Событие со взрывом на складе с дизельным топливом не может быть исключено из рассмотрения и включается в окончательный перечень внешних воздействий.

П8.3.3 Выброс в атмосферу взрывоопасных и воспламеняющихся веществ

Выброс взрывоопасных, воспламеняющихся паров, газов и аэрозолей в атмосферу приводит к образованию газо-воздушных и паровоздушных смесей, их возможному дрейфу. Взрыв облака сопровождается следующими поражающими факторами:

- воздушная ударная волна;
- летящие предметы;
- дым, газ, пыль;
- сопутствующие пожары;
- колебания грунта.

Согласно данным раздела 2 настоящего ВАБ в районе размещения Билибинской АЭС отсутствуют источники выбросов в атмосферу взрывоопасных и воспламеняющихся веществ. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.4 Выброс ядовитых паров, газов и аэрозолей в атмосферу

Выброс ядовитых паров, газов и аэрозолей в атмосферу приводит к образованию ядовитых газо-воздушных облаков, способных к распространению и дрейфу. При попадании персонала АЭС в облако способно вызвать его отравление.

Согласно данным раздела 2 настоящего ВАБ в районе размещения Билибинской АЭС отсутствуют источники выбросов в атмосферу ядовитых паров, газов и аэрозолей. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.5 Коррозионные жидкие сбросы в поверхностные и грунтовые воды

Повреждающими факторами коррозионных жидких сбросов в поверхностные и грунтовые воды являются выпадение коррозионных осадков на объект.

В районе Билибинской АЭС отсутствуют источники коррозионных жидких сбросов. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.6 Разлив масел и нефтепродуктов на прибрежных поверхностях рек, морей и океанов

Повреждающими факторами при разливе масел и нефтепродуктов на прибрежных поверхностях являются:

- загрязнение теплообменных поверхностей оборудования;
- вторичные пожары и возгорания;
- коррозионное воздействие.

В качестве технического и питьевого водоснабжения АЭС используется водохранилище на ручье Большой Поннеурген. В бассейне ручья и рядом с водохранилищем отсутствуют источники потенциального выброса масел и нефтепродуктов. По зимнику, проходящему рядом с водохранилищем и пересекающем долину ручья Большой Поннеурген не выполняется перевозки масел и нефтепродуктов [12].

Внешнее событие, связанное с разливом масел и нефтепродуктов на побережье исключено из рассмотрения на основании критерия А.

П8.3.3.7 Пожар по внешним причинам

Повреждающими факторами вследствие пожара по общим причинам являются:

- высокая температура;
- дым;
- ядовитые продукты горения;
- горение термического разложения;
- пониженная концентрация кислорода.

Возможными наземными источниками внеплощадочной пожарной опасности являются:

- лесные массивы;
- склады взрывчатых веществ (твердых, жидких и газообразных);
- продуктопроводы и магистральные трубопроводы нефти и газа;
- железные и автомобильные дороги, речные и морские пути;
- аэродромы, линии воздушных сообщений и перелетов;
- жилые массивы;
- промышленные предприятия;
- производства по добыче угля и торфа;
- места и площади залегания торфяников.

Сведения о пожароопасных объектах в районе размещения Билибинской АЭС собраны и описаны в подразделе А.1.5 приложения А в книге 2 настоящего документа.

Согласно П8.2.5.7 в районе размещения Билибинской АЭС на расстоянии до 2 км (таблица приложения 5 РБ-021-14) отсутствуют, склады взрывчатых веществ, продуктопроводы и магистральные трубопроводы нефти, промышленные предприятия, производства по добыче угля и торфа, торфяники, жилые массивы (применим критерий исключения А).

Метеоплощадка расположена на южном склоне крутизной 10-12°. К северу от площадки в 200 м. проходит граница поле-лес, за которой - редкий лиственный лес, кедровый стланник. К востоку – поле (вырубка), южнее площадки - поле. Применим критерий исключения А.

Пожар на летательном аппарате во время нахождения на линии воздушного сообщения и перелета является одной из причин крушения летательного аппарата. Крушение летательного аппарата является частью анализа «Падение летательного аппарата или другого летящего предмета», (рассмотрено в П8.3.3.1). Событие исключается по критерию В.

Внешнее событие, связанное с пожаром по внешним причинам (внеплощадочный пожар) исключено из рассмотрения на основании критериев А и В.

П8.3.3.8 Прорыв естественных и искусственных водохранилищ

Повреждающим факторами вследствие прорыва водохранилищ являются:

- затопление оборудования АЭС;
- разрушение береговых сооружений;
- подтопление территории;
- размыв ложа водотоков;
- динамическое воздействие.

Выше по руслу ручья Большой Поннеурген расположено водохранилище. Отметка ФПУ водохранилища равна 339,45 м. Площадка АЭС расположена на отметке 308,00 м и выше, а главный корпус на отметке 322,00 и выше. Отметка дна ручья Большой Поннеурген возле площадки АЭС равна 288,00 м. В случае прорыва плотины водохранилища волна прорыва достигнет высоты 6 м, следовательно, проектное решение по выбору отметок расположения площадки АЭС предотвращают ее затопление – применим критерий исключения Е-а).

П8.3.3.9 Разрушение разделяющей дамбы

Последствием разрушения разделяющей дамбы является потеря теплоотвода в технологическом водоеме (водоеме охладителя).

В составе Билибинской АЭС отсутствует водоем-охладитель. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.10 Разрушение ограждающей дамбы

Последствием разрушения ограждающей дамбы является потеря технологического водоема и подъем уровня воды в районе площадки Билибинской АЭС.

В качестве технического водоема используется водохранилище на ручье Большой Поннеурген. Водохранилище используется для питьевого водоснабжения и компенсации утечек технологической воды. В связи с этим, в случае невозможности подпитки у персонала будет достаточно времени, чтобы остановить блоки АЭС, применим критерий исключения С.

П8.3.3.11 Электромагнитные импульсы и излучения

Повреждающими факторами вследствие электромагнитных импульсы и излучения являются:

- электромагнитные помехи;
- сбои;
- ложные срабатывания.

Источниками сильных электромагнитных импульсов и излучений являются оборудование промышленных предприятий, военных объектов (радиолокационные установки, генераторы электромагнитных импульсов), линии электропередач, грозы.

В районе размещения Билибинской АЭС отсутствуют предприятия, военные и другие объекты, связанных с получением и использованием электромагнитных полей.

Внешнее событие «электромагнитные импульсы и излучения» исключается из рассмотрения по критерию А.

П8.3.3.12 Рассеивание выбросов промышленных предприятий в атмосфере площадки АЭС

Факторами воздействия от выбросов промышленных предприятий в атмосфере площадки АЭС являются:

- дым;
- ядовитые вещества.

Данные факторы могут оказать неблагоприятное воздействие на персонал.

Основная промышленная деятельность города Билибино связана с производством электроэнергии (Билибинская АЭС) и добыча золота на приисках. Промышленные выбросы от этих производств не могут оказать влияние на работу АЭС. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.13 Удар молнии

Предполагается, что последствиями ударов молнии при сильных грозах на площадке могут быть нарушения работоспособности электрооборудования вплоть до полного обесточивания блока, а также ложные срабатывания элементов управляющих систем.

Грозы в районе Билибинской АЭС крайне редки. В связи с суровым климатом электrorаспределительное устройство выполнено закрытого типа. На АЭС выполнены молниезащиты и надежное заземление [12].

Событий, связанных с негативным воздействием молнии на работу Билибинской АЭС с 1972 по 2017 год не отмечено.

Таким образом, наиболее тяжелым предполагаемым последствием данного внешнего исходного события является обесточивание блока. Внешнее обесточивание рассмотрено в ВАБ для внутренних отказов. Так как обесточивание АЭС также является последствием внешних воздействий, применим критерий исключения D.

П8.3.3.14 Наводнение

Последствиями наводнение или подтопление на площадке являются:

- затопление площадки АЭС;
- затопление оборудования;
- гидрохимическое воздействие;
- динамическое воздействие.

Источником затопления площадки являются половодья на водотоках.

В районе площадки Билибинской АЭС расположен один водоток – ручей Большой Поннеурген.

Согласно П8.2.3.1, в районе АЭС максимальный расход воды в течении года вызывает дождевой паводок. При повторяемости дождевого паводка 0,01 % уровни воды в районе площадки Билибинской АЭС поднимутся на 1,6-1,9 м над отметкой дна ручья Большой Поннеурген 288,00 м. Отметка площадки АЭС 308,00 м и выше, отметка площадки в районе главного корпуса АЭС 322,0 м и выше. Следовательно, принятое в проекте размещение о сносных сооружений АЭС обеспечивает их защиту от наводнения, применим критерий исключения Ea.

П8.3.3.15 Высокий уровень воды в водоемах

Последствиями наводнение или подтопление на площадке являются:

- затопление площадки АЭС;
- затопление оборудования;
- гидрохимическое воздействие.

Площадка Билибинской АЭС расположена рядом с ручьем Большой Поннеурген. Высокий уровень воды в ручье возможен вследствие следующих причин:

- прорыв дамбы водохранилища (рассмотрено в П8.3.3.8);
- весеннее таяние снега или обильные осадки (рассмотрено в П8.3.3.14).

Таким образом, данное событие рассмотрено при анализе других событий, применим критерий исключения В.

П8.3.3.16 Приливы и отливы

Последствиями приливов и отливов на площадке являются:

- затопление зданий и сооружений;
- потеря охлаждающей воды.

Площадка Билибинской АЭС значительно удалена от берега какого-либо моря. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.17 Волновые явления

Последствиями волновых воздействия являются:

- изменение береговой линии;
- затопление площадки АЭС;
- динамическое воздействие на гидротехнические сооружения;
- обтекание преград и сквозных сооружений.

Волновые явления на ручье Большой Поннеурген незначительны.

Применим критерий исключения А.

П8.3.3.18 Сейши

Возможным последствием сейша может быть затопление площадки АЭС.

Сейши могут возникать в замкнутых водоемах. Билибинская АЭС расположена на расстоянии 3 км от ближайшего водоема – водохранилища на ручье Большой Поннеурген. Амплитуда не превысит высоты ветрового нагона – 0,1 м (таблица 5.1.9.2 ОУОБ). Событие исключается по критерию исключения А.

П8.3.3.19 Цунами

Возможными последствиями цунами являются:

- временное повышение уровня воды в прибрежной зоне;
- затопление площадки АЭС; динамическое воздействие волны;
- временное понижение уровня воды в прибрежной зоне.

Возникновение цунами характерно для крупных водоемов, например, морей. Площадка Билибинской АЭС значительно удалена от берега какого-либо моря. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.20 Ледовые явления на водотоках (заторы и зажоры)

Последствиями ледовых явлений на водотоках (заторов и зажоров) являются:

- затопление площадки АЭС;
- затопление оборудования АЭС;
- потеря технологических водоемов;
- динамические воздействия при возникновении волны прорыва.

Площадка размещения Билибинской АЭС находится на 30 м выше русла руч. Бол. Поннеурген. На ручье нет возможностей для образования значительных ледяных заторов или зажоров. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.21 Смерч

Последствиями возникновения смерча являются:

- повышенная ветровая нагрузка;
- нагрузки от перепада давления между периферией и центром вращения воронки;
- летящие предметы;
- вынос воды из технологических водоемов;
- затопление оборудования.

Смерчи не были зафиксированы за все время наблюдения на МС района размещения Билибинской АЭС. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.22 Сильный ветер, ураган

Последствиями воздействия сильного ветра, урагана являются:

- сильный ветровой напор, могущий частично или полностью разрушить здания или сооружения;
- образование летящие предметов.

П8.3.3.22.1 Анализ сценариев связанных с повреждением зданий и сооружений

Согласно [16] сооружения АЭС рассчитаны на воздействии ВУВ и ветрового напора 1 кПа. Кроме того, металлический каркас главного корпуса, фундаментная плита рассчитаны на давление 2,58 кПа. Значения скоростей ветра, при которых возможно достижение таких значений давления рассчитывается по формуле

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot W_0}{\rho_{\text{воздуха}}}} = \sqrt{\frac{W_0}{0,61}}.$$

Давление 1 кПа может быть достигнуто при скорости ветра 40,5 м/с, а давление 2,58 кПа при скорости 65 м/с.

Согласно 4.1 ветер со скоростью 65 м/с возможен с частотой менее 1Е-06 1/год. Событие может быть исключено по критерию Е-б).

Согласно 4.1 ветер со скоростью 40,5 м/с возможен со средней частотой 1,69Е-05 1/год, медианное значение составляет 2,66Е-05 1/год, верхняя и нижняя границы 95 % доверительного интервала равны 3,24Е-04 1/год и 1,69Е-10 1/год соответственно. Следовательно, событие не может быть исключено и включается в окончательный перечень внешних воздействий.

П8.3.3.22.2 Повреждение линий электропередач

Повреждение линий электропередач, гибкой линейной связи скоростным напором и летящими предметами может привести к обрыву шлейфов и другим повреждениям, которые могут привести к обесточиванию. Обесточивание уже учтено в ВАБ для внутренних отказов. Применим критерий исключения В.

П8.3.3.23 Снежные бури (метель)

Возможными последствиями снежной бури являются:

- забивание камер забора воздуха;
- потеря охлаждения помещений АЭС.

Согласно 7.3 СП 60.13330.2012 для защиты систем вентиляции от забивания приемные устройства наружного воздуха рекомендуется размещать на высоте более 1 м от уровня устойчивого снегового покрова, определяемого по данным МС региона или расчетом, но не ниже 2 м от уровня земли.

Приемные устройства наружного воздуха на АЭС Билибино расположены не менее 2 м. Их конструкция выполнена таким образом, что защищает от попадания посторонних предметов

Применим критерий исключения Е-а).

П8.3.3.24 Песчаные бури

Возможными последствиями песчаной бури являются:

- забивание камер забора воздуха;
- потеря охлаждения помещений АЭС.

Песчаные бури не характерны для района размещения Билибинской АЭС.

Событие исключается из рассмотрения по критерию А.

П8.3.3.25 Тропический циклон

Возможными последствиями тропического циклона являются:

- ветровой напор на здания и сооружения;
- ливневые осадки.

Территория размещения Билибинской АЭС характеризуется засушливым арктическим климатом, для которого не характерны образования тропического циклона. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.26 Экстремальные снегопады и снегозапасы

Возможными последствиями экстремальных снегопады и снегозапасов являются:

- обрушение кровли;
- разрушение зданий и сооружений;
- отказы оборудования.

Рассматривается два сценария:

- 1) снегопад с высокой интенсивностью выпадения в течении суток;
- 2) равномерное накопление снежной нагрузки в течение всей зимы.

При первом сценарии накопление снежной нагрузки происходит слишком быстро и персонал не успевает счистить снег с крыш зданий АЭС. Закон распределения вероятностей интенсивных снегопадов получен в 4.2. Максимальная нагрузка от таких снегопадов с частотой возникновения $1Е-06$ 1/год не достигает значения 1,5 кПа, которое могут выдержать кровли зданий. Событие по данному сценарию исключаются по критерию Е-б).

При втором сценарии накопление снежных осадков происходит в течении 6 месяцев и более, в следствие чего у персонала достаточно времени, чтобы счистить его излишки. Законы распределения накопленных за зиму снежных осадков приведены в разделе 4.3. Видно, что закритические значения нагрузки реализуются со средней частотой 0,02 1/год. Таким образом, роль персонала в защите крыши от чрезмерной снеговой нагрузки крайне велика. Рекомендуются разработать для персонала инструкции, которые бы предусматривали требование проверки количества снега на крышах зданий и счистку его при необходимости. Событие по данному сценарию исключаются по критерию С.

Событие исключается по критериям С и Е-б).

П8.3.3.27 Экстремальная температура воздуха

П8.3.3.27.1 Устойчивые низкие зимние температуры

Устойчивые низкие зимние температуры могут привести:

- к потере внешнего энергоснабжения из-за повреждения изоляторов распределительных линий;
- повреждению трубопроводов и сосудов, расположенных вне помещений АЭС;
- замерзанию дизельного топлива в трубопроводах перекачки из хранилища;
- образованию шуги на всасе насосов систем охлаждения.

В соответствии с проектными материалами устойчивость зданий и сооружений Билибинской АЭС обеспечивается при характерных для условий площадки параметрах температуры наружного воздуха и снеговой нагрузки [12].

Проекты энергоблоков 1-4 Билибинской АЭС, выбор и поставка тепломеханического, электротехнического оборудования, оборудования АСУ ТП, включая систему КИП, сигнализации и автоматики, выполнены с учётом экстремальных условий для площадки Билибинской АЭС. Рабочая документация по модернизации и реконструкции Билибинской АЭС выполняется также с учётом экстремальных условий для площадки Билибинской АЭС.

Для превентивного предотвращения возможных отказов оборудования, повышения устойчивости энергоблоков или обеспечения его безопасного останова в условиях высокой или низкой температуры наружного воздуха требуется разработка специальной Инструкции, предусматривающей необходимый комплекс корректирующих действий персонала.

Для условий низких температур наружного воздуха с наложением останова всех 4-х энергоблоков предусмотрены также меры по сохранению в работе системы расхолаживания реактора, сохранению теплоснабжения ответственных потребителей промплощадки и предотвращению размораживания оборудования (Блочно-модульная котельная, обеспечивающая теплоснабжение промплощадки с потреблением дизельного топлива 28,8 т/сут; ПАЭС, обеспечивающая электроснабжение промплощадки с потреблением дизельного топлива 24 т/сут; запас дизельного топлива 300 м³).

Восполнение утечек технологической воды на АЭС происходит из водохранилища на ручье Большой Поннеурген. Водозабор осуществляется со дна водоема. При разнице в УМО УС, равное 6 м, толщина льда составляет 2 м. Таким образом, перерывов в водоснабжении не происходит. Применим критерий исключения С.

П8.3.3.27.2 Устойчивые высокие летние температуры

Устойчивая высокая летняя температура может привести:

- к снижению охлаждающих способностей конечного поглотителя;
- к снижению охлаждения важных для безопасности помещений блока (БЩУ, КРУ и т.п.) из-за снижения охлаждающей способности систем вентиляции, что потенциально может привести нарушению работоспособности расположенного в них оборудования.

Все оборудование станции расположено в закрытых отапливаемых и вентилируемых помещениях. Максимальная летняя температура составляет +33 °С и наблюдается с частотой 1 раз в 50 лет. Рост температуры является постепенным процессом и у персонала будет время, чтобы принять необходимые меры. Применим критерий исключения С.

П8.3.3.28 Снежная лавина

Возможными последствиями снежной лавины являются:

- динамическое воздействие;
- статическое воздействие;
- ударное воздействие;
- обрушение кровли;
- избыточное давление во фронте ВУВ.

Для сопки, на склоне которой расположена Билибинская АЭС не характерно образование лавин. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.29 Гололед

Возможными последствиями гололеда являются:

- повышенная нагрузка на элементы круглого сечения;
- разрушение опор линий связи и электроснабжения;

- отказ систем связи, электроснабжения.

Перечисленные последствия приводят к обесточиванию блока. Потеря внешнего электроснабжения учтена при рассмотрении ВАБ для внутренних отказов. Применим критерий исключения В.

П8.3.3.30 Град

Возможными последствиями града являются:

- динамическое воздействие;
- сопутствующее затопление.

Град создает ударные нагрузки на элементы внешнего остекления зданий и на элементы воздушных линий электропередач. Наиболее тяжелым последствием данного внешнего воздействия будет обесточивание блока. Частоты последствий данного внешнего исходного события уже учтены в общей частоте обесточивания при выполнении ВАБ для внутренних ИС. Применим критерий исключения D.

П8.3.3.31 Засуха

Возможными последствиями засухи являются:

- потеря охлаждения оборудования АЭС;
- нарушение условий работы оперативного персонала АЭС.

Засуха представляет собой явление продолжительного (от нескольких недель до месяцев) периода устойчивой погоды с высокими для данной местности температурами воздуха и малым количеством осадков.

В районе размещения площадки Билибинской АЭС движение воздушных масс в летний период направлено преимущественно со стороны Северного ледовитого океана, они приносят влажный воздух, вследствие чего основное количество осадков выпадает летом, и в начале осени. Таким образом, засухи не характерны для района размещения Билибинской АЭС, применим критерий исключения А.

П8.3.3.32 Ливневые осадки

Возможным последствием ливневых осадков является разрушение зданий и сооружений АЭС из-за образования бассейна на крышах.

Годовое количество осадков в районе Билибинской АЭС невелико и составляет 275 мм. Осадков интенсивностью более 30 мм/сутки не отмечено. Водоотводящие конструкции зданий и территории обеспечивают с запасом отвод дождевой и талой воды без затопления помещений АЭС и влияния на ее безопасность. Событие исключается по критерию Е-а).

П8.3.3.33 Локальные ливневые осадки

Возможным последствием локальных ливневых осадков является затопление оборудования АЭС из-за наличия локализованных путей проникновения потоков воды в помещения АЭС.

Площадка расположена на трех террасах на склоне сопки с углом склона 15°. Площадка дренирована промливневой канализацией. Вследствие этого на площадке не происходит накопления воды вследствие ливня. Применим критерий исключения Е-а).

П8.3.3.34 Не сейсмические движения земной поверхности

Возможными последствиями не сейсмических движений земной поверхности являются:

- разрушения зданий и сооружений АЭС;
- разрушение границ технологических водоемов.

Медленные разрывные и складчатые движения, сопровождаемые деформациями пород и подвижками по разрывам

Опасность могут представлять:

- подвижка по разрыву более или равна 0,3 м. Геодинамические зоны с градиентом скорости четвертичных движений 10^{-6} м/год и более;
- подвижка по разрыву менее 0,3 м. Геодинамические зоны с градиентом скорости четвертичных движений от 10^{-9} до 10^{-6} м/год;

Медленные движения с подвижками по разрывам более или равные 0,3 м возможны только в активизированных зонах (зонах ВОЗ и прилегающих блоках с возможными землетрясениями с $M = 5-6$), расположенными от площадки на расстоянии 700-800 км. В пределах пункта и на площадке активных разрывов нет. Вертикальные движения в пределах площадки в пределах погрешности измерений

Пункт и площадка расположены в асейсмичной зоне центральной части отрогов Северо – Анюйского нагорья в пределах Кепервеевской горной гряды с потенциальной рассеянной сейсмичностью с $M = 3$. Такие территории характеризуется градиентами скоростей четвертичных движений около 10^{-10} м/год

Осадки и крены основных сооружений Билибинской АЭС регулярно отслеживаются. Согласно данным, приведенным в П8.2.4.1, осадки зданий АЭС не превышают установленных пределов.

Применим критерий исключения А.

П8.3.3.35 Сеймотектонические разрывные смещения, сейсмодислокации, сеймотектонические поднятия, опускания блоков земной коры

Возможными последствиями сеймотектонических разрывных смещений, сейсмодислокаций, сеймотектонических поднятий, опусканий блоков земной коры являются быстрые сброс, сдвиг и другие разрывы земной коры, сопровождаемые сильными колебаниями.

Рассматриваемое воздействие имеет повреждающий потенциал при условии сейсмичности более или равной 8 баллов. Согласно [9] зона размещения Билибинской АЭС характеризуется уровнем сейсмичности – 5 баллов при повторяемости 10^{-4} 1/год. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.36 Землетрясение

Землетрясения в районе Билибинской АЭС и их последствия рассмотрены в сейсмическом ВАБ.

П8.3.3.37 Извержение вулкана

Возможными последствиями извержения вулкана являются:

- смещения оснований;
- ударные воздействия;
- высокотемпературные воздействия;
- токсичные выбросы.

В районе размещения Билибинской АЭС обнаружен вулкан, получивший название Анюйского. Расстояние от площадки до вулкана составляет 100 км. Данного расстояние достаточно, чтобы защитить АЭС от перечисленных выше воздействий. Кроме того, согласно выполненной датировке [21] последнее извержение произошло около 250 тысяч лет назад.

Применим критерий исключения А.

П8.3.3.38 Грязевой вулканизм

Возможными последствиями грязевого вулканизма являются:

- грязевое затопление;
- загазованность;
- температурные воздействия;

- деформации оснований.

В районе размещения Билибинской АЭС грязевой вулканизм отсутствует. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.39 Оползни

Возможным последствием оползня является смещение грунтовых оснований.

В районе размещения Билибинской АЭС отсутствуют предпосылки для возникновения оползня. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.40 Обвалы и оползни-обвалы

Возможными последствиями обвалов и оползней-обвалов являются смещения грунтовых оснований.

В районе размещения Билибинской АЭС отсутствуют предпосылки для возникновения обвалов и оползней-обвалов. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.41 Сели

Возможными последствиями возникновения селя являются:

- ударное воздействие;
- гидродинамическое воздействие

Сели это потоки с очень большой концентрацией минеральных частиц, камней и обломков горных пород (от 10...15 до 75 % объема потока), возникающие в бассейнах небольших горных рек и временных водотоков и вызванные, как правило, ливневыми осадками, реже интенсивным таянием снегов, а также прорывом моренных и завальных озер, обвалом, оползнем, землетрясением.

Для возникновения селя требуется одновременно совпадение трех обязательных условий:

- наличие крутых склонов и сильно расчленённый рельеф, значительные уклоны (не менее 10-15°) постоянных и временных водотоков;
- наличие на склонах водосбора больших запасов легко перемещаемых продуктов разрушения горных пород (песка, гравия, гальки, небольших камней);
- наличие значительного объема воды для смыва со склонов камней и грунта и их перемещения по руслу.

Площадка Билибинской АЭС находится на склоне сопки с углом склона 15°. Водотоки в направлении площадки АЭС на сопке отсутствуют. Сопка покрыта плотным травяным покровом, редкими деревьями и кедровым стлаником. Корни деревьев держат верхнюю часть почвы, что предотвращает возникновение селевого потока. Лес регулирует сток, уменьшает массу воды, рассекает потоки на отдельные ослабленные струи. Следов образования селевых потоков не отмечено. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.42 Лавины снежно-каменные и щебенисто-глыбовые

Возможными последствиями возникновения лавины снежно-каменной или щебенисто-глыбовой являются:

- ударное воздействие;
- гидродинамическое воздействие.

Площадка Билибинской АЭС находится на склоне сопки с углом склона 15°. Сопка покрыта плотным травяным покровом, редкими деревьями и кедровым стлаником. Камни и щебенка в количествах, которые позволили бы образоваться лавинам – отсутствуют. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.43 Оседания и провалы территории

Последствиями оседания и провалов территории промплощадки АЭС являются разрыв коммуникаций, перекосы и повреждения зданий и сооружений.

В естественных условиях района размещения АЭС карстовые, суффозионные и суффозионно-карстовые процессы отсутствуют. На площадке АЭС нет предпосылок для развития этих процессов под влиянием изложенных факторов. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.44 Размывы подземные, в том числе подземные проявления карста

Последствиями подземных размывов и образования карста на территории промплощадки АЭС являются образование провалов, разрыв коммуникаций, перекосы и повреждения зданий и сооружений.

В естественных условиях района размещения АЭС карстовые, суффозионные и суффозионно-карстовые процессы отсутствуют. На площадке АЭС нет предпосылок для развития этих процессов под влиянием изложенных факторов. Применим критерий исключения А.

Применим критерий исключения А.

П8.3.3.45 Размывы берегов, склонов, русел

Последствиями размывов берегов, склонов, русел являются:

- повреждения и трещины;
- оседания грунтов;
- провалы оснований.

Русло ручья Большой Поннеурген находится на расстоянии 330 метров и более от площадки Билибинской АЭС. Склон, на котором расположена площадка АЭС полого спускается к руслу ручья. Сам ручей не полноводен, ширина русла составляет порядка 10 м. таким образом предпосылки к подмыву площадки АЭС отсутствуют. Применим критерий исключения А.

П8.3.3.46 Мерзлотно-геологические процессы

Последствиями протекания мерзлотно-геологических (криогенных) процессов являются деформации основания.

При строительстве и эксплуатации основных сооружений Билибинской АЭС на вечномерзлых грунтах» применен принцип II использования вечномерзлых грунтов основания, т.е. с допущением их оттаивания в процессе эксплуатации.

После образования стабильной чаши оттаивания, грунты основания сооружений по периметру работают как талые, сезоннопромерзающие грунты

На промплощадке за время эксплуатации станции произошли существенные изменения мерзлотных условий, образовалась чаша оттаивания в основании тепловыделяющих сооружений главного корпуса и радиаторных охладителей (глубина чаши протаивания по состоянию к 2000 г. составляет 56 м).

По заключению ВНИИОСП глубина оттаивания под главным корпусом и радиаторными охладителями значительно превышает глубину распространения сжимаемой толщи от здания. Следовательно, дальнейшее развитие чаш оттаивания не приведет к дополнительным осадкам фундаментов указанных сооружений.

Многолетние наблюдения за кренами и осадками основных задний Билибинской АЭС показал, что их фундаменты сохраняют устойчивость. Кроме того, главный корпус располагается на железобетонной плите толщиной 700-1500 мм, опирающейся на сланцевые коренные породы. Таким образом, мерзлотно-геологические процессы больше не оказывают влияние на работу АЭС.

Поскольку воздействие характеризуется медленностью процесса развития, у персонала будет достаточно времени для принятия необходимых мер. Применим критерий исключения С.

В тоже время, рассматриваемые процессы оказывают влияние на надежность внешней электросети, приводя к частым падениям опор линий электропередачи. Потеря

внешнего электроснабжения рассмотрена в рамках ВАБ для внутренних отказов, применим критерий исключения В.

Воздействие исключается по критериям В и С.

П8.3.3.47 Деформации специфических грунтов

Деформации специфических грунтов возникают в результате развития следующих природных и техногенных процессов:

- термокарст;
- разжижение;
- солифлюкция;
- суффозионные процессы.

Подобные деформации грунтов приводят к деформациям оснований зданий и сооружений.

На площадке отсутствуют слабые водонасыщенные грунты с модулем деформации менее 20 МПа, разжижаемые, просадочные, набухающие, аллювиальные грунты, солифлюкции, складчатые деформации, выпоры [22].

Применим критерий исключения А.

П8.3.3.48 Аномальное снижение уровня воды в замкнутых водоемах (не связанное с температурными явлениями)

Аномальное снижение уровня воды в замкнутых водоемах (не связанное с температурными явлениями) может являться причиной:

- потери охлаждения оборудования АЭС;
- отказ систем вентиляции;
- нарушение условий работы оперативного персонала АЭС.

Водохранилище не ручье Большой Поннеурген используется для подпитки систем технической водой для компенсации утечек. Водозаборники установлены на дне водохранилища. НПУ водохранилища равно 348,3 м, УМО – 328,75 м.

Причинами снижения уровня воды в водохранилище могут являться:

- недостаточное количество осадков в течении длительного периода времени;
- разрушение дамбы и потеря всего водохранилища.

Низкие уровни воды отмечаются в период пересыхания (перемерзания) речных русел. Минимальные уровни наблюдаются обычно в мае перед началом снеготаяния.

Разрушение дамбы водохранилища возможно вследствие землетрясения либо экстремального половодья при переливе дамбы.

Поскольку водохранилище используется только для компенсации потерь технической воды, в случае невозможности компенсировать потери персонал АЭС будет иметь возможность остановить блоки.

Событие исключается по критерию С.

П8.3.3.49 Биологические явления

Возможными последствиями развития биологических явлений являются:

- забивание фильтров систем забора технологической воды;
- потеря охлаждающей способности теплообменного оборудования;
- повреждение силовых и управляющих кабелей и проводов.

На водозаборах Билибинской АЭС отсутствуют предпосылки для забивания фильтров.

Проектом Билибинской АЭС предусмотрены следующие проектные и эксплуатационные мероприятия в отношении защиты систем вентиляции от биологических явлений:

- на приточных камерах установлены защитные решетки, позволяющими предотвратить попадание габаритных посторонних предметов в воздуховоды и фильтрующие устройства;
- приточные камеры расположены на высотных отметках, ограничивающих поступление габаритных посторонних предметов в воздуховоды;
- согласно нормам НП-036-05 системы приточной вентиляции должны иметь технические средства, компенсирующие возможное уменьшение расхода воздуха, подаваемого в помещения АЭС, ниже значения, обоснованного в проекте АЭС, из-за увеличения сопротивления фильтра.

Событие исключается по критерию Е-а).

Распределительное устройство на Билибинской АЭС расположено в закрытом помещении главного корпуса и поэтому защищено от внешних воздействий. Однако возможные отказы на подстанциях, в частности «Прима» и «КСМ» могут приводить к внешнему обесточиванию блока. Внешнее обесточивание блока рассмотрено в рамках ВАБ для внутренних отказов. Применим критерий исключения В.

Событие исключается по критериям В и Е-а).

П8.3.3.50 Внеземные воздействия

Источниками внеземных воздействия являются:

- метеориты;
- падающие искусственные спутники земли и космические аппараты, в том числе отработанные ступени разгонных блоков и ракет.

Возможными последствиями внеземные воздействия являются:

- повреждение зданий и сооружений;
- повреждение линий электропередач;
- вторичные пожары.

На поверхность Земли из космоса выпадает от 2 до $5 \cdot 10^6$ т мелкодисперсного вещества в год. Около 10 % его массы составляют магнитные железо-оксидные шарики, размером в десятые и сотые доли миллиметра. Объекты характерным размером 3 м, 6 м и 10 м появляются в атмосфере Земли с частотой примерно один раз в месяц, один раз в год и один раз в четыре года соответственно. Объекты размером до 10 м включительно детонируют на высоте более 10 км от поверхности Земли и не наносят существенного вреда, но вызывают существенную тревогу у тех, кто наблюдает это на Земле (Эль Пасо, штат Техас, 9 октября 1997 г.). Метеорит характерным размером 10 м имеет кинетическую энергию эквивалентную 100 килотоннам в тротиловом эквиваленте (Хиросима – 150 килотонн). Метеориты характерным около 80 м (1908 г.-Тунгусский метеорит, 1930 г. - Бразилия) оставляли повреждения на площади примерно 2000 км². Следы метеорита (астероида) размером 1,5 км, оставившего кратер диаметром 25 км в центре, которого расположен город Нордлинген, находятся в Германии (Бавария, кратер Риз). Метеорит упал 15 миллионов лет назад и поднял с Земли больше триллиона тонн материала, разбросав его по северному полушарию Земли. События такого масштаба оцениваются астрофизиками частотой один раз в 100 000 лет [22]. Самый большой след от падения метеорита (астероида) размером 10 км, кратер диаметром 180 км (Мексика, Чиксулуб), имеет возраст около 65 миллионов лет и предполагается, что это событие стало причиной гибели 70 % населения Земли на границе мезозоя и кайнозоя. Энергия этого удара оценивается в 100 000 гигатонн в тротиловом эквиваленте.

Оценки частот падения метеоритов (астероидов) на Землю выполняются в течение достаточно продолжительного времени. Основания для расчётов самые разные - количество ударных кратеров на Земле и других планетах, частота пролёта крупных тел мимо Земли и др. [22-25].

Следует отметить, что по результатам обработки представительного набора исторических данных по следам падения метеоритов (астероидов) астрофизиками сделан вывод, что частота падения внеземного объекта размером больше 1 км оценивается как

один раз в миллион лет (10^{-6} 1/год), при этом последствия такого падения имеют глобальный характер для планеты. Данные выводы учтены, в частности в Туринской шкале астероидно-кометной опасности. В настоящем анализе такие планетарные события не рассматриваются, и оценка частот выполняется для событий с падением на площадку Билибинской АЭС метеороидов размером менее 1 км.

На рисунке П8.3.3.50.1 приведено несколько распределений вида «характерный размер-частота падения астероида». Они используются в дальнейшем для анализа частот и выполнения анализа неопределенности.

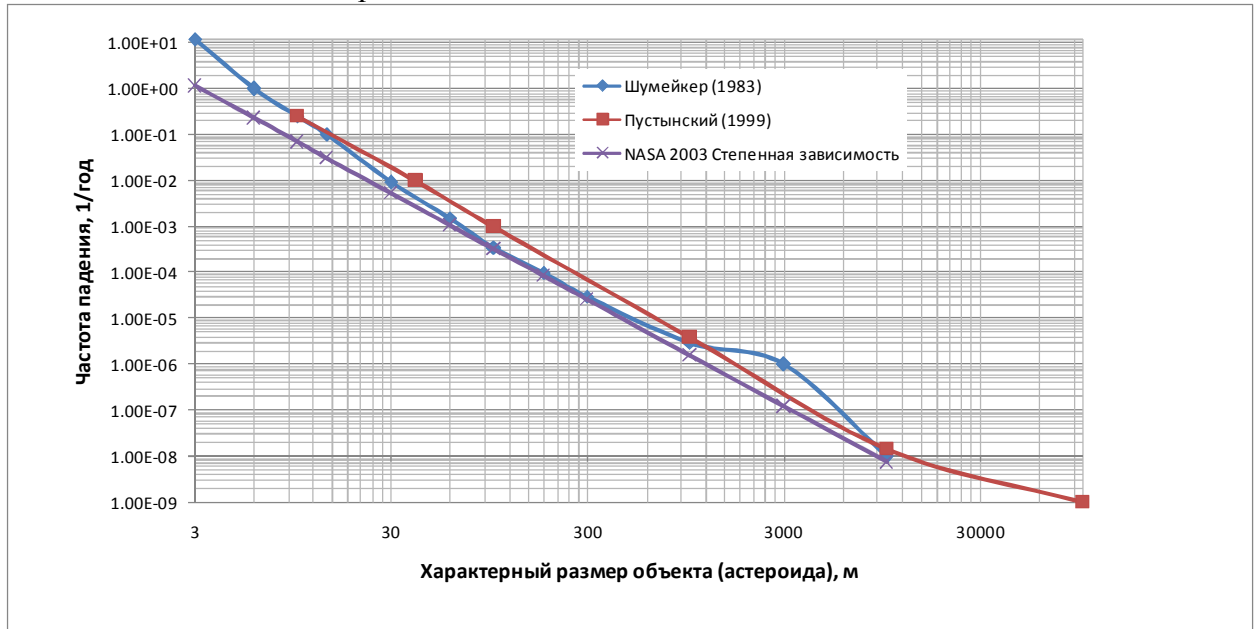


Рисунок П8.3.3.50.1 – Кривые риска для оценки частот падения метеороидов (астероидов)

Для вычисления частоты падения метеороита на площадку АЭС при малом отношении площади площадки к площади поражения метеороитом, можно использовать следующее соотношение

$$f = \bar{f}(D) \cdot \frac{S_d(D)}{S_e},$$

где $\bar{f}(D)$ – частота падения на Землю метеороита (астероида) характерным размером D ;

$S_d(D)$ – Площадь зоны разрушений от падения метеороита характерным размером D ;

S_e – Площадь поверхности Земли равная $5,10 \cdot 10^8$ км².

Под зоной разрушений понимается круговая зона вокруг объекта, давление ударной волны в пределах которой, больше либо равно 1 кПа. Последствия от события аналогичны последствиям от событий «сильный ветер» или «взрыв», т.е. разрушение ограждающих конструкций главного корпуса. Частота данного события менее частоты события «сильный ветер», следовательно, применим критерий исключения D.

П8.3.3.51 Образование летящих предметов при разрушении ротора турбины

Разрушению ротора турбины или отрыв лопатки ротора турбины приводит к следующим последствиям:

- нарушению работы соответствующего блока, разгерметизации ОЦК блока;
- лопатка после вылета за пределы корпуса турбины потенциально может пробить строительные конструкции, трубопроводы, нарушить работу другого оборудования.

В результаты рассмотрения последствия отрыва лопатки турбины в 4.4 получено два сценария:

- 1) разгерметизация ОЦК блока, вероятность $2,8E-05$ 1/год;
- 2) разгерметизация ОЦК блока с пожаром в машзале, либо попадание летящего предмета от другого блока в ОЦК с пожаром в машзале, вероятность $1,12E-04$ 1/год.

Событие не может быть исключено из рассмотрения включается в окончательный перечень внешних воздействий.

П8.3.4 ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИИ НОМЕНКЛАТУРЫ ПРОЦЕССОВ, ЯВЛЕНИЙ И ФАКТОРОВ НП-064-05

Номенклатура процессов, факторов и явлений природного и техногенного происхождения приведена в разделе 2 НП-064-05. Данная номенклатура полностью покрывается рекомендованным перечнем внешних воздействий, приведенных в Приложении 5 РБ-021-14, рассмотренных в П8.3.3 настоящего ВАБ. Расширение списка воздействий, рассмотренных в П8.3.3, не требуется.

П8.3.5 ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИИ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ИЗ ВАБ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ АЭС

Согласно разделу III подраздела 15 РБ-021-14 при выполнении ВАБ для внешних воздействий необходимо учитывать опыт выполнения ВАБ АЭС внешних воздействий, выполненных для блоков-прототипов. Билибинская АЭС является уникальной и прототипы у нее отсутствуют. Может быть учтен опыт выполнения ВАБ внешних воздействий блока 5 Нововоронежской АЭС [26], блоков 1 и 2 Нововоронежской АЭС-2 [17], АЭС «Белене» [8]. Сравнение перечней внешних воздействий, рассмотренных в рамках ВАБ перечисленных АЭС и списка воздействий, разработанного в настоящем ВАБ, рассмотренного в П8.3.3, показало, что рассмотрение дополнительных воздействий не требуется.

П8.3.6 ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИИ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ДЛЯ БЛОКА АЭС

Анализ данных о районе размещения Билибинской АЭС показал, что в районе размещения АЭС отсутствуют какие-либо специфические источники внешних воздействий, не рассмотренные в П8.3.3.

П8.3.7 ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИИ ПЕРЕЧНЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СОЧЕТАНИЙ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

П8.3.7.1 Матрица сочетаний внешних воздействий

В соответствии с п. 26 РБ-021-14 была разработана матрица сочетаний внешних воздействий (рисунок П8.3.7.1.1). Она составлена в соответствии с рекомендациями РБ-021-14. Для удобства восприятия включенные в матрицу воздействия пронумерованы. Номера во главе столбцов соответствуют номерам воздействий в стоках. Номерам в пересечениях строк и столбцов в матрице соответствуют следующие сочетания воздействий:

- 1) засуха;
- 2) гололед и ветер, метель;
- 3) туман (при малой скорости воздуха);

- 4) пыльная буря, загрязнения при смерче;
 - 5) гроза со шквальным ветром или смерчем;
 - 6) гроза с ливневыми осадками или градом;
 - 7) ветер и летящие предметы, смерч и летящие предметы;
 - 8) образование нагонной волны;
 - 9) концентрация ледяных отложений и льдин при ветрах;
 - 10) засорение водоемов летящими предметами при смерче, концентрация органических отложений (водорослей) при ветрах, смерчах;
 - 11) аварии на речном транспорте при ураганах или туманах;
 - 12) ледяная шуга в воде;
 - 13) пожар после падения самолета;
 - 14) лесной пожар в районе площадке вследствие засухи;
 - 15) облака токсических и взрывчатых веществ после воздействия с воздуха;
 - 16) оседание воздушных загрязнений в воде;
 - 17) зажоры, заторы;
 - 18) эрозия берегов рек, оползни;
 - 19) взрывы после аварии на наземном транспорте в том числе в тумане и при снегопадах;
 - 20) промерзание грунта и воздействия на подземные коммуникации;
 - 21) пожар при землетрясении;
 - 22) прорыв дамбы и ветровая нагонная волна;
 - 23) прорыв дамбы и половодье;
 - 24) половодье и ветровая нагонная волна;
 - 25) прорыв дамбы, половодье, ветровая нагонная волна.
- Далее рассмотрены перечисленные сочетания воздействий.

| Наименование воздействия | | Номер воздей- ствия | Воздействие атмосферы | | | | | | | Воздействие гидросферы | | | | | | | | Воздействие литосферы | | | |
|--------------------------|--|---------------------------|-----------------------|-------|----|----|----|---|----|------------------------|--------|----|----|----|----|----|----|-----------------------|----|----|----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Воздействие атмосферы | Скорость воздуха/давление воздуха | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Температура воздуха | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Осадки, отложения | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Влажность воздуха | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Загрязнение воздуха | 5 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Электромагнитное воздействие | 6 | 5 | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Внешнее воздействие с воздуха | 7 | 7 | | | | 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| Воздействие гидросферы | Скорость водного потока | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Уровень воды | 9 | 8, 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Температура воды | 10 | | 1, 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Воздействие на грунт воды | 11 | | | | | | | | 18 | 21 | | | | | | | | | | |
| | Появление льда в воде | 12 | 9 | 12 | | | | | | 17 | | | | | | | | | | | |
| | Появление засора в водоемах | 13 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Загрязнение воды водоемов | 14 | | | | | 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Внешнее воздействие со стороны водоемов | 15 | 11, 22, 25 | | | 11 | | | | | 23, 25 | | | | | | | | | | |
| Воздействие литосферы | Движение земной поверхности (ускорения) | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ограниченное воздействие со стороны грунта | 17 | | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Внешнее воздействие со стороны грунта | 18 | 19 | | 19 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Пожар | 19 | | 17 | | | | | 16 | | | | | | | | 21 | | | | |

Рисунок П8.3.7.1.1 – Матрица сочетаний внешних воздействий

П8.3.7.2 Засуха

Засуха рассмотрена в П8.3.3.31. Был применен критерий исключения С.

П8.3.7.3 Гололед и ветер, метель

Метель в условиях, благоприятных для образования гололеда приведет к образованию сложных отложений, прежде всего на линиях электропередачи, что приведет к образованию на них механической нагрузки, которая усугубится ветровым воздействием.

Максимальным последствием от сочетания перечисленных воздействий будет обесточивание. Перечисленные последствия приводят к обесточиванию блока. Потеря внешнего электроснабжения учтена при рассмотрении ВАБ для внутренних отказов. Применим критерий исключения В.

П8.3.7.4 Туман (при малой скорости воздуха)

Туман может являться причиной аварии на транспорте. Аварии на транспорте рассмотрены в разделах П8.3.3.2, П8.3.3.5, П8.3.3.6. Применим критерий исключения В.

П8.3.7.5 Пыльная буря, загрязнения при смерче

Пыльная буря рассмотрена в П8.3.3.24. Применен критерий исключения А.

Смерч рассмотрен в П8.3.3.21. Применен критерий исключения А.

Следовательно, для сочетания внешних воздействий также применим критерий А.

П8.3.7.6 Гроза со шквальным ветром или смерчем

Последствия от грозы со шквалистым ветром могут привести к обесточиванию при попадании молнии в электрооборудование и/или обрыве проводов из-за действия ветра. Обесточивание АЭС рассмотрены в рамках ВАБ внутренних отказов. Применим критерий исключения В.

Смерчи не характерны для района размещения Билибинской АЭС. Применим критерий исключения А.

П8.3.7.7 Гроза с ливневыми осадками или градом

Возможным последствием грозы является обесточивание.

Град создает ударные нагрузки на элементы внешнего остекления зданий и на элементы воздушных линий электропередач. Наиболее тяжелым последствием данного внешнего воздействия будет обесточивание блока. Обесточивание АЭС рассмотрены в рамках ВАБ внутренних отказов. Применим критерий исключения В.

П8.3.7.8 Ветер и летящие предметы. Смерч и летящие предметы

Событие с образованием летящих предметов во время сильного ветра рассмотрено в П8.3.3.22. Применим критерий исключения В.

Поскольку событие «смерч» исключено по критерию А, рассмотрение его в сочетании с другими внешними воздействиями не требуется.

П8.3.7.9 Образование нагонной волны

Нагонная волна образуется вследствие ветрового воздействия на крупные водоемы. Возле площадки АЭС такие водоемы отсутствуют. Применим критерий исключения А.

П8.3.7.10 Концентрация ледяных отложений и льдин при ветрах

Концентрация ледяных отложений и льдин при ветрах может приводить:

- механическим нагрузкам;
- заторам, зажорам и повышению уровня воды в водоеме;

– нарушение работы водозаборных устройств.

В непосредственной близости от площадки АЭС отсутствуют водные объекты, ледообразование на которых может привести к механическому воздействию объектов АЭС.

Водозабор из водохранилища на ручье Большой Поннеурген осуществляется посредством донного водозабора. Отметка УМО составляет 328,75 м, НПУ – 338,30 м. Минимальный наблюдаемый уровень 328,75 м. Поскольку водохранилище используется для компенсации утечек технической воды, в случае невозможности осуществления подпитки у персонала будет возможность остановить блоки АЭС. Применим критерий исключения С.

П8.3.7.11 Засорение водоемов летящими предметами при смерче, концентрация органических отложений (водорослей) при ветрах, смерчах

Наиболее опасное последствие от попадания летящих предметов и концентрации органических отложений в водохранилище в нарушении компенсации утечек систем АЭС.

Смерчи не характерны для района размещения Билибинской АЭС. Применим критерий исключения А.

Водозабор из водохранилища на ручье Большой Поннеурген осуществляется посредством донного водозабора. Отметка УМО составляет 328,75 м, НПУ – 338,30 м. Поскольку водохранилище используется для компенсации утечек технической воды, в случае невозможности осуществления подпитки у персонала будет возможность остановить блоки АЭС. Применим критерий исключения С.

П8.3.7.12 Аварии на речном транспорте при ураганах или туманах

В районе Билибинской АЭС отсутствуют возможности для работы водного транспорта. Применим критерий исключения А.

П8.3.7.13 Ледяная шуга в воде

Ледяная шуга может привести к нарушению работы водозаборных устройств. Последствия аналогичны рассмотренным в П8.3.7.10. Применен критерий исключения С.

П8.3.7.14 Пожар после падения самолета

Событие, связанное с падением самолета или его фрагментов на площадку АЭС входит в состав рассмотрения события «падение летательного аппарата или других летящих предметов», рассмотренного в П8.3.3.1. Применим критерий исключения В.

П8.3.7.15 Лесной пожар в районе площадке вследствие засухи

В районе размещения Билибинской АЭС на расстоянии до 2 км (таблица приложения 5 РБ-021-14) отсутствуют лесные массивы, склады взрывчатых веществ, продуктопроводы и магистральные трубопроводы нефти, промышленные предприятия, производства по добыче угля и торфа, торфяники (применим критерий исключения А).

П8.3.7.16 Облака токсических и взрывчатых веществ после воздействия с воздуха

Событие, связанное с падением самолета или его фрагментов на площадку АЭС входит в состав рассмотрения события «падение летательного аппарата или других летящих предметов», рассмотренного в П8.3.3.1. Применим критерий исключения В.

В районе размещения площадки АЭС отсутствуют источники выброса в атмосферу токсичных. Применим критерий исключения А.

Взрыв дрейфующих облаков – исключен, т.к. ближайшее хранилище горюче-смазочных материалов, запасы горючего, в котором позволили бы образовать подобное

облако, находится в удалении более 20 км и отделено от станции 2-я горными грядами (сопками). С учетом розы ветров и скорости ветра, а также температуры воздуха такое явление вблизи станции невозможно [12]. Применим критерий исключения А.

Сочетание событий исключается по критериям А и В.

П8.3.7.17 Оседание воздушных загрязнений в воде

Воздействие, связанное с загрязнением атмосферы в районе АЭС выбросами со стационарных и передвижных источников рассмотрены в П8.3.3.12. Применен критерий исключения А.

П8.3.7.18 Зажоры, заторы

Воздействие рассмотрено в П8.3.3.20. Применен критерий исключения А.

П8.3.7.19 Эрозии берегов рек, оползни

Воздействие рассмотрено в П8.3.3.45. Применен критерий исключения А.

П8.3.7.20 Взрывы после аварии на наземном транспорте, в том числе в тумане и при снегопадах

Неблагоприятные природные условия способствуют возникновению аварий на транспорте. Последствия аварий на транспорте рассмотрено в П8.3.3.2. Рост количества аварийных событий вследствие неблагоприятных метеорологических условий не приведет к увеличению воздействия на АЭС, относительно уже рассмотренных. Применим критерий исключения В.

П8.3.7.21 Промерзание грунта и воздействия на подземные коммуникации

Событие рассмотрено в П8.3.3.27. Применен критерий исключения В.

П8.3.7.22 Пожар при землетрясении

Последствия землетрясений рассматриваются в рамках сейсмического ВАБ.

П8.3.7.23 Прорыв дамбы и ветровая нагонная волна

Сочетание внешних воздействий «прорыв дамбы» и «ветровая нагонная волна» не ухудшит последствия относительно события «прорыв дамбы», рассмотренное в П8.3.3.8 и в П8.3.3.10, но имеет меньшую частоту возникновения. Применим критерий исключения D.

П8.3.7.24 Прорыв дамбы и половодье

В случае гидродинамической аварии во время прохождения пика паводка 0,01 % повторяемости, при уровне воды в верхнем бьефе ФПУ 340,05 м в ее теле образуется проран шириной 50 м. Поток в нижний бьеф будет вынесено 35500 м³ грунта плотины (суглинок, содержащий до 20 % гальки, гравия, дресвы, щебня). Максимальная высота волны достигнет 6 м, скорость волны прорыва составит 2,5 м/с.

Отметка дну ручья Большой Поннеурген в районе площадки равна 288,00 м, вследствие рассматриваемого сочетания событий произойдет кратковременный подъем уровня воды до отметки 294,00 м. Поскольку минимальная отметка площадки АЭС равна 308,00 м, площадка не будет подтоплена. Однако потеря водохранилища приведет невозможности компенсации утечек технической воды. Однако у персонала будет достаточно времени чтобы остановить блоки. Применим критерий исключения С.

П8.3.7.25 Половодье и ветровая нагонная волна

Согласно П8.2.3.1, в районе АЭС максимальный расход воды в течении года вызывает дождевой паводок. При повторяемости дождевого паводка 0,01 % уровни воды в

районе площадки Билибинской АЭС поднимутся на 1,6-1,9 м над отметкой дна ручья Большой Поннеурген 288,00 м. Отметка площадки АЭС 308,00 м и выше, отметка площадки в районе главного корпуса АЭС 322,0 м и выше. Учитывая, что ручей Большой Поннеурген является относительно небольшим водотоком (рисунок П8.2.3.1.1), на нем значительной нагонной волны не образуется, и площадка подтоплена не будет.

Применим критерий исключения D.

П8.3.7.26 Половодье, прорыв дамбы и ветровая нагонная волна

Ручей Большой Поннеурген является небольшим водотоком, с шириной русла не превышающей 10 м. После прорыва дамбы водохранилища на фоне половодья произойдет подъем уровня воды в водохранилище на 6 м и произойдет разлив ручья до ширины нескольких сотен метров, но при этом глубина водотока составит не более двух метров (рисунок П8.2.3.1.1). В этой связи возможная ветровая нагонная волна окажется незначительной и последствия от события не ухудшатся относительно последствий, рассмотренных в П8.3.7.24. Применим критерий исключения E-a).

Однако потеря водохранилища приведет невозможности компенсации утечек технической воды. Однако у персонала будет достаточно времени чтобы остановить блоки. Применим критерий исключения C.

П8.3.8 РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭТАПА «ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ»

В таблице П8.3.8.1 приведены результаты выполнения анализа внешних воздействий на основании примерного перечня РБ-021-14 и их сочетаний.

Таблица П8.3.8.1 – Результаты выполнения этапа «формирование перечня внешних воздействий» на основании примерного перечня РБ-021-14

| Номер раздела, где рассмотрено | Наименование | Результат рассмотрения |
|--------------------------------|---|---|
| П8.3.3.1 | Падение летательного аппарата или других летящих предметов | Исключено по критерию E-б) |
| П8.3.3.2 | Взрыв: | |
| | – взрыв склада взрывчатых веществ; | События исключены по критерию E-a) |
| | – взрыв бензовоза; | |
| | – взрыв на складе дизельного топлива; | Событие включено в окончательный перечень |
| | – прочие стационарные и передвижные источники | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.3 | Выброс в атмосферу взрывоопасных и воспламеняющихся веществ | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.4 | Выброс ядовитых паров, газов и аэрозолей в атмосферу | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.5 | Коррозионные жидкие сбросы в поверхностные и грунтовые воды | Исключено по критерию С |
| П8.3.3.6 | Разлив масел и нефтепродуктов на прибрежных поверхностях рек, морей и океанов | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.7 | Пожар по внешним причинам | Исключено по критериям А, В |

| Номер раздела, где рассмотрено | Наименование | Результат рассмотрения |
|--------------------------------|--|---|
| П8.3.3.8 | Прорыв естественных и искусственных водохранилищ | Исключено по критерию Е-а) |
| П8.3.3.9 | Разрушение разделяющей дамбы | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.10 | Разрушение ограждающей дамбы | Исключено по критерию С |
| П8.3.3.11 | Электромагнитные импульсы и излучения | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.12 | Рассеивание выбросов промышленных предприятий в атмосфере площадки АЭС | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.13 | Удар молнии | Исключено по критерию D |
| П8.3.3.14 | Наводнение | Исключено по критерию Е-а) |
| П8.3.3.15 | Высокий уровень воды в водоемах | Исключено по критерию В |
| П8.3.3.16 | Приливы и отливы | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.17 | Волновые явления | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.18 | Сейши | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.19 | Цунами | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.20 | Ледовые явления на водотоках (заторы и зажоры) | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.21 | Смерч | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.22 | Сильный ветер, ураган | Событие включено в окончательный перечень |
| П8.3.3.23 | Снежные бури (метель) | Исключено по критерию Е-а) |
| П8.3.3.24 | Песчаные бури | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.25 | Тропический циклон | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.26 | Экстремальные снегопады и снегозапасы | Событие исключено по критериям С, Е-б) |
| П8.3.3.27 | Экстремальная температура воздуха | Событие исключено по критерию С, Е-б) |

| Номер раздела, где рассмотрено | Наименование | Результат рассмотрения |
|--------------------------------|--|--|
| П8.3.3.28 | Снежная лавина | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.29 | Гололед | Исключено по критерию В |
| П8.3.3.30 | Град | Исключено по критерию D |
| П8.3.3.31 | Засуха | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.32 | Ливневые осадки | Исключено по критерию E-a) |
| П8.3.3.33 | Локальные ливневые осадки | Исключено по критерию E-a) |
| П8.3.3.34 | Не сейсмические движения земной поверхности | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.35 | Сейсмотектонические разрывные смещения, сейсмодислокации, сейсмотектонические поднятия, опускания блоков земной коры | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.36 | Землетрясение | Рассмотрено в ВАБ для сейсмических воздействий |
| П8.3.3.37 | Извержение вулкана | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.38 | Грязевой вулканизм | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.39 | Оползни | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.40 | Обвалы и оползни-обвалы | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.41 | Сели | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.42 | Лавины снежно-каменные и щебенисто-глыбовые | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.43 | Оседания и провалы территории | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.44 | Размывы подземные, в том числе подземные проявления карста | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.45 | Размывы берегов, склонов, русел | Исключено по критерию С |
| П8.3.3.46 | Мерзотно-геологические процессы | Исключено по критериям В, С |
| П8.3.3.47 | Деформации специфических грунтов | Исключено по критерию А |
| П8.3.3.48 | Аномальное снижение уровня воды в замкнутых | Исключено по |

| Номер раздела, где рассмотрено | Наименование | Результат рассмотрения |
|--------------------------------|---|---|
| | водоемах (не связанное с температурными явлениями) | критерию С |
| П8.3.3.49 | Биологические явления | Исключено по критериям В, Е-а) |
| П8.3.3.50 | Внеземные воздействия | Исключено по критерию D |
| П8.3.3.51 | Образование летящих предметов при отрыве лопатки ротора турбины | Событие включено в окончательный перечень |
| П8.3.7.2 | Засуха | Исключено по критерию С |
| П8.3.7.3 | Гололед и ветер, метель | Исключено по критерию В |
| П8.3.7.4 | Туман (при малой скорости воздуха) | Исключено по критерию В |
| П8.3.7.5 | Пыльная буря, загрязнения при смерче | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.6 | Гроза со шквальным ветром или смерчем | Исключено по критерию А, В |
| П8.3.7.7 | Гроза с ливневыми осадками или градом | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.8 | Ветер и летящие предметы. Смерч и летящие предметы | Исключено по критерию А, В |
| П8.3.7.9 | Образование нагонной волны | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.10 | Концентрация ледяных отложений и льдин при ветрах | Исключено по критерию С |
| П8.3.7.11 | Засорение водоемов летящими предметами при смерче, концентрация органических отложений (водорослей) при ветрах, смерчах | Исключено по критериям А, С |
| П8.3.7.12 | Аварии на речном транспорте при ураганах или туманах | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.13 | Ледяная шуга в воде | Исключено по критерию С |
| П8.3.7.14 | Пожар после падения самолета | Исключено по критерию В |
| П8.3.7.15 | Лесной пожар в районе площадке вследствие засухи | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.16 | Облака токсических и взрывчатых веществ после воздействия с воздуха | Исключено по критериям А, В |
| П8.3.7.17 | Оседание воздушных загрязнений в воде | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.18 | Зажоры, заторы | Исключено по |

| Номер раздела, где рассмотрено | Наименование | Результат рассмотрения |
|--------------------------------|---|--|
| | | критерию А |
| П8.3.7.19 | Эрозии берегов рек, оползни | Исключено по критерию А |
| П8.3.7.20 | Взрывы после аварии на наземном транспорте, в том числе в тумане и при снегопадах | Исключено по критерию В |
| П8.3.7.21 | Промерзание грунта и воздействия на подземные коммуникации | Исключено по критерию В |
| П8.3.7.22 | Пожар при землетрясении | Последствия землетрясения рассматриваются в сейсмическом ВАБ |
| П8.3.7.23 | Прорыв дамбы и ветровая нагонная волна | Исключено по критерию D |
| П8.3.7.24 | Прорыв дамбы и половодье | Исключено по критерию С |
| П8.3.7.25 | Половодье и ветровая нагонная волна | Исключено по критерию D |
| П8.3.7.26 | Половодье, прорыв дамбы и ветровая нагонная волна | Исключено по критериям С, Е-а) |

П8.3.9 ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В таблице П8.3.9.1 приведен перечень внешних воздействий для Билибинской АЭС, которые не могут быть исключены на основании качественных или количественных критериев исключения, приведенных в таблице П8.3.2.1. Значения частот получены в разделе П8.4.

Таблица П8.3.9.1 – Окончательный перечень внешних воздействий

| Событие | Последствия | Частота события, 1/год |
|------------------------------------|---|------------------------|
| Взрыв на складе дизельного топлива | Разрушение главного корпуса | 9,68E-06 |
| Экстремальный ветер | Обесточивание, разрушение главного корпуса АЭС | 2,66E-05 |
| Отрыв лопатки | Разгерметизация ОЦК блока | 2,8E-05 |
| | Разгерметизация ОЦК блока (из отрыва лопатки или попадания летящего предмета с другого блока) с пожаром в машзале | 1,12E-04 |

П8.4 ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ (ЧАСТОТ) ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

П8.4.1 ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ СИЛЬНЫХ ВЕТРОВ

Оценка частоты возникновения сильного ветра выполнена на основании данных МС Билибино. Годовые максимумы скоростей ветра приведены в разделе 2. Аппроксимация выполнена распределением Гумбеля (рисунок с П8.4.1.1), рекомендуемым руководством МАГАТЭ [27]. Подгонка параметров распределения выполнена методом максимального правдоподобия. Параметры распределений Гумбеля приведены в таблице П8.4.1.1. Значения критерия согласия Колмогорова-Смирнова равно 0,19, что свидетельствует о справедливости гипотезы принадлежности выборки распределению Гумбеля.

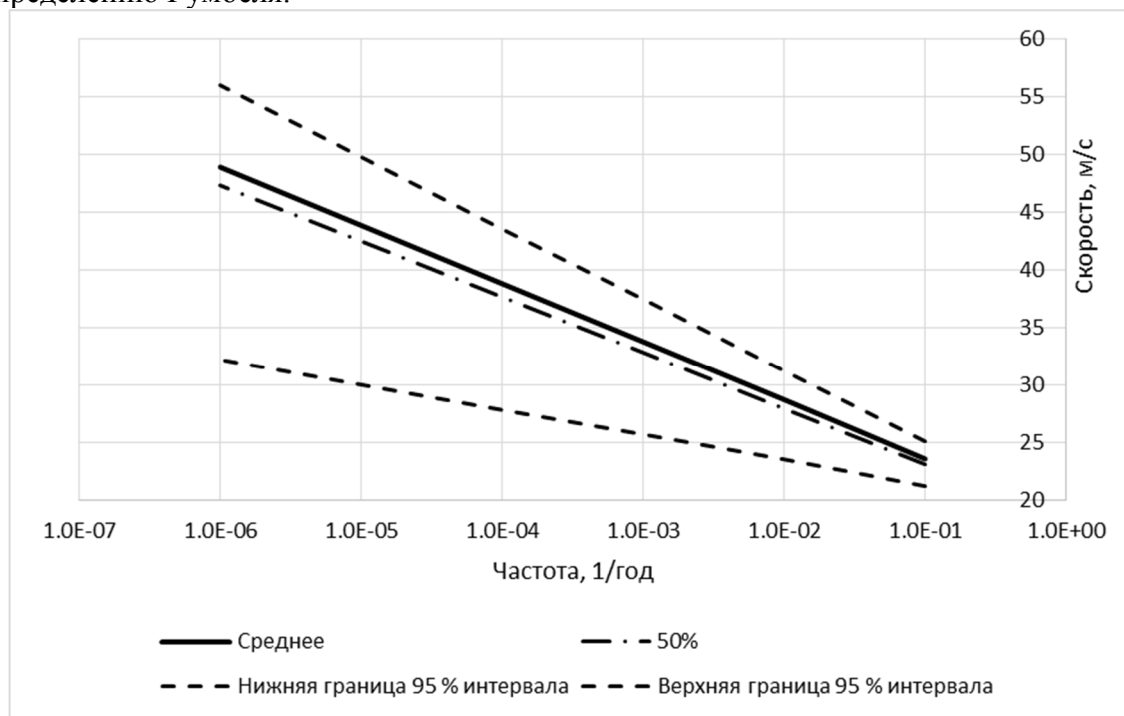


Рисунок П8.4.1.1 – Распределение скоростей ветра законом Гумбеля (среднее, 50 %, верхняя и нижняя граница 95 % доверительного интервала)

Таблица П8.4.1.1 – Параметры распределения Гумбеля

| Параметр распределения | Средняя кривая | 50 % кривая | Нижняя граница 95 % доверительного интервала | Верхняя граница 95 % доверительного интервала |
|------------------------|----------------|-------------|--|---|
| μ | 18,65 | 18,76 | 17,43 | 19,97 |
| s | 2,193 | 2,098 | 0,946 | 2,695 |

П8.4.2 ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СНЕГОПАДОВ

Оценка частоты возникновения экстремальных снегопадов выполнена на основании данных МС Островное. Годовые максимумы снежных осадков приведены в разделе 2. Аппроксимация выполнена распределением Гумбеля (рисунок с П8.4.2.1), рекомендуемым руководством МАГАТЭ [27]. Подгонка параметров распределения выполнена методом максимального правдоподобия. Параметры распределений Гумбеля приведены в таблице П8.4.2.1. Значения критерия согласия Колмогорова-Смирнова равно

0,067, что свидетельствует о справедливости гипотезы принадлежности выборки распределению Гумбеля.

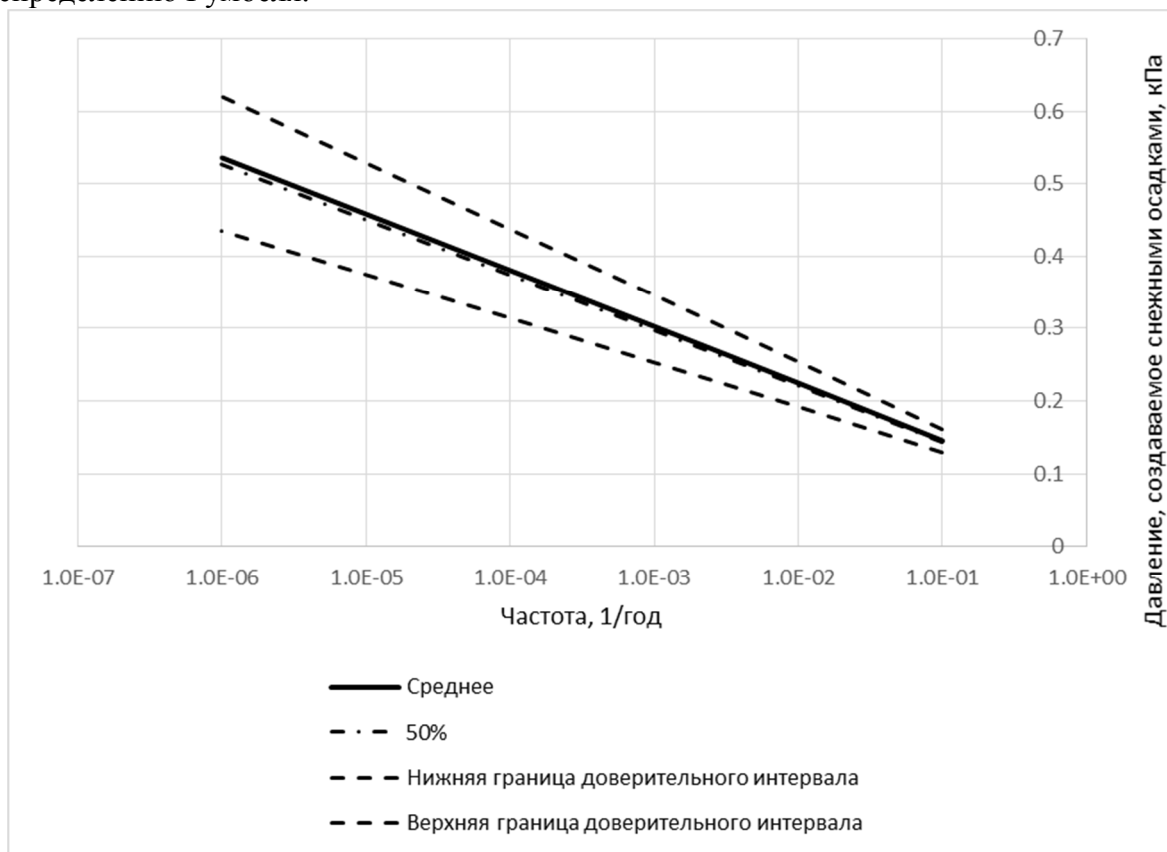


Рисунок П8.4.2.1 – Распределение давления, создаваемого снежными осадками, законом Гумбеля (среднее, 50 %, верхнее и нижняя границы 95 % доверительного интервала)

Таблица П8.4.2.1 – Параметры распределения Гумбеля

| Параметр распределения | Средняя кривая | 50 % кривая | Нижняя граница 95 % доверительного интервала | Верхняя граница 95 % доверительного интервала |
|------------------------|----------------|-------------|--|---|
| μ | 7,07 | 7,081 | 6,348 | 7,836 |
| s | 3,44 | 3,388 | 2,698 | 4,061 |

П8.4.3 ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СНЕГОЗАПАСОВ

Оценка частоты накопления экстремальных снегозапасов выполнена на основании данных МС Островное. Годовые максимумы снежных осадков приведены в разделе 2. Аппроксимация выполнена распределением Гумбеля (рисунок с П8.4.3.1), рекомендуемым руководством МАГАТЭ [27]. Подгонка параметров распределения выполнена методом максимального правдоподобия. Параметры распределений Гумбеля приведены в таблице П8.4.3.1. Значения критерия согласия Колмогорова-Смирнова равно 0,09, что свидетельствует о справедливости гипотезы принадлежности выборки распределению Гумбеля.

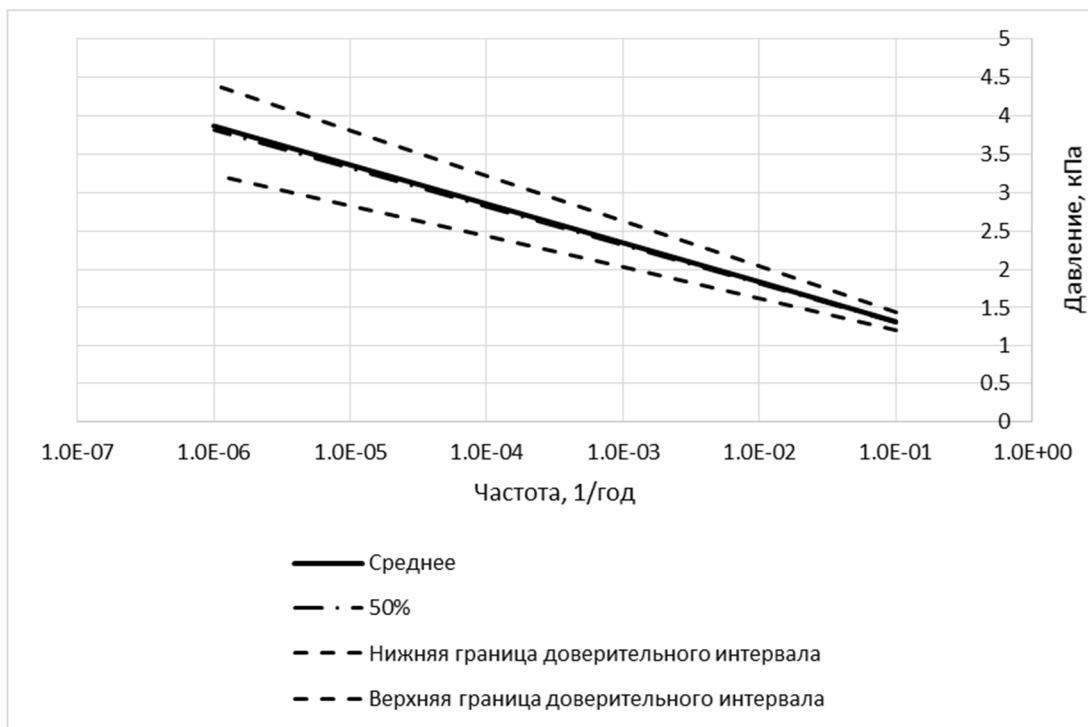


Рисунок П8.4.3.1 – Распределение годовых максимумов давления снегозапасов законом Гумбеля (среднее, 50 %, верхнее и нижняя границы 95 % доверительного интервала)

Таблица П8.4.3.1 – Параметры распределения Гумбеля

| Параметр распределения | Средняя кривая | 50 % кривая | Нижняя граница 95 % доверительного интервала | Верхняя граница 95 % доверительного интервала |
|------------------------|----------------|-------------|--|---|
| μ | 0,82 | 0,825 | 0,760 | 0,897 |
| s | 0,22 | 0,217 | 0,175 | 0,259 |

П8.4.4 ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОТРЫВА ЛОПАТКИ РОТОРА ТУРБИНЫ И ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕТАЮЩИХ ПРЕДМЕТОВ

Вращающийся ротор турбины является потенциальным источником высокоэнергетических летящих предметов.

На Билибинской АЭС установлено 4 турбины Т 12/12-60/2,5 с номинальной частотой вращения ротора 3000 об/мин. Расположение турбин и направление вращения роторов показано на рисунке П8.4.4.1.

Чертеж ротора турбины приведен на рисунке П8.4.4.2, общий вид на рисунке

Источниками высокоэнергетических летящих предметов являются фрагменты дисков ротора и лопатки. Конструкция ротора турбины Т 12/12-60/2,5 такова, что фактически не имеет дисков. Поэтому в дальнейшем анализируется только сценарий с отрывом лопатки ротора.

Максимальные напряжения при этом возникают в крайних дисках и рядах ротора турбины в ЦНД, для рассматриваемой турбины это 25-й ряд лопаток, общее количество лопаток в котором равно 120.

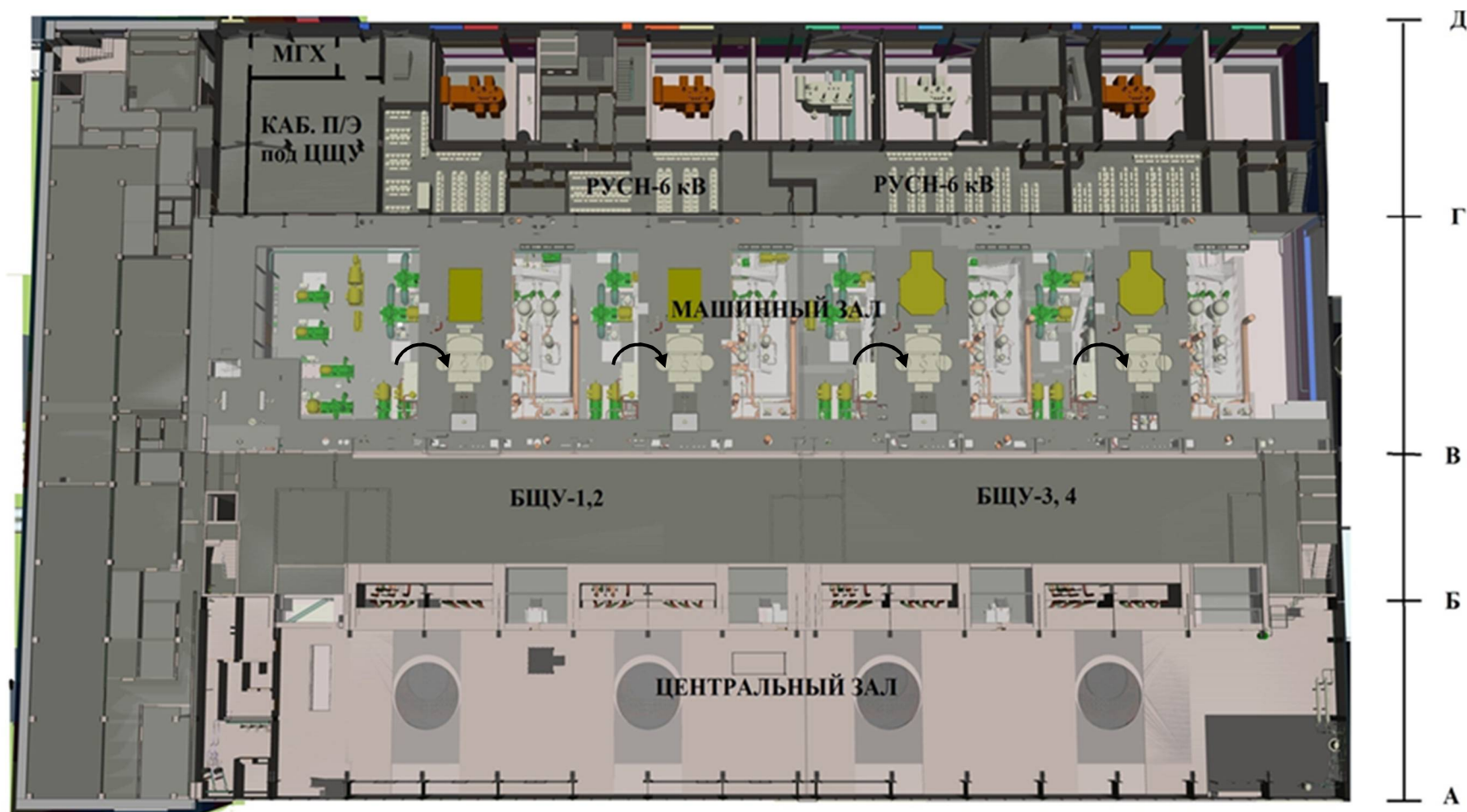


Рисунок П8.4.4.1. – Расположение и направление вращения роторов турбины блоков 1-4 Билибинской АЭС

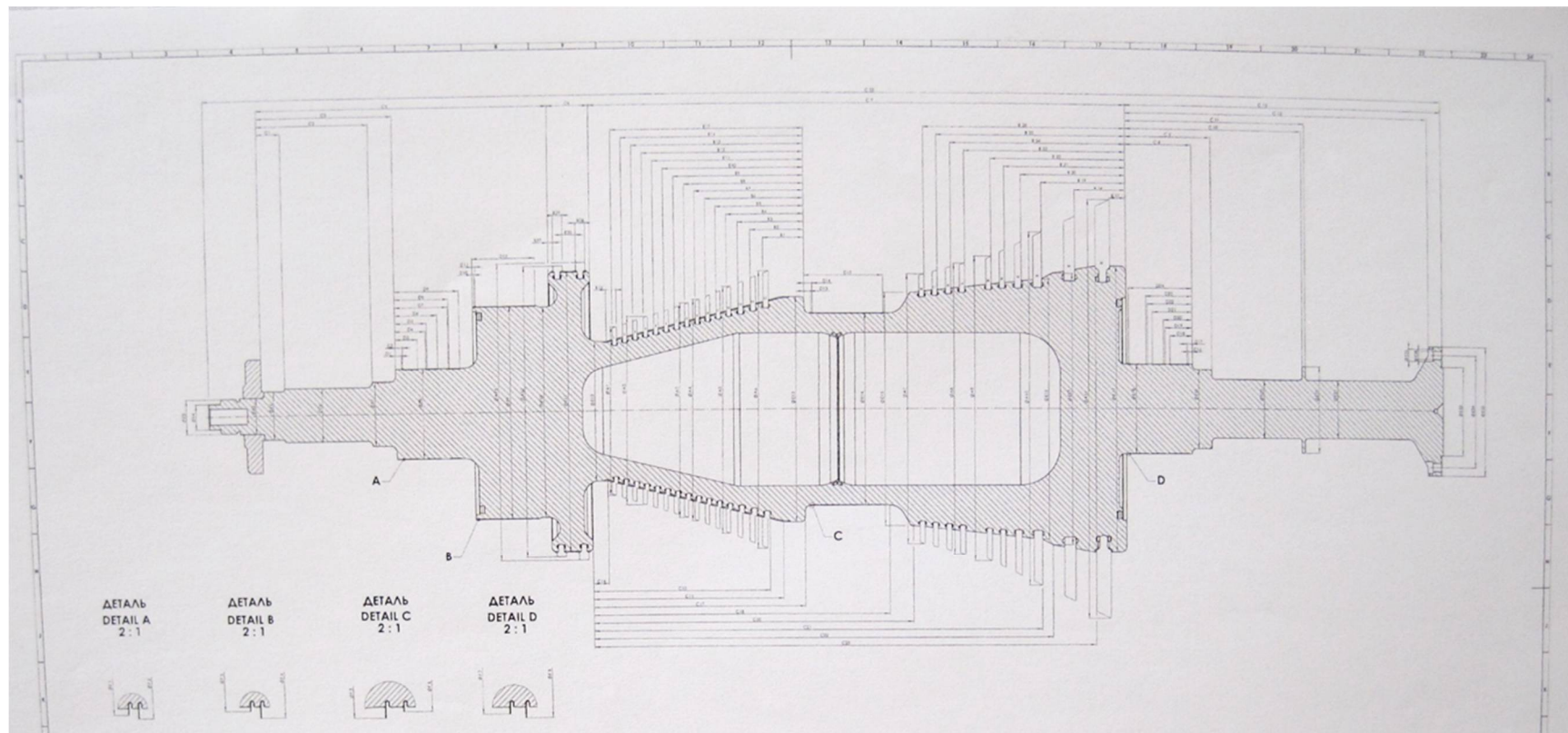


Рисунок П8.4.4.2 – Чертеж ротора турбины

Для определения вероятности разрушения элементов турбины, которые могли бы привести к возможным авариям на АЭС, выполнен анализ поломок турбины на Билибинской АЭС. Фактически за время эксплуатации турбин событий с отрывом лопаток турбин не возникло. Задача оценки вероятности события при нулевой статистики может быть решена приближенным методом построения доверительного интервала. Причем метод, основанный на замене закона распределения частоты события нормальным законом, здесь недопустим. Поэтому, используя опытные данные по его длительной эксплуатации без разрушений, воспользуемся методом построения доверительного интервала на основе известного в теории вероятности закона биномиального распределения вероятности появления события p

$$p_{f,N} = C_N^f \cdot p^f \cdot q^{N-f}, q = 1 - p,$$

где f – число появившихся событий;

N – число выполненных независимых опытов;

C_N^f – число комбинаций $p^f \cdot q^{N-f}$.

Вероятность разрушения элемента турбины p_1 может быть приближенно определена доверительным интервалом $p^- \leq p_1 \leq p^+$, границы которого будут функциями, зависящими от количества «испытаний» N и доверительной вероятности β , обычно принимаемой равной $\beta = 0,9$, как это следует, например, из [28].

Последнее означает, что с доверительной вероятностью 0,9 можно утверждать, что вероятность рассматриваемого события p_1 будет находиться в интервале $[p^-, p^+]$. Близость границ доверительного интервала характеризует точность оценки наступления события, а доверительная вероятность – надежность ее определения. Доверительную вероятность $\beta = 0,9$ принято считать достаточной для утверждения, что с практической точки зрения событие происходит с вероятностью из доверительного интервала.

При отсутствии разрушений рассматриваемого элемента турбины левую границу доверительного интервала для вероятности разрушения, естественно, можно принять равной нулю $p^- = 0$, а правую границу представить функцией от общего количества «испытаний» N и доверительной вероятности β

$$p^+ = 1 - \sqrt[N]{1 - \beta}. \quad (\text{П8.4.4.1})$$

Таким образом, как следует из представленного выше, задача об определении вероятности разрушения элементов турбин сведена к определению для нее доверительного интервала.

Рассмотрим применение этой методики к определению вероятности разрушения лопаток и роторов турбин, используя опытные данные об их эксплуатации.

Для расчета вероятности разрушения рабочих лопаток последней ступени ЦНД принимаются опытные данные. С начала запуска Билибинской АЭС все 4 турбины наработали 171 год. Учитывая, в 25 ряду 120 лопаток, число статистических испытаний составит $171 \times 120 = 20520$.

Тогда вероятность отрыва лопатки по доверительному интервалу, принимая значение доверительной вероятности равной $p = 0,9$.

Очевидно, что по опытным данным левая граница доверительного интервала равна $p^- = 0$. Правая же граница доверительного интервала может быть определена по формуле (П8.4.4.1)

$$P^+ = 1 - \sqrt[20520]{1 - 0,9} = 1,12 \cdot 10^{-4}.$$

Если воспользоваться средним значением вероятности, взятой из полученного интервала, вероятность разрушения рабочей лопатки последней ступени ЦНД на один год при дальнейшей эксплуатации турбоагрегатов будет равной $p = 5,61 \cdot 10^{-5}$ 1/год.

Постулируется, что после отрыва лопатка пробивает корпус турбины. Далее в зависимости от окружного угла и вертикальные проекция направления вектора центробежной силы возможны два сценария:

- если вертикальна проекция вектора центробежной силы направлен вверх – лопатка покидает турбину с образованием высокоэнергетического летящего предмета;
- если вертикальная проекция вектора центробежной силы направлен вниз, то лопатка попадет в фундамент турбины и останавливается.

Поскольку все окружные углы вылета лопатки равновероятны, вероятность каждого сценария равна 0,5. Таким образом, вероятность образования высокоэнергетического летящего предмета равно $2,8E-05$ 1/год.

В случае образования высоко энергетического летящего предмета он может поразить любую цель в машзале, в том числе в результате рикошета. В качестве наихудшего возможного последствия принимается пожар и пробитие ОЦК другого блока. Вероятность того, что ОЦК блока будет поражено летящим предметом – лопаткой ротора турбины соседнего блока – равно произведению вероятностей образования летящего предмета на количество соседних блоков, т.е. $8,40E-5$ 1/год.

Таким образом, отрыв лопатки ротора турбины может привести к одному из двух сценариев:

- 1) разгерметизация ОЦК блока, вероятность $2,8E-05$ 1/год;
- 2) разгерметизация ОЦК блока с пожаром в машзале, либо попадание летящего предмета от другого блока в ОЦК с пожаром в машзале, вероятность равна $2,8E-05 + 8,40E-5 = 1,12E-04$ 1/год.

П8.5 АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

П8.5.1 МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

Общее описание метода анализа надежности персонала приведено в [10].

П8.5.2 АНАЛИЗ ДОАВАРИЙНЫХ ОШИБОК ПЕРСОНАЛА

Доаварийные ошибки по времени не зависят от характера ИС, поэтому количественная оценка доаварийных ошибок персонала полностью аналогична приведенной в [10].

П8.5.3 АНАЛИЗ ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ ОШИБОК ПЕРСОНАЛА

При оценке влияния внешних событий на вероятность ошибки персонала по выполнению действий при реагировании на инициирующее событие принимались следующие допущения, не противоречащие рекомендациям [29].

Вероятность ошибки персонала по выполнению действия с БЦУ при реагировании на аварийный сценарий, вызванный внешним событием, принималась равной $R_{пвс} = R_{пн} \cdot 5$, где $R_{пвс}$ – вероятность ошибки персонала вызванной внешним событием, $R_{пн}$ – вероятность аналогичной ошибки персонала при работе на мощности.

Кодировка базовых событий, связанных с ошибками персонала аналогична применяемой в [10].

П8.5.4 АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ДЕЙСТВИЯМИ ОПЕРАТОРА

Зависимости отражают связь между действиями оператора в цепочке необходимых действий. Другими словами, невыполнение оператором одного действия, входящего в последовательность действий, может влиять на вероятность успешного выполнения другого действия в цепочке необходимых действий. При выявлении зависимостей между ошибками персонала рассматривались следующие факторы в качестве индикаторов существования зависимостей:

- уровень связи действий оператора с одним и тем же процессом распознавания (связь по принятию решения);
- запас времени, имеющийся в распоряжении на выполнение последующего действия при невыполнении предыдущего;
- персонал, выполняющий последующее действие;
- рабочая нагрузка персонала при выполнении анализируемых действий.

Анализ зависимостей проводился на основе анализа минимальных сечений расчета частоты последствий типа «СД» для всех ИС. Чтобы выявить зависимости, был проведен расчет частоты ПАЗ, при котором всем базовым событиям, описывающим послеаварийные ошибки персонала, было присвоено значение вероятности отказа, равное 1.

Минимальные сечения, содержащие два и более базовых события, описывающих зависимые ошибки персонала, были проанализированы на наличие зависимостей. Минимальные сечения, содержащие два и более зависимых действий персонала, были подвергнуты перерасчету.

Количественная оценка зависимостей была выполнена при помощи подхода THERP [30] с применением данных [30].

Оценки уровней зависимостей между действиями персонала для каждого ИС и количественная оценка зависимостей приведены в [10].

При внешних воздействиях учитывается коэффициент стресса, равный 5, для зависимых действий персонала.

П8.6 АНАЛИЗ СЦЕНАРИЕВ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В данном разделе представлено описание основных этапов отборочного анализа внешних воздействий, включенных в окончательный перечень, а также представлены критерии исключения части рассматриваемых сценариев, включая процедуры формирования критериев.

П8.6.1 ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ИСКЛЮЧЕНИЯ СЦЕНАРИЕВ НА ЭТАПЕ ОТБОРОЧНОГО АНАЛИЗА

Согласно п. 50 РБ-021-14, при отборочном анализе рекомендуется формировать критерии исключения сценариев, которые не требуют детального анализа. Сформированные критерии приведены в таблице П8.6.1.1

Таблица П8.6.1.1 – Критерии исключения сценариев, которые не требуют детального анализа

| Код критерия | Описание | Примечание |
|--------------|--|--|
| CR1 | Внешнее воздействие не может привести к повреждению активной зоны (или повреждению рассматриваемых источников радиоактивности) | |
| CR2 | Внешнее воздействие имеет среднюю частоту возникновения ниже 10^{-4} 1/год и среднее значение условной частоты повреждения активной зоны, обусловленной внешним воздействием, ниже 10^{-2} 1/год | Критерий требует определения частоты повреждения активной зоны при условии, что внешнее событие произошло (достоверное событие, вероятность равна 1) |
| CR3 | Частота повреждения активной зоны, обусловленная внешним воздействием и определенная консервативными методами, имеет среднюю частоту ниже 10^{-7} 1/год | |

П8.6.2 ВЗРЫВ НА СКЛАДЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Силовое воздействие на главный корпус вследствие взрыва на складе дизельного топлива, согласно [16], составит 7,34 кПа. Главный корпус, включая металлический каркас здания, не рассчитан на такое воздействие. Согласно п. 45 РБ-021-14, рассматриваем наихудший консервативный сценарий, а именно критическое повреждение здания, включая нарушение целостности бетонной шахты реактора, падение фрагментов конструкции на перекрытие и крышку реактора.

Консервативным последствие данного события будет являться повреждении активной зоны. Частота события $9,68 \times 10^{-6}$ 1/год. Событие не может быть исключено из дальнейшего рассмотрения и включается в список для выполнения детального анализа.

П8.6.3 ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ ВЕТЕР

Согласно [16] главный корпус рассчитан на давление на фронте динамической волны 1 кПа. А металлический каркас здания выдерживает давление 2,58 кПа. Согласно п. 45 РБ-021-14, рассматриваем консервативный сценарий последствия сильного ветра, создающего динамическое давление на фронте более 1 кПа. В качестве консервативного сценария принимается обесточивание, повреждение оборудования и пожар в машзале

вследствие образования летящих предметов и повреждение ограждающих конструкций машзала.

Событие не может быть исключено из рассмотрения и включается в список сценариев для рассмотрения в детальном анализе.

П8.6.4 ОБРАЗОВАНИЕ ЛЕТЯЩИХ ПРЕДМЕТОВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТУРБИНЫ

Рассматривается два сценария с образованием летящих предметов при отрыве лопатки ротора турбины:

- 1) разгерметизация ОЦК блока;
- 2) разгерметизация ОЦК блока с пожаром в машзале, либо попадание летящего предмета от другого блока в ОЦК с пожаром в машзале.

Событие рассматривается на этапе детального анализа сценариев.

П8.6.5 РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОТБОРОЧНОГО АНАЛИЗА

Результаты выполнения отборочного анализа представлены в таблице П8.6.5.1.

Таблица П8.6.5.1 – Результаты выполнения отборочного анализа

| Сценарий | Сценарии внешних воздействий | Результат отборочного анализа | Последствия | Частота, 1/год |
|----------|--|-------------------------------|--|----------------|
| 1 | Взрыв на складе дизельного топлива | Выполняется детальный анализ | Разрушение главного здания | 9,68E-06 |
| 2 | Экстремальный ветер | Выполняется детальный анализ | Обесточивание, образование летящих предметов, повреждение оборудования в машзале | 2,66E-05 |
| 3 | Отрыв лопатки | Выполняется детальный анализ | Разгерметизация ОЦК блока | 2,8E-05 |
| 4 | Вылет лопатки за пределы корпуса турбины | Выполняется детальный анализ | Разгерметизация ОЦК, пожар в машзале, | 1,12E-04 |

П8.7 ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЦЕНАРИЕВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВНЕШНИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

П8.7.1 ОБЩИЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ, ВЫЗВАННЫХ ВНЕШНИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Детальный анализ сценариев, обусловленных внешними воздействиями выполняется с помощью построения специальных деревьев событий, связывающих внешнее воздействие, отказы зданий и сооружений блока АЭС и последствия на блоке. Последствия на блоке определяются путем назначения для каждой последовательности дерева событий для внешнего воздействия либо дерева событий из ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий [10], либо конечного состояния с повреждением топлива. При расчете частоты повреждения топлива для каждого сценария внешнего воздействия задаются соответствующие вероятности отказа оборудования, вызванного этим сценарием.

При выполнении ВАБ внешних воздействий учитывается только топливо в активной зоне реактора и рассматривается только режим работы на мощности. Это связано с тем, что как показано в отчетах [31,32] вероятность негативных последствий, потенциально приводящих к выбросу радиоактивных продуктов или к повреждению топлива пренебрежимо мала.

П8.7.2 ОТБОР ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ ДЛЯ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ, ВЫЗВАННЫХ ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Окончательный перечень сценариев внешних событий был разработан на основе результатов отборочного анализа, представленного в таблице П8.6.5.1.

В таблице П8.7.1.1 приведен уточнённый перечень сценариев с указанием частоты сценариев, и дерева событий из ВАБ-1 для внутренних ИС [10], используемых для моделирования каждого сценария.

Уточненные сценарии с одинаковыми последствиями были объединены в отдельные группы ИС. Данные группы характеризуются одинаковым набором функций безопасности и критериев успеха их выполнения, одинаковыми действиями персонала и набором систем безопасности, их структурой.

Перечень групп ИС, характерных для отобранных для детального анализа уточненных сценариев внешних воздействий для режимов работы блока на мощности, приведен в таблице П8.7.2.3.

Таблица П8.7.1.1 – Уточненный перечень сценариев для внешних воздействий

| № | Сценарии внешних воздействий | Последствия | Уточненные сценарии внешних воздействий | Дополнительная информация | Частота уточненных сценариев | Используемое дерево событий из [10] | Граничные условия для расчета |
|---|------------------------------------|----------------------------|--|--|------------------------------|-------------------------------------|---|
| 1 | Взрыв на складе дизельного топлива | Разрушение главного здания | 1.1 Обесточивание, образование летящих предметов, повреждение оборудования в машзале (без повреждения бокса Б-С) | Принято, что данный сценарий реализуется с вероятностью 0,99 (см. обоснование по тексту после Таблицы П8.7.1.1). Принято, что повреждение машзала приводит к течи ОЦК в машзале. | 9,58E-06 | LM-5 (Большая течь ОЦК в зоне 5) | Обесточивание |
| | | | 1.2 Обесточивание, образование летящих предметов, повреждение оборудования в машзале, повреждения бокса БС, разрушение ОЦК в боксе, потеря БЦУ | Принято, что данный сценарий реализуется с вероятностью 0,009 (см. обоснование по тексту после Таблицы П8.7.1.1). Принято, что повреждение бокса приводит к течи ОЦК в боксе Б-С. | 8,71E-08 | LM-4 – Большая течь ОЦК в зоне 4 | Обесточивание, невозможность сброса АЗ оператором при отказе автоматики |

| № | Сценарии внешних воздействий | Последствия | Уточненные сценарии внешних воздействий | Дополнительная информация | Частота уточненных сценариев | Используемое дерево событий из [10] | Граничные условия для расчета |
|---|--|--|--|--|------------------------------|---|-------------------------------|
| | | | 1.3 Тоже, что и 1.2, но с дополнительным отказом аварийной защиты | Данный сценарий практически не возможен при рассчитанных параметрах нагрузки (7 МПа), но включен в анализ с целью сохранения консерватизма и учета не параметрической неопределённости анализов. Вероятность такого сценария принята равной $1,0E-3$ | $9,68E-09$ | Тривиальное дерево событий, непосредственно приводящее к повреждению топлива и большому аварийному выбросу. | - |
| 2 | Экстремальный ветер | Обесточивание, образование летящих предметов, повреждение оборудования в машзале | Обесточивание, образование летящих предметов, повреждение оборудования в машзале | Принято, что повреждение машзала приводит к течи ОЦК в машзале и обесточиванию | $2,66E-05$ | LM-5 (Большая течь ОЦК в зоне 5) | Обесточивание |
| 3 | Отрыв лопатки | Разгерметизация ОЦК блока | Разгерметизация ОЦК блока | Консервативно принято, что отрыв лопаток приводит к обесточиванию и течи ОЦК в машзале | $2,8E-05$ | LM-5 (Большая течь ОЦК в зоне 5) | Обесточивание |
| 4 | Вылет лопатки за пределы корпуса турбины | Разгерметизация ОЦК, пожар в машзале, | Разгерметизация ОЦК, пожар в машзале | Консервативно принято, что отрыв лопаток приводит к обесточиванию и течи ОЦК в машзале | $1,12E-04$ | LM-5 (Большая течь ОЦК в зоне 5) | Обесточивание |

Вероятности различных сценариев с разрушением машзала и бокса Б-С при взрыве дизельного топлива определены исходя из информации, представленной в Таблице Пр.3.22.5.6.2 [33] и основанной на анализах реальных взрывов. Эта информация также приведена в Таблице П8.7.1.2.

Таблиц П8.7.1.2– Избыточное давление во фронте ударной волны $\Delta P_{ф}$, кПа, при котором происходит разрушение объектов

| Объект | Разрушение | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|
| | полное | сильное | среднее | слабое |
| Здания жилые | | | | |
| Кирпичные многоэтажные | 30 – 40 | 20 – 30 | 10 – 20 | 8 – 10 |
| Кирпичные малоэтажные | 35 – 45 | 25 – 35 | 15 – 25 | 8 – 15 |
| Деревянные | 20 – 30 | 12 – 20 | 8 – 12 | 6 – 8 |
| Здания промышленные | | | | |
| С тяжелым металлическим или ж.б. каркасом | 60 – 100 | 40 – 60 | 20 – 40 | 10 – 20 |
| С легким металлическим каркасом или бескаркасные | 80 – 120 | 50 – 80 | 20 – 50 | 10 – 20 |
| Промышленные объекты | | | | |
| ТЭС | 25 – 40 | 20 – 25 | 15 – 20 | 10 – 15 |
| Котельные | 35 – 40 | 25 – 35 | 15 – 25 | 10 – 15 |
| Трубопроводы наземные | 130 | 50 | 20 | – |
| Трубопроводы на эстакаде | 40 – 50 | 30 – 40 | 20 – 30 | – |
| Трансформаторные подстанции | 100 | 40 – 60 | 20 – 40 | 10 – 20 |
| ЛЭП | 120 – 200 | 80 – 120 | 50 – 70 | 20 – 40 |
| Водонапорные башни | 70 | 60 – 70 | 40 – 60 | 20 – 40 |
| Станочное оборудование | 80 – 100 | 60 – 80 | 40 – 60 | 25 – 40 |
| Кузнечно-прессовое оборудование | 200 – 250 | 150 – 200 | 100 – 150 | 50 – 100 |
| Резервуары, трубопроводы | | | | |
| Стальные наземные | 90 | 80 | 55 | 35 |
| Газгольдеры и емкости ГСМ и химических веществ | 40 | 35 | 25 | 20 |
| Частично заглубленные для нефтепродуктов | 100 | 75 | 40 | 20 |
| Подземные | 200 | 150 | 75 | 40 |
| Автозаправочные станции | – | 40 – 60 | 30 – 40 | 20 – 30 |
| Перекачивающие и компрессорные станции | 45 – 50 | 35 – 45 | 25 – 35 | 15 – 25 |
| Резервуарные парки (заполненные) | 90 – 100 | 70 – 90 | 50 – 80 | 20 – 40 |
| Транспорт | | | | |
| Металлические и ж.б. мосты | 250 – 300 | 200 – 250 | 150 – 200 | 100 – 150 |
| ЖД пути | 400 | 259 | 175 | 125 |

| Объект | Разрушение | | | |
|--|------------|---------|---------|--------|
| | полное | сильное | среднее | слабое |
| Тепловозы с массой до 50 т | 90 | 70 | 50 | 40 |
| Цистерны | 80 | 70 | 50 | 30 |
| Вагоны цельнометаллические | 150 | 90 | 60 | 30 |
| Вагоны товарные деревянные | 40 | 35 | 30 | 15 |
| Автомашины грузовые | 70 | 50 | 35 | 10 |
| Примечание – Слабые разрушения – повреждение или разрушение крыш, оконных или дверных проемов. Ущерб от 10 до 15 % от стоимости здания; средние разрушения – разрушения крыш, окон, перегородок, чердачных перекрытий, верхних этажей. Ущерб от 30 до 40 %; сильные разрушения – разрушение несущих конструкций и перекрытий. Ущерб 50 %. Ремонт нецелесообразен; полное разрушение – обрушение зданий | | | | |

Как видно из Таблицы П8.7.1.2 при давлении на фронте ударной волны менее 8 кПа сильных разрушений зданий и сооружений не происходит. Возможны разрушения стекол, лёгких плохо закрепленных конструкций и т.п. При давлении менее 20 кПа возможно среднее повреждение промышленных зданий. Учитывая тот факт, что давление около 20 кПа возможно при одновременном взрыве дизтоплива и сильном ветре (вероятность такого события значительно ниже 0,01), консервативно принято, что с вероятностью 0,99 возможно разрушение ЗРУ, центрального зала, машзала, а значительные разрушения главного корпуса (включая бокс БС) возможны с вероятностью 0,009.

Таблица П8.7.1.3 – Перечень групп ИС для внешних воздействий

| № сценария | Название сценария | Уточненные сценарии внешнего воздействия | Частота сценария, 1/год | Группа событий | Примечание |
|------------|---|---|-------------------------|----------------------------------|--|
| 1 | Внешние воздействия, приводящие к разрушению ОЦК в машзале | Экстремальный ветер | 1,76E-04 | Большая течь ОЦК в зоне 5 (LM-5) | В данную группу событий консервативно объединены события с последствиями, имеющими ряд сходных признаков, но при этом незначительно отличных с точки зрения их тяжести. При расчетах частоты повреждения активной зоны для соответствующего дерева событий задается обесточивание и вероятности ошибок оператора увеличиваются в 5 раз. |
| | | Вылет лопатки за пределы корпуса турбины | | | |
| | | Отрыв лопатки | | | |
| | | Взрыв на складе дизельного топлива приводящий к обесточиванию, образованию летящих предметов, повреждению оборудования в машзале (без повреждения бокса Б-С) | | | |
| 2 | Внешние воздействия, приводящие к разрушению ОЦК в боксе Б-С | Взрыв на складе дизельного топлива приводящий к полному обесточиванию, разрушению центрального зала, бокса Б-С и Б-С и потере БЦУ | 8,71E-08 | Большая течь ОЦК в зоне 4 (LM-4) | При расчетах частоты повреждения активной зоны для соответствующего дерева событий задаются следующие условия: - Обесточивание - Отказ ручного ввода АЗ |
| 3 | Внешние воздействия, приводящие к разрушению ОЦК в боксе Б-С с отказом АЗ | Взрыв на складе дизельного топлива приводящий к полному обесточиванию, разрушению центрального зала, бокса Б-С и Б-С, разрушению БЦУ и невозможности выполнения функции останова реактора | 9,68E-09 | Тривиальное ДС (DIRECT) | Консервативно принято повреждение активной зоны и большой аварийный выброс (последствия CD и RC4) |

П8.7.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ

Для разработки ВАБ использованы данные по показателям надежности элементов, приведенные в отчете [10].

П8.7.4 МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПРИ РАБОТЕ БЛОКА НА МОЩНОСТИ

Моделирование аварийных последовательностей проводилось с учетом принятых зависимых отказов, обусловленных рассматриваемым внешним событием.

Для разработки и выполнения количественных расчетов модели ВАБ сеймики использовалась модель ВАБ для внутренних исходных событий, описанная в [10]. Также модель разрабатывалась с использованием кода Риск Спектрум [34,35].

Анализ надежности персонала в рамках ВАБ для внешних воздействий приведен в разделе П8.5. Кодировка базовых событий, связанных с ошибками персонала аналогична применяемой в [10], но добавлены в код символы X5, отражающие увеличение вероятности ошибок оператора в 5 раз. Замена соответствующих базовых событий при внешних воздействиях производится с использованием логического переключателя «EXT». При определении частоты повреждения топлива логическому переключателю «EXT» присваивался статус «TRUE».

ДС для ИС, обусловленных внешними событиями при работе блока на мощности приведены в на рисунках П8.7.4.1 – П8.7.4.5.

| | | | | |
|---|-----|-----|-------|---------|
| Внешнее воздействие с разрушением машзала | | | | |
| EXTERNAL1 | | No. | Freq. | Conseq. |
| | > 1 | | | EXT-LM5 |

Рисунок П8.7.4.1 – ДС для сценария 1

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-----|----------|---------|
| Взрыв дизельного топлива | Условная вероятность сценариев | | | |
| EXT2 | CONDINPROB | No. | Freq. | Conseq. |
| | 2 | > 1 | 9,76E-08 | EXT2-3 |
| | 3 | > 2 | 8,87E-08 | EXT2-4 |

Рисунок П8.7.4.2 – ДС для сценариев 2 и 3

| | | | | |
|---|-------------------------|-----|----------|---------|
| Большая течь в зоне 5 вызванная внешними воздействиями (машзал) | Работа аварийной защиты | | | |
| EXT-LM-5 | AZ-FAILURE | No. | Freq. | Conseq. |
| | | 1 | 1,76E-04 | OK |
| | | 2 | 6,12E-11 | CD |

Рисунок П8.7.4.3 – Трансферное ДС для сценария 1

| | | | | |
|--|-------------------------|-----|----------|---------|
| Взрыв дизтоплива с разрушением бокса Б-С и Б-С | Работа аварийной защиты | | | |
| EXT-LM4 | AZ-FAILURE | No. | Freq. | Conseq. |
| | | 1 | 9,76E-08 | OK |
| | | 2 | 7,77E-14 | CD |

Рисунок П8.7.4.4 – Трансферное ДС для сценария 2

| | | | |
|---|----------|---------|--|
| Взрыв дизтоплива с разрушением Б-С и отказом АЗ | | | |
| EXT2-CD | | | |
| No. | Freq. | Conseq. | |
| 1 | 9,86E-09 | CD,RC4 | |

Рисунок П8.7.4.5 – Трансферное ДС для сценария 3

П8.7.5 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЧАСТОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Результаты оценки частот повреждения ядерного топлива в активной зоне приведены в таблице П8.7.5.1 для уточненного перечня сценариев внешних событий.

Таблица П8.7.5.1 – Результаты оценки частот ПАЗ при работе на мощности

| № | Название сценария | Уточненные сценарии внешнего воздействия | Частота сценария, 1/год | Частота повреждения топлива в активной зоне, 1/год |
|---|---|---|-------------------------|--|
| 1 | Внешние воздействия, приводящие к разрушению ОЦК в машзале | Экстремальный ветер | 1,76E-04 | 6,12E-11 |
| | | Вылет лопатки за пределы корпуса турбины | | |
| | | Отрыв лопатки | | |
| | | Взрыв на складе дизельного топлива приводящий к обесточиванию, образованию летящих предметов, повреждению оборудования в машзале (без повреждения бокса Б-С) | | |
| 2 | Внешние воздействия, приводящие к разрушению ОЦК в боксе Б-С | Взрыв на складе дизельного топлива приводящий к полному обесточиванию, разрушению центрального зала, бокса Б-С и Б-С и потере БЩУ | 8,71E-08 | 7,77E-14 |
| 3 | Внешние воздействия, приводящие к разрушению ОЦК в боксе Б-С с отказом АЗ | Взрыв на складе дизельного топлива приводящий к полному обесточиванию, разрушению центрального зала, бокса Б-С и Б-С, разрушению БЩУ и невозможности выполнения функции останова реактора | 9,68E-09 | 9,86E-09 |

Следует отметить, что доминантные по результатам анализа события с разрушением ОЦК в боксе Б-С и отказом АЗ по сути является избыточно консервативным. Однако, учитывая незначительный вклад в общую частоту повреждения для блока 2 Билибинской АЭС, не требует дальнейшего уточнения.

П8.8 АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ЗНАЧИМОСТИ

П8.8.1 АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В качестве исходных данных для анализа неопределенности используются средние значения показателей надежности отдельных элементов и соответствующие им значения фактора ошибки. Для всех элементов принимался логнормальный закон распределения показателей надежности [10]. Для частот ИС, вызванных внешними воздействиями фактор ошибки был принят равным 10. При этом получены следующие результаты для частоты повреждения топлива от внешних воздействий:

- среднее значение частоты ПАЗ составляет 9,92E-09 1/год;
- нижняя граница 90-процентного доверительного интервала составляет 4,16E-10 1/год;
- медианное значение частоты ПАЗ составляет 3,78E-09 1/год;
- верхняя граница 90-процентного доверительного интервала составляет 3,37E-08 1/год.

П8.8.2 АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ

Анализ значимости производится по следующим критериям, используемым в коде RISK SPECTRUM:

- критерий Fussel-Vesely;
- критерий Risk Decrease Factor (RDF);
- критерий Risk Increase Factor (RIF).

Анализ значимости проводился для всех базовых событий модели ВАБ внешних воздействий.

В Таблице П.8.8.2.1 приведены результаты оценки меры Fussel - Vesely для наиболее значимых базовых событий.

Таблица П.8.8.2.1 – Результаты оценки меры Fussel - Vesely для наиболее значимых базовых событий.

| Код базового события | Описание | Вероятность | F-V |
|----------------------|---|-------------|----------|
| EXT2 | Взрыв дизтоплива | 9,86E-08 | 9,94E-01 |
| CONDP=0.1 | Условная вероятность отказа АЗ при взрыве дизтоплива | 1,00E-01 | 9,94E-01 |
| EXT1 | Сценарий внешних воздействий с течью ОЦК в машзале | 1,76E-04 | 6,17E-03 |
| AZ-MECH | Отказ механической части | 3,47E-07 | 6,16E-03 |
| CCF-AB48-ALL | Отказ по общей причине всех батарей | 5,28E-07 | 2,16E-05 |
| HE-EPSO-ОСКХ5 | Ошибка оператора по активации АЗ при внешних воздействиях | 1,50E-03 | 1,41E-05 |
| CONDP=0.9 | Условная вероятность не отказа АЗ при взрыве дизтоплива | 9,00E-01 | 7,83E-06 |

| Код базового события | Описание | Вероятность | F-V |
|----------------------|---|-------------|----------|
| HE-EP SO-LOOP | Ошибка персонала при активизации АЗ для ИС LOOP | 3,01E-04 | 2,82E-06 |
| OAB-LB-F | Отказ общестанционной аккумуляторной батареи | 1,48E-05 | 1,32E-08 |
| BAB-LB-F | Отказ блочной аккумуляторной батареи | 1,48E-05 | 1,32E-08 |
| DCB48-CA-F | Отказ ОЩПТ 48 В | 6,98E-06 | 6,23E-09 |
| 2DCB48-CA-F | Отказ БЩПТ 48 В | 6,98E-06 | 6,23E-09 |
| CCF-U4-RMT-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по четвертой уставке | 2,14E-06 | 1,58E-10 |
| CCF-U3-RMT-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по третьей уставке | 2,14E-06 | 1,47E-10 |
| CCF-U3-SENSOR-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по третьей уставке | 1,84E-07 | 1,27E-11 |
| CCF-U4-SENSOR-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по четвертой уставке | 2,25E-08 | 1,67E-12 |
| AZ-OP-AZ--FS | KAZ, AZ-1 | 3,33E-07 | 1,04E-15 |
| AZ-OP-KAZ-FS | KAZ, AZ-1 | 3,33E-07 | 1,04E-15 |

8.8.3 АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Анализ чувствительности проводился для всех наиболее значимых базовых событий, включая базовые события, связанные с ИС аварий, отказами по общим причинам и ошибками персонала.

В таблице П.8.8.3.1 приведены базовые события, значения факторов увеличения риска (RIF), понижения риска (RDF) и значения чувствительности (Sens).

Верхняя граница чувствительности – это значение частоты ПАЗ при увеличенном в 10 раз показателе надежности данного базового события. Нижняя граница чувствительности – это значение частоты ПАЗ при уменьшенном в 10 раз показателе надежности данного базового события. Чувствительность (Sens.) – это отношение верхней границы к нижней.

Таблица П.8.8.3.1 – Базовые события, значения факторов увеличения риска (RIF), понижения риска (RDF) и значения чувствительности (Sens.)

| Код базового события | Описание | RDF | RIF | Sens. |
|----------------------|--|----------|----------|---------|
| EXT2 | Взрыв дизтоплива | 9,94E-01 | 1,62E+02 | 1,01E+7 |
| AZ-MECH | Отказ механической части | 6,16E-03 | 1,01 | 1,77E+4 |
| CCF-AB48-ALL | Отказ по общей причине всех батарей | 2,16E-05 | 1,0 | 4,19E+1 |
| EXT1 | Сценарий внешних воздействий с течью ОЦК в машзале | 6,17E-03 | 1,01 | 3,61E+1 |

| | | | | |
|-------------------|---|----------|----------|---------|
| CONDP=0.1 | Условная вероятность отказа АЗ при взрыве дизтоплива | 9,94E-01 | 1,62E+02 | 9,94E+1 |
| HE-EP SO-OCKX5 | Ошибка оператора по активации АЗ при внешних воздействиях | 1,41E-05 | 1,0 | 1,01E+1 |
| HE-EP SO-LOOP | Ошибка персонала при активизации АЗ для ИС LOOP | 2,82E-06 | 1,0 | 1,01 |
| CONDP=0.9 | Условная вероятность не отказа АЗ при взрыве дизтоплива | 7,83E-06 | 1,0 | 1,0 |
| OAB-LB-F | Отказ общестанционной аккумуляторной батареи | 1,32E-08 | 1,0 | 1,0 |
| BAB-LB-F | Отказ блочной аккумуляторной батареи | 1,32E-08 | 1,0 | 1,0 |
| DCB48-CA-F | Отказ ОЦПТ 48 В | 6,23E-09 | 1,0 | 1,0 |
| 2DCB48-CA-F | Отказ БЦПТ 48 В | 6,23E-09 | 1,0 | 1,0 |
| CCF-U4-RMT-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по четвертой уставке | 1,58E-10 | 1,0 | 1,0 |
| CCF-U3-RMT-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по третьей уставке | 1,47E-10 | 1,0 | 1,0 |
| CCF-U3-SENSOR-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по третьей уставке | 1,27E-11 | 1,0 | 1,0 |
| CCF-U4-SENSOR-ALL | Отказ срабатывания подсистемы АЗ-I по четвертой уставке | 1,67E-12 | 1,0 | 1,0 |
| AZ-OP-AZ--FS | KAZ. AZ-1 | 1,11E-15 | 1,0 | 1,0 |
| AZ-OP-KAZ-FS | KAZ. AZ-1 | 1,11E-15 | 1,0 | 1,0 |

Как видно из таблицы результаты ВАБ наиболее чувствительны к частоте внешнего воздействия вызванного взрывом дизельного топлива и к вероятности отказа механически части АЗ.

П8.9 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, И ОЦЕНКА УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АТОМНОЙ СТАНЦИИ

В результате расчетов было получено значение общей частоты повреждения активной зоны энергоблока 2 Билибинской АЭС для инициирующих событий, обусловленных внешними воздействиями (без учета сейсмических воздействий), равное $9,92\text{E-}09$ 1/год.

Практически весь вклад вносит сценарий события «взрыв на складе дизельного топлива» при котором предполагается разрушение бокса БС, течь ОЦК в боксе и отказ АЗ.

По результатам анализа значимости элементов систем можно заключить, что наибольшее влияние на частоту ПАЗ на энергоблоке 2 имеют отказы механической части АЗ и отказы по общей причине аккумуляторных батарей. Высокая значимость этих элементов объясняется тем, что выполнение функции аварийного останова является требуется для всех ИС, вызываемых внешними воздействиями.

По результатам выполненного ВАБ были сделаны следующие рекомендации:

- уточнить оценку параметров взрыва на складе дизельного топлива;
- разработать инструкции для персонала по защите здания и сооружений от избыточного снегового давления на кровлю;
- при проектировании подъезда к городу Билибино от автодороги Омолон-Анадырь выполнить трассировку дороги на безопасном расстоянии от промплощадки АЭС (в соответствии с разрешаемой к провозу номенклатурой опасных веществ и их разового количества);
- выполнить актуальную оценку частоты падения воздушного судна на площадку Билибинской АЭС.

Последние три рекомендации не вытекают напрямую из количественных результатов ВАБ, но следуют из выполненного качественного анализа, приведенного в разделе П8.3 отчета.

Выполненный анализ для Блока 2 Билибинской АЭС полностью применим к другим блокам. Это объясняется тем фактом, что блоки практически идентичны, расположены в одном здании и имеют идентичные характеристик повреждаемости оборудования.

Необходимо отметить, что наиболее важной особенностью Билибинской АЭС является тот факт, что при разрушении главного здания вероятность того, что повреждение топлива произойдет на всех блоках (при условии, что оно повреждено на одном блоке) крайне высока. Этот факт потенциально влияет на частоту большого аварийного выброса от всего блока АЭС, однако в настоящее время ни в России, ни за рубежом не существует методики оценки частот выбросов для всей многоблочной АЭС, а так же требований к такой частоте. Однако, из представленных результатов видно, что даже при высокой вероятности того, что топливо одновременного повредится на всех блоках, сама вероятность повреждения топлива на одном блоке низка и не внесет существенного вклада в частоту большого аварийного выброса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем отчете представлены результаты выполнения ВАБ для внешних воздействий природного и техногенного характера блока 2 Билибинской АЭС и включает в себя описание выполнения всех этапов согласно рекомендациям РБ-021-14.

Суммарная частота повреждения активной зоны блока 2 Билибинской АЭС для внешних иницирующих событий при работе блока на мощности равно $9,92 \cdot 10^{-9}$ 1/год, что на несколько порядков ниже целевого показателя, заданного в НП-001-15 [1] ($1,0 \cdot 10^{-5}$ 1/год для вероятности тяжелого повреждения топлива на блоке).

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

| | |
|--------|--|
| АЗ | - аварийная защита; |
| АП | - аварийная последовательность; |
| АС | - атомная станция; |
| АСПОВ | - аварийная система подачи охлаждающей воды; |
| АЭС | - атомная электростанция; |
| БВ | - бассейн выдержки; |
| БС | - барабан- сепаратор |
| БЩПТ | - блочный щит постоянного тока; |
| БЩУ | - блочный щит управления; |
| ВАБ | - вероятностный анализ безопасности; |
| ВАБ-1 | - ВАБ уровня 1; |
| ВЛ | - высоковольтная линия; |
| ВПЧ | - военизированная пожарная часть; |
| ВУВ | - воздушная ударная волна; |
| ГА | - гражданская авиация; |
| ГП | - государственное предприятие; |
| ГО | - гражданская оборона; |
| ДС | - дерево событий; |
| ЖРО | - жидкие радиоактивные отходы; |
| ЗРУ | - закрытое распределительное устройство; |
| ИС | - исходное событие; |
| КЭН | - конденсатный электронасос; |
| КРУ | - комплексное распределительное устройство; |
| МАГАТЭ | - Международное агентство по атомной энергии; |
| МС | - метеорологическая станция; |
| МО АЭП | - Московское отделение института «Атомэнергопроект»; |
| НИЦ | - научно-исследовательский центр; |
| НТД | - нормативно-техническая документация; |
| ОВК | - объединено-вспомогательный корпус; |
| ОЦК | - основной циркуляционный контур; |
| ОЩПТ | - общестанционный щит постоянного тока; |
| ОЯТ | - отработавшее ядерное топливо; |
| ПАЗ | - повреждение активной зоны; |
| ПиНАЭ | - правила и нормы в атомной энергетике; |
| ПНД | - подогреватель низкого давления; |
| ПУЭ | - правила устройства электроустановок; |
| ПЭН | - питательный электронасос; |
| РБ | - руководство по безопасности; |
| РБМК | - реактор большой мощности канальный; |
| РГК | - раздаточный групповой коллектор; |

| | |
|-------|--|
| РП | - реакторное пространство; |
| РУ | - реакторная установка; |
| РУСН | - распределительное устройство собственных нужд; |
| СВ | - северо-восток; |
| СГК | - сборный групповой коллектор; |
| ССВ | - северо-северо-восток; |
| СНиП | - строительные нормы и правила; |
| СУЗ | - система управления и защиты; |
| ТВС | - топливовоздушная смесь; |
| ТВС | - тепловыделяющая сборка; |
| ТРО | - твердые радиоактивные отходы; |
| ТЭЦ | - тепло-электроцентраль; |
| УМО | - уровень мертвого объема; |
| УС | - уровень сработки; |
| ФПУ | - форсированный подпорный уровень |
| ФЭИ | - Физико-энергетический институт; |
| ЦНД | - цилиндр низкого давления; |
| ЦЩУ | - центральный щит управления; |
| ЧАО | - Чукотский автономный округ; |
| ЧБЭС | - Чаун-Билибинская электросеть; |
| ЧБЭУ | - Чаун-Билибинский энергоузел; |
| ЧССР | - Чехословацкая советская социалистическая республика; |
| ЭГП-6 | - Энергетический Гетерогенный Петлевой реактор с 6-ю петлями циркуляции теплоносителя. |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций, Федеральная служба по атомному надзору, НП-001-15. Москва. 2015.
- 2 Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при инициирующих событиях, обусловленных внешними воздействиями природного и техногенного происхождения (РБ-021-14).
- 3 Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции. Федеральная служба по атомному надзору, НП-095-15. Москва. 2015.
- 4 Основные рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций. Федеральная служба по атомному надзору, РБ-032-04. Москва. 2004.
- 5 Положение об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних инициирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции. Федеральная служба по атомному надзору, РБ-024-11. Москва. 2011.
- 6 Рекомендации к содержанию отчета по углубленной оценке безопасности действующих энергоблоков атомных станций (ОУОБ АС). РБ-001-05. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Москва. 2005.
- 7 IAEA Safety guide "Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants", SSG-3, 2010.
- 8 АЭС «БЕЛЕНЕ». Блоки 1, 2. Технический проект. Приложение 2. Вероятностные анализы безопасности (ВАБ). Том 4. Оценка вклада в частоту ПАЗ от площадочных и внешних воздействий S000.BEL.NH-&&&&.04.&&&, АО «Атомэнергопроект», инвентарный № 928, 2009.
- 9 Отчет по углубленной оценке безопасности Билибинской АЭС. Блоки 1-4. Приложение 6. Характеристика площадки. Росэнергоатом. 2015.
- 10 Билибинская АЭС. Блок 2. ВАБ-1 внутренних исходных событий при работе блока на мощности. АО «Научный центр «Техэкспертиза», 2016.
- 11 Программа Risk Spectrum PSA Professional. Аттестационный паспорт программного средства, регистрационный номер 160 от 28.03.2003. Госатомнадзор России, НТЦ ЯРБ, 2003.
- 12 Билибинская АЭС. Отчет о целевой проверке безопасности Билибинской АЭС при экстремальных внешних воздействиях, которые могут стать причиной тяжелой запроектной аварии. Росэнергоатом. 2011.
- 13 Оценка вероятностных характеристик аварийной ситуации с падением летательного аппарата на Билибинскую АЭС. Отчет ФЭИ и ГосНИИ ГА, 1991.
- 14 Разработка моделей по определению вероятностных показателей аварий с падением воздушного судна на здание Билибинской АЭС с учетом местной структуры воздушно-транспортных сообщений. Отчет ФЭИ и ГосНИИ ГА, 1992.
- 15 Разработка расчетных моделей и уточнение вероятностных показателей аварии с падением воздушного судна на здание Билибинской АЭС. Отчет ФЭИ и ГосНИИ ГА, 1992.
- 16 Отчет по углубленной оценке безопасности Билибинской АЭС. Блоки 1-4. Приложение 2. Материалы дополнительного обоснования. Росэнергоатом. 2015.
- 17 NW2O.B.120.&&&&.0401&.022.NH.0001. Вероятностный анализ безопасности. Том 4. ВАБ для внешних воздействий. АО Атомэнергопроект, Москва, 2013.
- 18 1290537-14-194Т «Расчет параметров ВУВ от внутренних и внешних источников взрывной опасности», выполненном ФГУП «Атомэнергопроект» в 2002 году
- 19 ФГУП «Атомэнергопроект», 1290537-14-239Т «Расчет строительных конструкций главного корпуса на особые воздействия».

20 Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приложение к приказу МЧС РФ от 10 июля 2009 г. N 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», МЧС, 2010.

21 «Первые данные об изотопном возрасте Анюйского вулкана, Чукотка», Певзнер М.М., Герцев Д.О., Романенко Ф.А., Кущева Ю.В. "Доклады Академии Наук" РФ, том 438, № 4 (июнь) 2011 год.

22 J.R. Tate «The threat of asteroidal and cometary impacts», Spaceguard UK, December 1998.

23 «Взрывные кратеры на Земле и планетах», сборник статей. - Москва, «Мир», 1968.

24 Л.П.Хрянина, «Метеоритные кратеры на Земле», - Москва, «Недра», 1987.

25 Зденек Кукал, «Природные катастрофы», - Москва, «Знание», 1985.

26 210013.0000015.00005.710-КЭ.00.00.14. Нововоронежская АЭС. Блок 5. Отчет по углубленной оценке безопасности. Приложение 3. Вероятностный анализ безопасности уровня 1. Книга 14. Разработка ВАБ уровня 1 для внешних исходных событий для энергоблока 5 Нововоронежской АЭС. М. ОАО «Атомэнергопроект», 2015.

27 NS-G-3.4. Учет метеорологических явлений при оценке площадок для атомных электростанций. МАГАТЭ, Вена 2005.

28 Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1959. – 576 с.

29 IAEA Safety guide «Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants», SSG-3, 2010.

30 NUREG/CR-1278 (THERP). Swain A.D., Guttman H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications.

31 ВАБ уровня 1 для Билибинской АЭС, ВАБ уровня 1 для внутренних иницирующих событий в режимах малой мощности и с остановленным реактором, Научный центр «Техэкспертиза», 2017.

32 ВАБ уровня 1 для Билибинской АЭС, Вероятностный анализ безопасности источников радиоактивности, Научный центр «Техэкспертиза», 2017.

33 Атаманюк В.Г. и др. Гражданская оборона. Учебник для втузов. Высшая школа,-М., 1986.

34 Risk Spectrum, User's Manual, Version 2.1, Relkon Teknik AB, Box 1288, S-172 25 Sundbyberg, Sweden, April 1994 (на английском языке).

35 Программа Risk Spectrum PSA Professional. Аттестационный паспорт программного средства, регистрационный номер 160 от 28.03.2003. Госатомнадзор России, НТЦ ЯРБ, 2003.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]