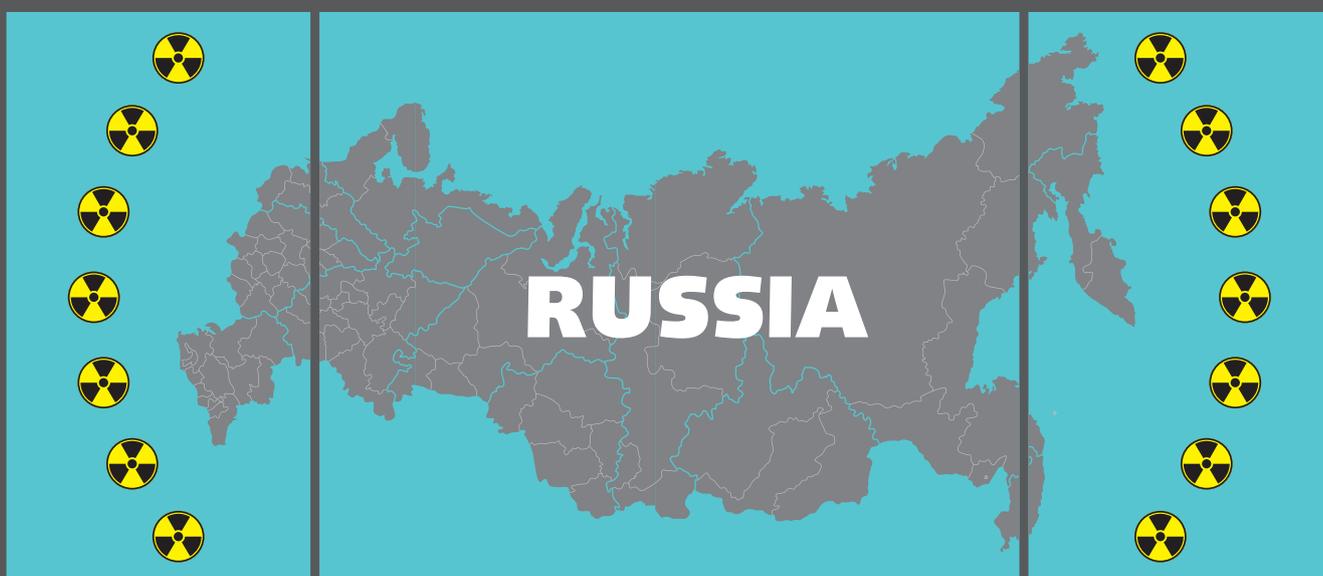


Доклад объединения Bellona. 2011

Плавучие атомные станции



А. Никитин
Л. Андреев

BELLONA

Доклад объединения Bellona. 2011

Плавучие атомные станции

А. Никитин, Л. Андреев

BELLONA

Опубликован: Bellona Foundation

Норвегия, Осло
BELLONA
P.O. BOX 2141 Grünerløkka
N-0505 Oslo
Norway
info@bellona.no

Россия, Санкт-Петербург
Экологический Правозащитный
Центр «Беллона»
Суворовский пр., д. 59
191015, Санкт-Петербург
Россия
e-mail: mail@bellona.ru

Россия, Мурманск
«Беллона-Мурманск»
а/я 4310
183038, Мурманск
Россия
e-mail: russbell@polarcom.ru

Бельгия (Европейский Союз), Брюссель
Bellona Europe
Rue du Trône 61
1050 Brussels
Belgium
e-mail: europe@bellona.org

США, Вашингтон
Bellona-USA
P.O. BOX 42090
Washington D.C. 20015
USA
e-mail: jonathan@bellona.org

Перепечатки разрешаются
со ссылкой на источник
(Источник: Bellona)

Редакционная группа:

Игорь Кудрик
Андрей Золотков
Алексей Яблоков
Владимир Чупров
Андрей Ожаровский

Подписано в печать 00.00.2011.
Тираж 500 экз.

Содержание

Предисловие	5
Введение (краткая история и отдельные факты (эпизоды) создания ПАТЭС)	6
1. Характеристики и основные технические данные ПАТЭС проекта 20870	8
1.1. Конструкция, устройство и характеристики корпуса ПЭБ.....	9
1.2. Энергетика ПАТЭС	11
1.2.1. Реакторная установка и системы, ее обслуживающие	12
1.2.2. Паротурбинная установка.....	15
1.2.3. Резервные и аварийные источники питания.....	15
1.2.4. Система обращения с ядерным топливом и РАО	16
2. Гидротехнические и береговые сооружения	17
3. Безопасность и риски ПАТЭС.....	19
3.1. Обеспечение безопасности и живучести плавучего энергблока как морского судна	19
3.2. Ядерная и радиационная опасности.....	21
Радиационная опасность	
Сейсмическая опасность	
Физическая безопасность в условиях экспорта ПЭБ	
4. Экономика ПАТЭС	26
5. Нормативно-правовая база.....	30
6. Заключение и обобщающие выводы	31
6.1. Корпус, общекорабельные устройства и мореходные качества ПЭБ	31
6.2. Реакторная установка	32
6.3. Паротурбинная установка.....	33
6.4. Резервные источники питания	34
6.5. Система обращения с ядерным топливом и РАО.....	34
6.6. Гидротехнические и береговые сооружения	34
6.7. Безопасность	34
6.8. Экономика.....	35

Послесловие	
А нужна ли Камчатке плавучая атомная теплоэлектростанция?	36
Приложения	38
Список использованной литературы	47
Список сокращений	48

Предисловие

Необходимость написания настоящего доклада вызвана тем, что в последнее время Государственная корпорация «Росатом» развернула широкую пропаганду о перспективности атомных станций малой мощности (АСММ) и активизировала строительство первой плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС), которая является одним из вариантов этого типа атомных станций (АС).

АСММ в настоящее время не получили широкого распространения в мире. Ни одна ядерная держава не использует широко АСММ в промышленных и других народнохозяйственных целях. Интерес к АСММ всегда проявляли и проявляют в основном военные и другие специальные ведомства, например космические агентства, специальные инженерные службы и т. д. Идею создания большой и разнообразной серии АСММ активнее всего продвигали в СССР и продвигают сегодня в России. В СССР первыми начали создавать малые атомные энергетические установки (АЭУ) для использования их в космических кораблях, а также на железнодорожных платформах, автомобильных тягачах и различных плавучих средствах (надводных и подводных). Кроме этого, в СССР было построено самое большое количество атомных надводных кораблей и подводных лодок, на которых использовали АЭУ мощностью от 1 до 160 МВт.

Основной аргумент, который используют сторонники развития АСММ в России сегодня, – это необходимость решения проблем энергообеспечения северных и дальневосточных регионов страны. По их расчетам, несмотря на то, что удельные капиталовложения различных проектов АСММ в 5 и более раз превышают вложения в большие стационарные АЭС (1000 МВт), эти проекты являются перспективными. Сторонники малой атомной энергетики считают, что не в деньгах счастье, главное занять эту «энергетическую нишу», которая впоследствии может принести хорошие контракты, в том числе и международные. Сегодня ГК «Росатом» планирует предложить АСММ (ПАТЭС) странам из Южной Африки, Восточной Азии, Южной Америки и др. для решения их энергетических проблем и проблем

нехватки пресной воды. Отношение к этим инициативам в России и в мире неоднозначное. Насколько это оправданно с точки зрения экономики и всех видов безопасности, в первую очередь ядерной, до конца не ясно. Пока что инициаторы идеи развития АСММ не сумели серьезно обосновать необходимость, экономическую и энергетическую целесообразность, надежность и всестороннюю безопасность проектов АСММ. Большинство вопросов, которые ставили эксперты общественных организаций еще в 2000 году, когда проводили общественную экспертизу и готовили брошюру «Плавучие АЭС России: угроза Арктике, Мировому океану и режиму нераспространения» (<http://www.bellona.ru/reports/floatnpp>), пока остались без ответа.

Настоящий доклад подготовлен в форме оценочного анализа «Декларации о намерениях строительства АСММ на базе плавучего энергоблока с реакторными установками типа КЛТ-40С в районе закрытого административно-территориального образования город Вилючинск Камчатской области». Поэтому когда мы в докладе оцениваем те или иные факторы, связанные с использованием ПАТЭС, мы «привязываемся» к месту ее планируемой эксплуатации – к Вилючинску. Однако многое из того, что изложено в докладе, вполне относится и к другим территориям, на которых может быть размещена плавучая атомная станция.

Настоящий доклад предназначен для общественности, специалистов, людей, принимающих решения, а также потенциальных заказчиков ПАТЭС. Все проблемные вопросы, касающиеся плавучей АТЭС, мы попытались изложить в этой работе. В то же время в докладе мы не возвращались и не описывали те события, которые происходили в рамках проекта по созданию ПАТЭС до 2000 года, поскольку они уже изложены в брошюре «Плавучие АЭС России: угроза Арктике, Мировому океану и режиму нераспространения» (2000 г.), которая подготовлена с нашим участием.

Мы выражаем благодарность экспертам из Гринписа, активистам с Камчатки, экспертам-экономистам за бесценную помощь в подготовке данного доклада.

Введение

(краткая история и отдельные факты (эпизоды) создания ПАТЭС)

Идея создания плавучих атомных электростанций для гражданского использования впервые появилась в США в 1974 году. Электростанцию должны были построить неподалеку от атлантического побережья Соединенных Штатов. Четыре электростанции планировалось разместить в 18 км к северо-востоку от Атлантик-Сити в Нью-Джерси. Но от проекта отказались. Причиной тому стали растущие затраты и протесты со стороны общественности.

Кроме этого, было несколько более ранних проектов, которые разрабатывались по заказу военных ведомств США и СССР. Американское военное ведомство построило плавучую АЭС «Стёрджис», мощностью 10 МВт, которая эксплуатировалась в 1967-1976-х годах в Панамском канале в период Вьетнамской войны. Российское (советское) военное ведомство в начале 1980-х заказывало проект плавучей АЭС «Волнолом 3» с реактором АБВ-6, мощностью 12 МВт, для использования на полигоне Министерства обороны на Новой Земле. Однако работы над созданием этой ПАТЭС были прекращены в начальной стадии.

Первый гражданский проект ПАТЭС в России появился в начале 1990-х годов. Но в то время России было не до строительства дорогостоящих «атомных игрушек», поэтому реализация проекта до 2000 года была заморожена. Однако в этот период (с 1990 по 2001 г.) о проекте не забывали, в том числе и на уровне Правительства РФ (СССР). Периодически появлялись заявления высоких должностных лиц и правительственные документы (постановления, поручения, программы и т. д.), в которых на проект ПАТЭС даже выделялись деньги (см. главу 1 брошюры «Плавучие АЭС России: угроза Арктике, Мировому океану и режиму нераспространения», 2000 г.) (<http://www.bellona.ru/reports/floatnpp>).

В 2001 году проект в очередной раз был реанимирован. За прошедшие 10 лет строительство плавучих атомных электростанций (ПАЭС) сопровождалось большими трудностями и даже скандалами. В 2002 году Минатомом и Агентством по судостроению был согласован технический проект ПАТЭС, после чего начались поиски заказчика, который бы заплатил за строительство, а также решался вопрос головного подрядчика, ко-

торый будет строить головной корпус. В мае 2006 года «Севмашпредприятие» (ПО «Севмаш») выиграло конкурс на строительство головной ПАТЭС. 8 августа 2006 года Росатом подписал контракт с ПО «Севмаш» на строительство заказа. 15 апреля 2007 года состоялась закладка блока. Планировалось, что первая ПАТЭС будет построена в 2010 году для нужд Северодвинска. Шли разговоры о планах по строительству в течение десяти лет 7-ми плавучих станций для энергодефицитных районов и для освоения шельфа. Об этом, в частности, говорили вице-премьер С. Иванов и глава Росатома С. Кириенко. В апреле 2007 года «Росэнергоатом» и «Севмаш» даже подписали декларацию о намерениях, по которой с 2008 по 2016 год «Севмаш» построит еще 6 плавучих энергоблоков (ПЭБ), поскольку Росатом полагал, что только большая серия (не менее 7 ПЭБ) позволит создать экономическую перспективу для этого проекта. Об этом откровенно заявляет глава Росатома С. Кириенко.

Кто будет потенциальными покупателями и инвесторами этих недешевых источников энергии, сегодня не ясно. Сложность для инвесторов и заказчиков заключается в том, что в настоящее время нет всестороннего открытого убедительного обоснования экономики и других важных составляющих проекта (безопасности, нормативной базы и т. д.). Надо иметь в виду, что ПАТЭС – это не просто источник тепла и электроэнергии, это еще и радиоактивные отходы, ядерные материалы и технологии, эксплуатационные регламенты, включающие в себя ядерно- и радиационно-опасные операции, специально подготовленный персонал и многое другое, и это должны учитывать потенциальные заказчики и покупатели, принимая решение о покупке или аренде этих объектов. Потенциальный инвестор заинтересован вкладывать средства в новые перспективные проекты. Росатом представляет проект по строительству ПАТЭС как инновационный, однако технологии, которые используются в реакторной установке и в другом оборудовании станции, на самом деле являются достаточно устаревшими, а техническая надежность используемого оборудования недостаточно высокая. Об этом свидетельствует не совсем блестящий

(мягко говоря) опыт эксплуатации ледоколов, атомных подводных лодок и надводных кораблей.

Наконец, все понимают, что «расползание» по миру плавучих атомных станций открывает широкие возможности для террористов и охотников за ядерными материалами и технологиями. Это потребует принятия особых мер безопасности в международном масштабе. Поэтому потенциальные частные и государственные инвесторы должны осознавать, с какими трудностями они могут столкнуться, если согласятся участвовать в этом проекте.

В начале 2008 года между Росатомом и «Севмашпредприятием» возник конфликт, связанный со срывом сроков строительства.

Кроме этого, «Севмаш» настаивал на увеличении стоимости строительства ПАТЭС с 9,1 млрд рублей до 12 млрд рублей по причине, как объясняли на «Севмашпредприятии», роста цен на комплектующие изделия, энергию, услуги и т. д. Росатом с этим не согласился, утверждая, что технический проект ПАТЭС и цены были согласованы Минатомом и Агентством по судостроению, скорректированы в 2007 году, подписаны всеми участниками проекта, включая «Севмаш», и пересматривать договоренности он не намерен. В результате Росатом поставил вопрос перед Правительством РФ о переносе строительства плавучего энергоблока на Балтийский завод в Санкт-Петербург, что и было сделано в 2008 году.



В это же время было принято решение, что головная ПАТЭС будет построена не для Северодвинска, как планировалось ранее, а для нужд Камчатки. Решение разместить ПАТЭС в базе атомных подводных лодок в Вилучинске, с экономической точки зрения, до конца не понятно, поскольку ни Камчатка, ни тем более Вилучинск не нуждаются в дополнительных 70 мегаваттах энергии. Единственным объяснением этого странного решения может быть то, что в военном гарнизоне никто не будет протестовать против дислокации ПАТЭС в акватории военной базы, а также что в городке подводников есть возможность обеспечить атомную станцию кадрами, включая специалистов по ее техническому обслуживанию.

С другой стороны, если Росатом планирует использовать первую ПАТЭС как демонстрационный экспонат для потенциальных инвесторов, то место и условия размещения атомной станции выбраны не совсем удач-

но: труднодоступный район, закрытый военный гарнизон, а также другие условия дислокации, которые не все потенциальные покупатели, особенно иностранные, могут у себя создать и обеспечить (имеется в виду – закрытую бухту, охрану, техническое обслуживание, обеспечение кадрами и т. д.). Поэтому сегодня есть необходимость проанализировать и оценить, что за этими решениями стоит и какова дальнейшая перспектива одиозного проекта по строительству большой серии ПАТЭС.

30 июня 2010 года на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге состоялась церемония спуска на воду корпуса головного плавучего энергоблока атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» (проект 20870). Присутствующий на спуске глава Росатома С. Кириенко выразил уверенность, что через 22 месяца, т. е. во II квартале 2012 года, плавучую атомную теплоэлектростанцию будут провозжать на Камчатку.

1. Характеристики и основные технические данные ПАТЭС проекта 20870

Плавучая атомная тепловая электростанция проекта 20870 относится к атомным станциям малой мощности. В состав ПАТЭС входят:

- плавучий энергоблок с двумя реакторными установками (РУ) КЛТ-40С и двумя паротурбинными установками (ПТУ) ТК-35/38-3.4с;
- гидротехнические сооружения, обеспечивающие установку и раскрепление ПЭБ и передачу вырабатываемой электрической и тепловой энергии на берег;
- береговые сооружения, предназначенные для передачи выработанной электрической и тепловой энергии во внешние сети для распределения потребителям.

В корпусе ПЭБ размещаются реакторные и паротурбинные установки. Здесь же будут размещены хранилища свежих тепловыделяющих сборок (СТВС), отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), твердых радиоактивных отходов (ТРО) и жидких радиоактивных отходов (ЖРО), электроэнергетическая система (ЭЭС), автоматическая система управления (АСУ) «Лагуна», общесудовые системы и оборудование, а также жилые и служебные помещения [1].

Главным проектантом плавучего энергоблока является ОАО «ЦКБ «Айсберг». Реакторную установку, перегрузочное оборудование, а также оборудование хранилищ проектирует и изготавливает ОАО «ОКБМ Африкантов» (Нижний Новгород). Паротур-

бинную установку проектирует и поставяет ОАО «Калужский турбинный завод». За поставки и изготовление всего общесудового оборудования отвечает завод-строитель – ОАО «Балтийский завод». Всего в производственной кооперации по созданию ПАТЭС только по договорам 1-го и 2-го уровней участвуют около 136 предприятий. Все оборудование в корпусе ПАТЭС монтируется на заводе-строителе в Санкт-Петербурге. По проекту, в течение 4 лет энергоблок строится на заводе-изготовителе, еще год занимает его буксировка к месту работы и пусконаладочные операции. Межремонтный интервал работы ПАТЭС – 12 лет [1].

На сегодняшний день открытым остается вопрос о том, где будут выполняться потенциально ядерно-опасные работы (ПЯОР), связанные со строительством и вводом в эксплуатацию ПАТЭС, т. е. доставка ядерного топлива на плавучий блок, загрузка ядерного топлива в реактор, физический и энергетический пуски реакторов. Проблема в том, что в начале 1990-х годов распоряжением мэра Санкт-Петербурга было запрещено выполнять ПЯОР в черте города, и с тех пор ни Адмиралтейские верфи, ни Балтийский завод эти работы не выполняли. По крайней мере, официально было заявлено, что потенциально ядерно-опасные работы на атомном крейсере «Петр Великий» и атомном ледоколе «50 лет Победы», которые были построены в конце 1990-х на верфи Балтийского завода, выполнялись за городской чертой Санкт-Петербурга.

1.1. Конструкция, устройство и характеристики корпуса ПЭБ

Поскольку атомная тепловая электростанция является плавучей, корпус ПЭБ и все его характеристики, включая мореход-

ные, являются одними из самых важных элементов, влияющих на безопасность объекта, в том числе на ядерную и радиационную.

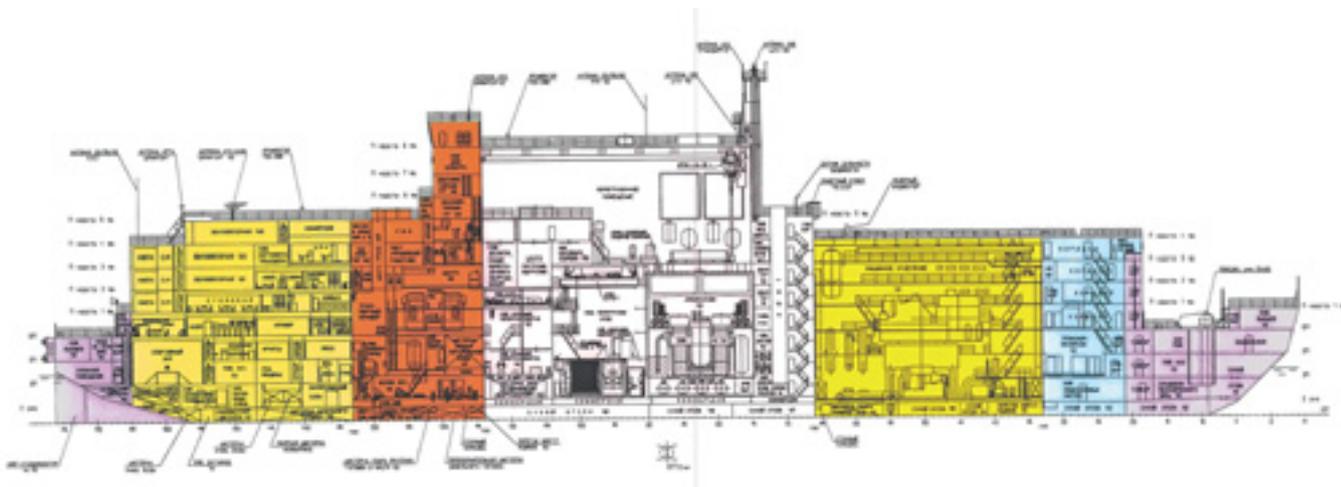


Рис. 1. Корпус ПЭБ [1].

ПЭБ – это гладкопалубное плоскодонное несамоходное судно стоечного типа (т. е. его основной эксплуатационный режим – долговременная стоянка у причала) с обводами корпуса, близкими к прямоугольным, и большой многоярусной надстройкой. Заявленный класс регистра КЕ*(2) А2. Символы (КЕ*) означают, что это несамоходное плавучее сооружение с суммарной мощностью первичных двигателей 100 кВт и более, построенное и изготовленное по правилам другой, признанной регистром классификационной организации, и освидетельствовано при постройке и изготовлении. Символ (2) означает, что при затоплении двух смежных отсеков плавучее сооружение будет оставаться на плаву, не потеряв остойчивости и

плавучести. Символ (А2) означает, что объем автоматизации позволяет эксплуатацию механической установки одним оператором из ЦПУ, без постоянного присутствия обслуживающего персонала в машинном помещении. Другими словами, объем автоматизации РУ КЛТ-40С ПЭБ АС ММ, по классификации Российского морского регистра судоходства, соответствует классу А2, который определяет, что эксплуатацию установки может осуществлять один оператор из центрального поста управления без постоянного присутствия другого обслуживающего персонала в помещениях размещения энергетического оборудования [3].

Основные характеристики плавучего энергоблока указаны в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики плавучего энергоблока

Наименование	Кол-во
1 Тип судна	Несамоходное стоечное
2 Класс регистра	КЕ*(2) А2
Основные массогабаритные и эксплуатационные характеристики ПЭБ	
3 Водоизмещение, тыс. т	21,5
4 Главные размеры, м:	
• длина	140
• ширина	30

• осадка	5,56
• высота борта	10
• высота надстройки	около 30 м
5 Экипаж-вахта, чел.	70
6 Автономность, суток:	
• по ядерному топливу (периоды между перегрузками)	2,5-3 года
• по органическому топливу (аварийные режимы, перегон)	30
• по запасам пресной воды	20
• по запасам провизии	60
7 Показатели надежности:	
• полный назначенный срок службы	35-40 лет
• назначенный срок службы до заводского ремонта	10-12 лет
• продолжительность ремонта	1 год
• периодичность докования	10-12 лет
• полный назначенный срок до ремонта основного оборудования	240-300 тыс. ч
8 Потребные ресурсы для эксплуатации:	
• количество безвозвратного забора воды для технического водоснабжения (безвозвратный водозабор), м ³ /год	3650
• количество воды для питьевых нужд, м ³ /сут	18
• объем канализационных сбросов, м ³ /сут	25
• количество электроэнергии на собственные нужды, МВт (эл.)	9,3

Корпус плавучего энергоблока цельносварной, разделен переборками на отсеки, которые формируют два блока – жилой и технологический. В технологическом блоке размещаются две РУ и две ПТУ, а также вспомогательные системы и оборудование, обеспечивающие нормальную эксплуатацию энергоблока. Реакторный отсек и отсек обращения с ядерным топливом располагаются в средней части ПЭБ [1].

Эти отсеки отделены от остальных помещений непроницаемыми переборками, которые выполняют функцию биологической и физической защиты. В носу судна размещены турбогенераторный и электротехнический отсеки, в корме – отсек вспомогательных установок и жилой блок. Жилой сектор, расположенный в кормовой части, содержит спальные и бытовые помещения, а также оборудование для размещения и обслуживания персонала. Планируется, что ПАТЭС будут обслуживать порядка 140 человек вахтовым методом – две смены по 70 сотрудников. Каждая смена подразделяется на три вахты (поскольку работа персонала –

круглосуточная). Кроме этого, необходимо еще добавить администрацию, технический персонал, охрану и береговую службу.

Корпус ПЭБ имеет ледовые подкрепления и специальные средства для буксировки во льдах атомным ледоколом типа «Россия», а также средства для раскрепления в пункте размещения. Основной корпус и силовые конструкции надстройки выполняются из стали, обладающей высоким сопротивлением хрупким разрушениям в условиях низких температур. Подводная часть корпуса защищена от коррозии электрохимической защитой и ледостойким лакокрасочным покрытием [2].

Каждые 12 лет энергоблок буксируют на завод для заводского и докового ремонта. Во время заводского ремонта также перегружают топливо в реакторах и выгружают радиоактивные отходы. На эти работы отводится 1 год, после чего блок вновь приступает к работе.

Итого расчетный срок эксплуатации ПАТЭС составляет около 40 лет – три рабочих цикла по 12 лет с годичными перерывами на заводской ремонт.

1.2. Энергетика ПАТЭС

Энергетику ПАТЭС можно разделить на два блока – ядерный (основной) и неядерный (вспомогательный). В состав ядерного блока входят две реакторные установки КЛТ-40С тепловой мощностью 150 МВт каждая и две паротурбинные установки с турбогенераторами электрической мощностью 35 МВт. Итого мощность ПАТЭС составляет 70 МВт электрической и 300 МВт тепловой мощности. Реакторные и паротурбинные установки размещены побортно и работают автономно. Описание функционирования тепловой схемы реактора и систем, его обслуживающих, приведено в Приложении 1.

Упрощенная тепловая схема ядерного блока функционирует следующим образом (рис. 2). Пар, полученный в парогенераторах (ПГ) реакторной установки, поступа-

ет на паровую турбину, которая вращает электрогенератор. Электрогенератор вырабатывает электрическую энергию, подаваемую потребителям. Пар, отработавший в ступенях турбины, отбирается на подогрев питательной воды в специальном теплообменнике (подогревателе), а также на нагрев воды в теплообменниках теплофикации. Отработавший в турбине пар конденсируется в главном конденсаторе с помощью забортной (морской) воды. Образовавшийся конденсат с помощью конденсатного насоса подается в деаэрактор, где происходит удаление растворенных газов, главным образом кислорода. Затем с помощью насоса питательная вода поступает в ПГ реакторной установки, и цикл повторяется.

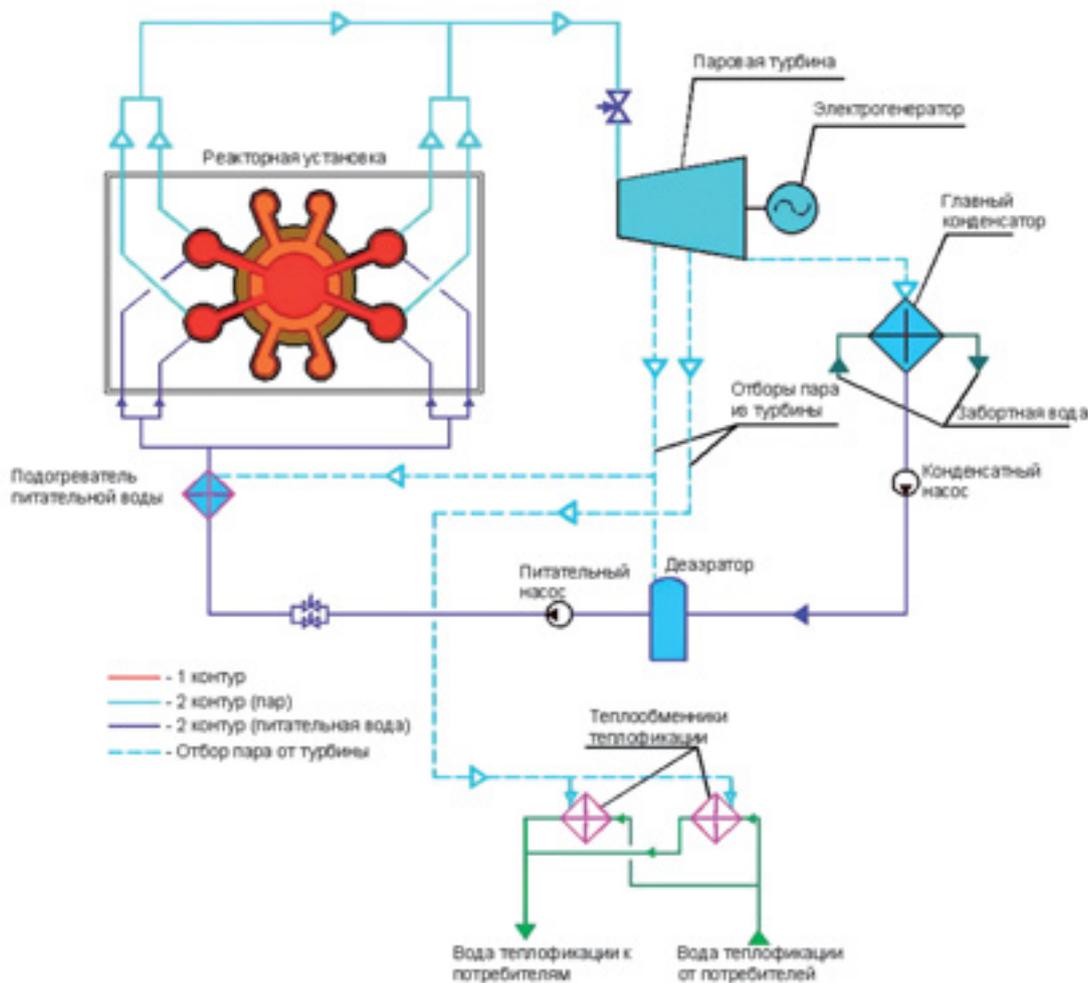


Рис. 2. Тепловая схема ядерного блока ПЭБ [1].

Вспомогательный энергетический блок включает в себя четыре резервных дизель-генератора (РДГ) мощностью по 800 кВт каждый, а также четыре аварийных дизель-

генератора (АДГ) мощностью по 200 кВт. Кроме этого, в конструкции ПЭБ предусмотрена вспомогательная котельная установка (ВКУ) производительностью по пару 16 т/ч [1].

1.2.1. Реакторная установка и системы, ее обслуживающие

Реакторная установка КЛТ-40С блочного типа представляет собой парогенерирующий блок (рис. 3). Основными элементами РУ являются: реактор, парогенераторы, главные циркуляционные насосы (ГЦН), теплообменники, компенсаторы давления, арматура и трубопроводы различного назначения, в том числе и те, которые образуют основные контуры РУ. К основным

контурам РУ относятся 1-й, 2-й, 3-й и 4-й контуры. Каждая из РУ заключена в стальную герметичную оболочку, выполненную как прочноплотная конструкция корпуса ПЭБ и рассчитанную на максимальное давление, которое в ней может возникнуть в случае аварийных ситуаций.

Основные характеристики РУ приведены в таблице 2.

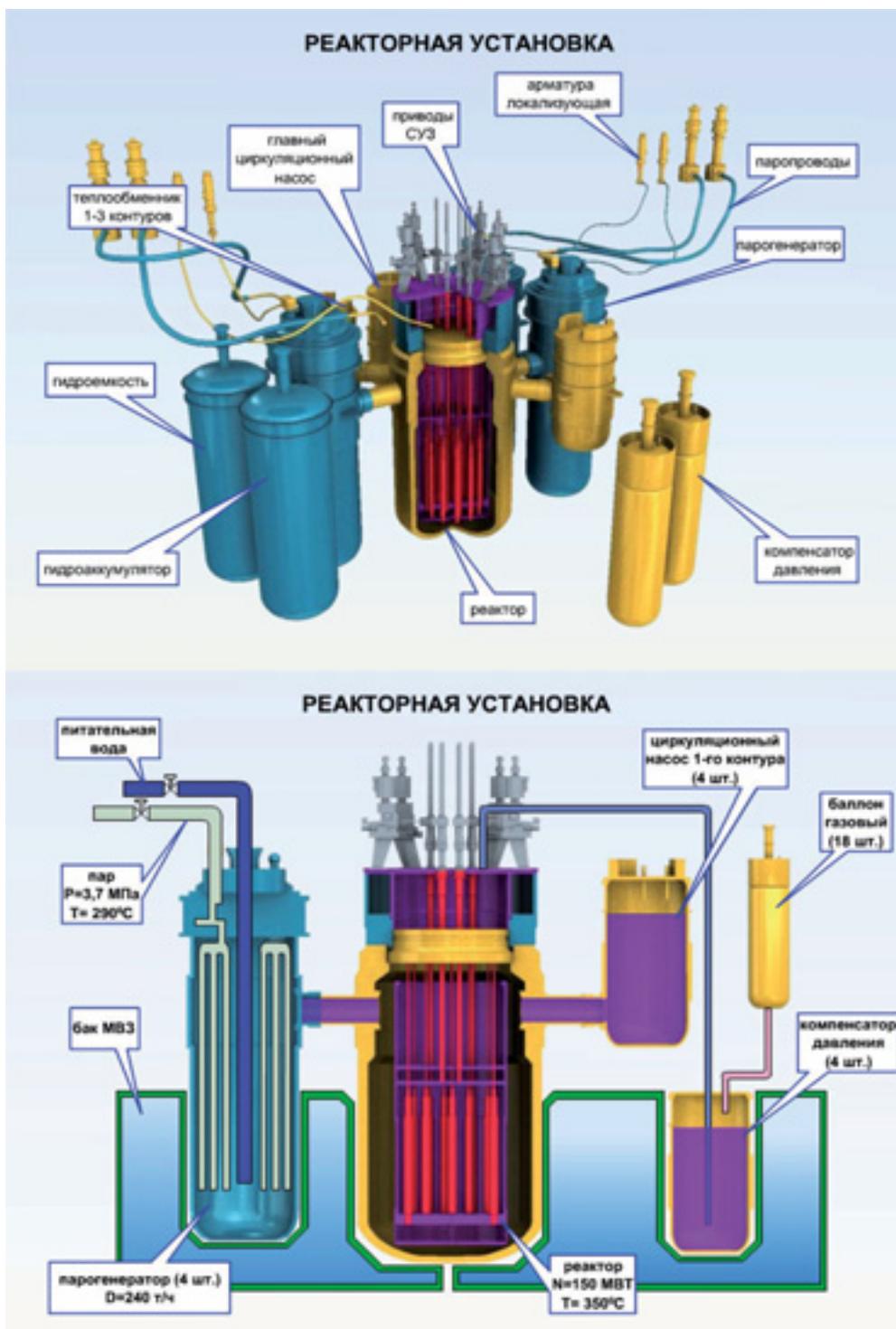


Рис. 3. Парогенерирующий блок [1].

Основные характеристики РУ

Наименование	Параметры
• тип реактора КЛТ-40С	ВВРД
• компоновка	Блочная
• назначенный срок службы корпуса реактора, лет	35-40
• назначенный ресурс корпуса реактора, ч	280 000
• масса реактора без воды, кг	70 000
• масса реактора с водой, кг	77 700
• обогащение топлива по U^{235} , %	18,5
• тепловая мощность, МВт	150
• уровень естественной циркуляции, % $N_{ном}$	3-5
• расход теплоносителя через активную зону, т/ч	2600
• давление 1-го контура при ном. мощн., кг/см ²	128
• расчетное давление, кг/см ²	162
• температура теплоносителя на входе реактора, °С	280
• температура теплоносителя на выходе реактора, °С	317
• расчетная температура, °С	350
• паропроизводительность, т/ч	240
• макс. электрическая мощность, МВт	2х38,5
• макс. теплофикационная мощность, Гкал/ч	146
• макс. электр. мощность при макс. теплофикац., МВт	2х19,4
Параметры питательной воды на входе в парогенератор	
• давление, кг/см ²	61
• температура, °С	170
Параметры перегретого пара	
• давление, кг/см ²	38
• температура, °С	290

Описание конструкции реактора, схемы работы основного (1-го) контура, а также перечень систем и контуров, обеспечивающих и обслуживающих работу РУ, и основные их характеристики приведены в Приложении 1.

Активная зона реактора

Для КЛТ-40С была создана новая кассетная активная зона. По заявлению конструкторов, эта конструкция зоны решила вопрос нераспространения ядерных материалов и технологий. Заявлено, что обогащение урана, используемого в кассетной активной зоне, не превышает 20%, и это позволяет Росатому выполнить условия МАГАТЭ по ограничению распространения высокообогащенного ядерного материала и улучшить инвестиционную привлекательность проекта (ядерный материал с обогащением до 20% считается среднеобогащенным).

По-видимому, в активных зонах, которые будут использоваться в ПАТЭС российского назначения, обогащение будет выше 20%, поскольку, по заявлению дирекции ПАТЭС, одной из целей создания плавучих станций является отработка технологий и активных зон, в частности для атомных подводных лодок и атомных кораблей различного назначения [13].

Основными параметрами, которые определяют работоспособность тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), применяемых в активной зоне реакторов ПЭБ, являются [10]:

- накопление осколков деления в топливной композиции;
- теплонапряженность при среднеэксплуатационной мощности;
- теплонапряженность при номинальной мощности;
- флюенс быстрых нейтронов;
- время работы на мощности;

- продолжительность работы ТВЭЛов с циркониевыми оболочками в режимах с поверхностным кипением теплоносителя.

Кассетная активная зона реакторов является компактной и неремонтируемой (не предусматривается возможность перегрузки отдельных тепловыделяющих сборок (ТВС) при случайных или износных отказах). Кассета представляет собой сборочную единицу, содержащую пучок ТВЭЛов, дистанционирующие решетки, чехол, концевые детали – головку и втулку, а также крепежные детали. Кассетная структура активной зоны позволит повысить мощность и срок службы (энергоресурс). Повышение энергоресурса при кассетной компоновке активной зоны достигается за счет увеличения количества тепловыделяющих элементов и размеров активной зоны. При этом остальное оборудование РУ и ее компоновка сохраняются. Кассетная структура активной зоны также снимает проблему ресурса экранной сборки реактора. По всей вероятности, в топливной кассете будут использованы дисперсионные ТВЭЛы на основе интерметаллидного топлива с повышенной ураноемкостью «UO₂ + алюминиевый сплав». Применение этого вида топлива обеспечивает условие для снижения обогащения топлива. Обо-

лочка этих ТВЭЛов изготовлена из циркониевого сплава Э-635, который показал при исследованиях хорошие результаты по коррозионной и радиационной стойкости. Конструктор активной зоны (ОАО «ОКБМ Африкантов») заявляет о скором переходе на активные зоны с существенно увеличенной кампанией (до 10 лет), однако в рассматриваемом проекте заявленная продолжительность кампании активной зоны составляет 3 года. Основные характеристики кассетного варианта активной зоны реактора КЛТ-40С приведены в таблице 3 [13].

Основным отличием в условиях работы ТВЭЛов в активных зонах ПЭБ по сравнению с активными зонами атомных ледоколов является более высокая среднеэксплуатационная мощность РУ.

Это приводит к изменениям следующих основных эксплуатационных параметров:

- более высокая теплонапряженность при среднеэксплуатационной мощности;
- большее время работы ТВЭЛов при поверхностном кипении теплоносителя;
- более высокая скорость накопления осколков деления в топливной композиции;
- более высокий поток быстрых нейтронов.

Таблица 3

Основные характеристики кассетной зоны реактора КЛТ-40С

Характеристика	Значение
Номинальная мощность, МВт	150
Число ТВС, шт.	121
Описанный диаметр, мм	1219
Высота, мм	1300
Энергоресурс, МВт/ч	3,3 • 10 ⁶
Продолжительность кампании, эфф. ч	22 000
Диаметр ТВЭЛа, мм	6,2
Шаг размещения ТВЭЛов в ТВС, мм	8,35
Площадь теплопередающей поверхности, м ²	312,5
Количество ТВЭЛов в активной зоне, шт.	12 342
Плотность урана в сердечнике ТВЭЛа, г/см ³	4,5
Среднее накопление продуктов деления в сердечнике ТВЭЛа, г/см ³	0,42
Максимальное накопление продуктов деления в сердечнике ТВЭЛа, г/см ³	0,65
Удельная энергонапряженность активной зоны, МВт/м ³	110
Средний тепловой поток с поверхности ТВЭЛов, МВт/м ²	0,47
Удельная линейная напряженность ТВЭЛов, Вт/см	90,7

1.2.2. Паротурбинная установка

На ПЭБ установлено две паротурбинные установки типа ТК-35/38-3.4с. Турбина теплофикационного типа, предназначена для выработки тепла и привода генератора как источника электроэнергии. Расход свежего пара на турбину составляет 220 т/ч при температуре 285 °С. В турбине имеется 3 отбора пара. Первый и третий отборы нерегулируемые, предназначены для подогрева питательной воды. Второй отбор – регулируемый, пар этого отбора направляется на подогрев питательной воды и нагрев воды промежуточного контура [1].

Диапазон регулирования отпуска тепловой энергии на подогреватели промежуточного контура составляет 0-100% при условии наличия нагрузки на клеммах генератора не менее 30% от номинальной. Указанное ограничение связано с охлаждением последних ступеней турбины. В диапазоне электрических нагрузок 30-100% от

номинальной величины обеспечивается независимое регулирование отпуска тепловой и электрической энергии.

Тепловой схемой турбины предусмотрен дополнительный отпуск тепла через пиковые подогреватели промежуточного контура за счет острого пара, отбираемого перед турбиной. При этом происходит снижение электрической мощности. Включение пиковых подогревателей необходимо в зимний период для покрытия пиковых тепловых нагрузок. Отпуск тепла от турбины осуществляется через промежуточный контур водой под давлением, что является дополнительным барьером от проникновения радиоактивности к потребителям тепла. Основное оборудование ПТУ (турбина, двухсекционный горизонтальный конденсатор поверхностного типа и электрогенератор с обслуживающими системами) представляет собой единый блок [20].

Основные характеристики ПТУ ТК-35/38-3.4с

Электрическая мощность на клеммах генератора, МВт	2х35
Тепловая мощность, выдаваемая в систему теплоснабжения, Гкал/ч	2х25
Максимальная электрическая мощность (без выдачи тепловой мощности), МВт	2х38,5
Номинальный подогрев воды в конденсаторе, °С	13,4
Способ передачи тепловой энергии с ПЭБ	Промконтур
Параметры пара перед турбоагрегатом:	
– давление, МПа	3,43
– температура, °С	285
Температура охлаждающей воды, °С	10
Расход охлаждающей воды, м³/ч	5400
Давление пара в конденсаторе (теплофикационный режим), кПа	5
Давление воды промежуточного контура, МПа	~1,6
Расход воды промежуточного контура, м³/ч	420
Номинальная температура воды промконтура (выход/вход), °С	130/70
Давление пара в конденсаторе (теплофикационный режим), кПа	5
Давление воды промежуточного контура, МПа	~1,6
Расход воды промежуточного контура, м³/ч	420
Номинальная температура воды промконтура (выход/вход), °С	130/70

Характеристики паропроводов ПТУ, а также основные сведения о конденсатно-питательной

системе и системе охлаждения главного конденсатора приведены в Приложении 2.

1.2.3. Резервные и аварийные источники питания

Для питания во время буксировки, а также во время переходных и аварийных режимов ядерной энергетической установки (ЯЭУ), ПАТЭС снабжена источни-

ками энергии на органическом топливе. Питание системы автозапуска АДГ обеспечивается от двойного комплекта стартерных аккумуляторных батарей напряжени-

ем 24 В. Время автоматического запуска АДГ около 10 секунд. Мощность РДГ позволяет осуществлять ввод (вывод) одной РУ и ПТУ (при неработающей второй РУ).

В походном состоянии ПЭБ (буксировка) питание потребителей собственных нужд напряжением 0,4 кВ обеспечивается от РДГ.

1.2.4. Система обращения с ядерным топливом и РАО

В соответствии с проектной моделью эксплуатации ПЭБ в обеспечение его эксплуатации в течение межремонтного периода (10-12 лет) предусмотрено проведение трех перезарядок реакторов. Две перезарядки производятся в период эксплуатации, третья совпадает с проведением заводского ремонта. Таким образом, в хранилище ПЭБ должны постоянно находиться 4 активные зоны, до перезарядки – свежих, после перезарядки – отработавших. Для проведения комплекса работ по перезарядке реакторов, а также операций по хранению отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и выдаче его на береговую базу в предремонтный период, проектом предусмотрена установка в защитном ограждении кранового (перегрузочного) оборудования. Кроме этого, предусмотрены хранилища мокрого типа с системами снятия остаточных тепловыделений от ОТВС. Во время эксплуатации ПЭБ и при перегрузке активных зон образуются различного рода ТРО, которые включают в себя демонтируемые с РУ сборки, приборы, детали, специнструмент, обтирочный материал, покрытия, спецодежду, посуду радиохимической лаборатории, отработавшую шихту фильтров 1-го и 3-го контуров и другие твердые отходы, попадающие под классификацию ТРО.

Поэтому хранилище ОТВС и ТРО должно будет выполнять следующие функции:

- прием, хранение и выдачу ОТВС и ТРО;
- поддержание температуры ОТВС в приемлемых пределах с учетом фактического уровня остаточных тепловыделений;
- локализацию радионуклидов в пределах хранилища ОТВС и ТРО;
- поддержание показателей качества теплоносителя, контактирующего с ОТВС, в пределах, обеспечивающих минимальную скорость коррозии ТВЭЛ;
- контроль технологических параметров;
- снижение уровня излучения от радиоактивных источников, размещенных в хранилище ОТВС и ТРО до установленных пределов в помещении хранилища и в смежных с ним.

Хранение жидких и твердых радиоактивных отходов должно осуществляться без привлечения специальных судов атомно-технологического обслуживания (АТО) и плавучих технологических баз перезарядки (ПТБ) в течение 12-летнего межремонтного периода.

На заводе по ремонту и сервисному обслуживанию ПЭБ отработавшее за один эксплуатационный межремонтный период (10-12 лет) ядерное топливо должно перегружаться из хранилищ ПЭБ в транспортные контейнеры и отправляться на переработку.

2. Гидротехнические и береговые сооружения

Согласно проекту в месте установки ПЭБ естественная акватория должна иметь достаточные размеры и глубины для его установки и свободного маневрирования вспомогательных судов.

Схема компоновки пункта базирования ПАТЭС изображена на рисунке 4. Гидротехнические сооружения (ГТС) ПАТЭС необходимы для обеспечения раскрепления, нормальной эксплуатации и транспортно-технологической связи ПЭБ с берегом и включают [2]:

- волнозащитные сооружения (молы);
- причальные сооружения для установки ПЭБ;
- операционную акваторию;
- дноуглубление, берегоукрепление;
- знаки навигационной обстановки.

На обширной операционной акватории должны размещаться технологические суда обслуживания и одновременно два ПЭБ в период их переподключения к береговым сетям.

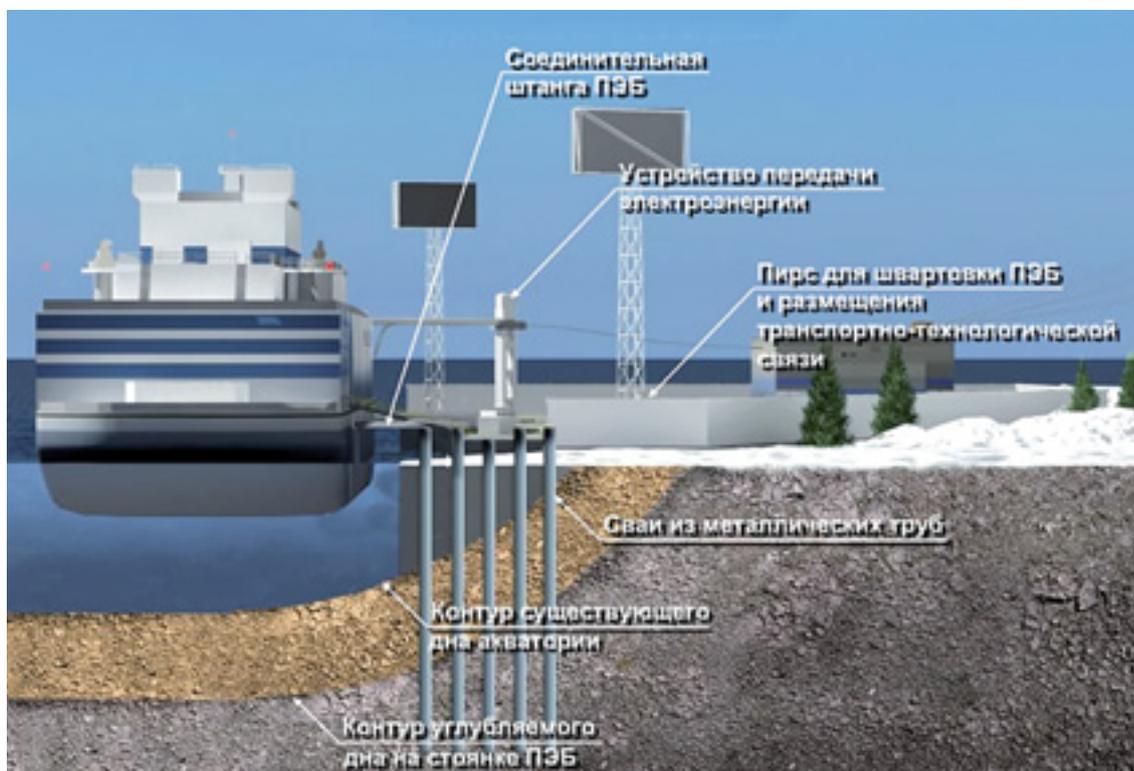


Рис. 4. Гидротехнические сооружения, рекомендуемые проектом [1].

На берегу необходимо соорудить устройства для распределения и передачи электроэнергии потребителям, инженерные сети и транспортные коммуникации, а также помещения административно-

хозяйственных служб. Кроме этого, необходимо будет построить инженерные сети, выходящие за границы площадки ПАТЭС. Для передачи теплоты от промежуточного контура ПЭБ в береговую теплофикацион-

ную сеть необходимо построить тепловой пункт, предназначенный для размещения насосов промежуточного контура ПЭБ, циркуляционных насосов сетевой воды и водоводяных подогревателей сетевой воды. Береговая инфраструктура должна также предусматривать очистные сооружения для хозяйственно-бытовых и ливневых стоков

от береговых объектов ПАТЭС и самого ПЭБ (в случае передачи вод на очистку при выводе из действия очистительной установки ПЭБ). Для транспортного обеспечения ПАТЭС должна быть предусмотрена подъездная автомобильная дорога к пункту базирования ПЭБ от существующей сети автодорог.

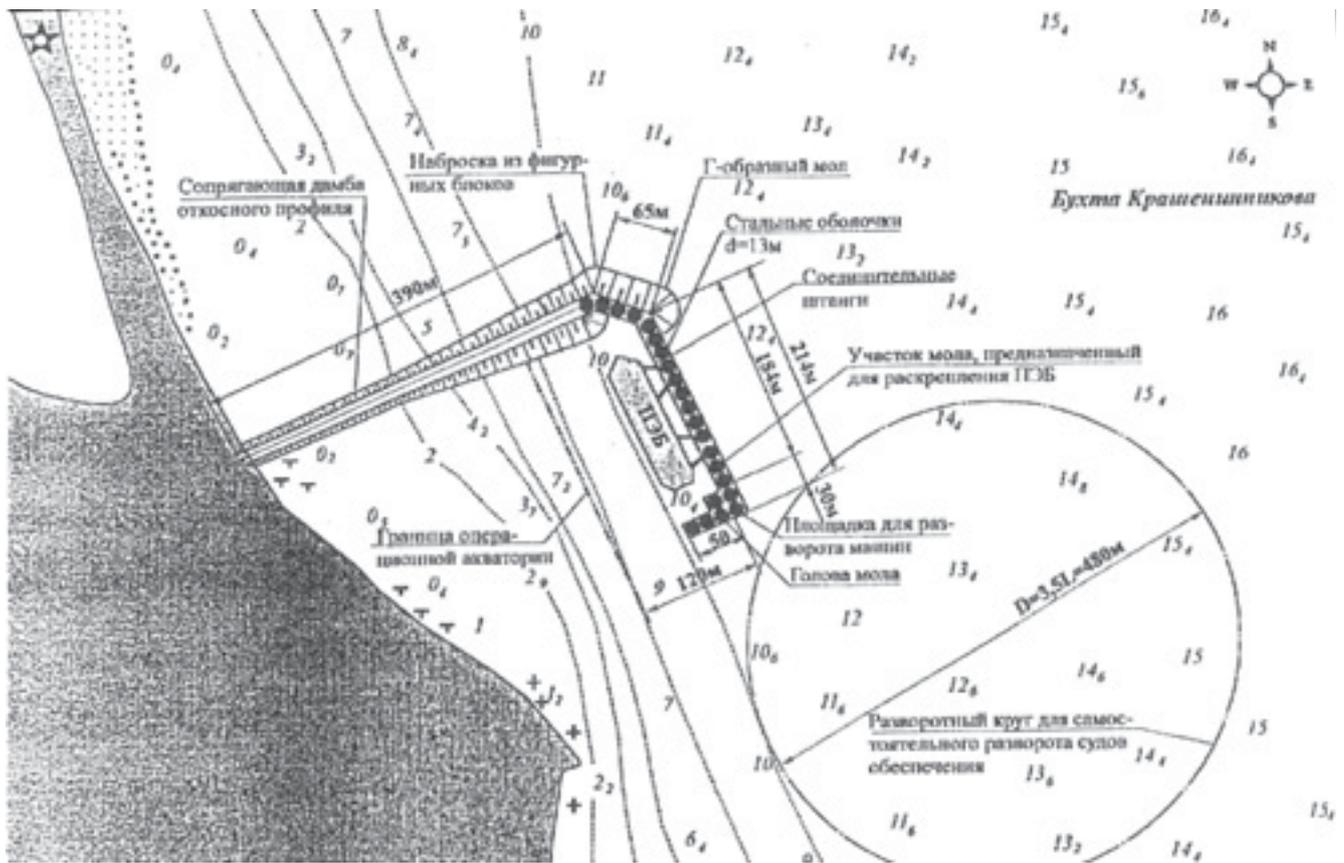


Рис. 5. Схема размещения ПЭБ в бухте Крашенинникова [1].

3. Безопасность и риски ПАТЭС

ПАТЭС – это сложное комбинированное инженерное сооружение, которое состоит из плавучего атомного энергоблока, гидротехнических и береговых сооружений, поэтому следует оценивать

уровень безопасности ПАТЭС как отдельно морского судна и атомной станции, так и в комплексе при всех условиях, режимах, стадиях и этапах ее строительства и эксплуатации.

3.1. Обеспечение безопасности и живучести плавучего энергоблока как морского судна

ПЭБ является специализированным плоскодонным самоходным судном стоечного типа, и проект по его использованию предусматривает практически неограниченную его эксплуатацию во всех морях и океанах земного шара, включая арктические моря, поэтому необходимо рассматривать его уровень безопасности в совокупности со всеми требованиями, предъявляемыми морским регистром к судам.

Для безопасности судов, в том числе и для ПЭБ, большое значение имеют мореходные качества и конструктивные свойства, которые обеспечивают живучесть и непотопляемость плавучего объекта. Конструкция ПЭБ проекта 20870 изначально (по замыслу) не соответствовала высоким мореходным стандартам. Плоскодонность, большая парусность, нулевая управляемость из-за отсутствия собственных рулевых устройств и двигателей автоматически относит плавучий энергоблок к потенциально опасному (высокий уровень опасности) морскому объекту, который, как правило, должен всегда сопровождаться (или страховаться) специальными буксировочными силами и средствами, даже если он находится на стоянке. Плавучий энергоблок планируется использовать как в арктических, так и в субтропических морях, поэтому мореходные качества и конструктивные свойства, обеспечивающие непотопляемость и живу-

честь, должны учитывать эти особенности, что, как показывает практика, сделать достаточно сложно.

Например, в арктических морях необходимо предпринимать меры для обеспечения защиты корпуса при низких температурах и в ледовых условиях, а в южных морях – корпус в основном подвергается воздействию водорослей и агрессивной теплой соленой морской воды, сильно увеличивающей и активизирующей коррозию арматуры и самого корпуса судна. Согласно паспорту ПЭБ должен оставаться на плаву в случае затопления двух смежных отсеков [1]. Это не максимально возможные меры, которые можно было бы предусмотреть в конструкции для обеспечения плавучести этого атомного судна. Например, конструктивные меры, применяемые для больших военных надводных кораблей, позволяют выдерживать затопление четырех и более водонепроницаемых отсеков [8]. Плавучий энергоблок имеет только семь отсеков, разделенных водонепроницаемыми переборками, и большое количество внутренних палуб, накрывающих отсеки, а также множество сальниковых и других переходов (большая насыщенность корабля системами и механизмами). В случае поступления воды это будет способствовать несимметричному затоплению отсеков, что в конечном итоге отрицательно повлияет на живучесть судна.

Буксировка

Согласно проекту ПЭБ будет в основном использоваться в стояночном режиме (у причала). Однако к месту постоянной дислокации плавучий блок будет буксироваться по морям и даже по океанам, если осуществляются планы продажи ПЭБ в страны Африки, Азии и Южной Америки.

Морская буксировка – это особый случай морской практики, связанный со сложным маневрированием и специальным техническим, навигационным и организационным обеспечением. Морская буксировка несамостоятельного атомного судна, которым является ПЭБ, исключительный случай, которого в мировой морской практике еще не было. Есть опыт буксировки плавучих кранов, барж и других плавсредств, но мировая практика не знает случая больших морских буксировок атомного стоечного судна. Проблему этой операции усугубляет тот факт, что заход атомных судов в порты, и даже в территориальные воды государств, требует специального разрешения и долгого согласования. Например, атомный лихтеровоз «Севморпуть» не смогли эффективно эксплуатировать по причине того, что он не мог свободно заходить во многие иностранные порты. Если при буксировке атомного ПЭБ, на борту которого в хранилищах и в реакторе находятся ядерные материалы, возникнет аварийная ситуация, требующая захода в территориальные воды в поисках места-убежища или в иностранные порты, то с этим могут появиться серьезные проблемы. Плавучий атомный блок требует постоянной охраны не только во время буксировки, но и во время стоянки. Охранять необходимо не только плавучий объект и наземную территорию, но и водную акваторию, включая ее подводную часть. Согласно Международному кодексу по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ) компания-судовладелец должна разработать, задействовать и поддерживать для этих судов систему управления безопасностью (СУБ). Скорее всего, эти функции будут возложены на структурное подразделение Росатома «Атомфлот». Однако непонятно, как эти функции будут выполняться на плавучих ПЭБ, которые в будущем планируется использовать в других странах и континентах, ясно, что все это потребует немалых дополнительных затрат, сил и средств [3].

Буксировка несамостоятельного плоскодонного судна в штормовых и ледовых условиях требует особой подготовки и решений. Такое судно в сложных условиях практически невозможно буксировать, используя только

обычную буксирную линию. По всей вероятности, для буксировки ПЭБ необходимо будет задействовать как минимум 3-4 буксира или спасательных судна, два из которых при буксировке необходимо будет пришвартовать к судну лагом (побортно). Если первый корпус ПАТЭС будут буксировать на Камчатку по Северному морскому пути, то для осуществления этой операции потребуются ледоколы. Буксировка ПЭБ ледоколом является сложной и дорогостоящей операцией, которая требует специальных буксирных устройств и подготовки экипажей [3].

Согласно проекту безопасность ПЭБ обеспечивается при ветровой нагрузке при скорости ветра до 25 м/с, 7-8-балльном землетрясении, падении легкого летательного аппарата типа ЯК-40, ударе молнии, взрыве внешнего источника на берегу или на пришвартованном к борту ПАТЭС судне и т. д. [1]. В проекте записано, что конструкция ПЭБ гарантирует работоспособность оборудования, механизмов и систем при ударной нагрузке не менее 3g, действующей в любом направлении, в условиях наклонов и качки. Насколько это будет соответствовать реальности, покажет практика, но первый корпус ПЭБ, как плавучий объект, имеет мореходные недостатки и риски, связанные с его конструкцией и эксплуатацией.

Основные из них:

- слабые мореходные качества, заложенные в конструкции ПЭБ (плоскодонность, несамостоятельность, плохая управляемость, большая парусность);
- повышенная взрыво- и пожароопасность судна как результат чрезмерной энергонасыщенности;
- риски, связанные с:
 - потерей плавучести и остойчивости в результате нештатных ситуаций и ошибок команды;
 - частичным затоплением помещений в результате нарушения водонепроницаемости и прочности корпуса и забортной арматуры;
 - буксировками в штормовых и ледовых условиях;
 - наличием на борту опасных грузов (ядерных материалов, горючесмазочных материалов);
 - наличием на борту газов под давлением различного назначения (азота, фреона, кислорода) и легковоспламеняемых материалов;
 - столкновением и навалом на ПЭБ других плавсредств;
 - уязвимостью от тайфунов и цунами с большим риском быть выброшенным на берег;

- пиратским или террористическим захватом ПЭБ;
- падением летательного аппарата, что непременно повлечет за собой затопление ПЭБ.

Несмотря на оптимистические прогнозы конструкторов, необходимо признать, что перечисленные выше риски существуют, и недооценивать или игнорировать их – значит быть неготовым предотвратить возможные опасности.

3.2. Ядерная и радиационная опасности

Ядерная безопасность – это совокупность свойств РУ, состояния технических средств и квалификации персонала, исключающих с определенной вероятностью возможность возникновения ядерной аварии [10].

Абсолютно безопасных атомных энергетических установок в мире не существует, т. е. не существует РУ, у которых вероятность возникновения ядерной аварии бесконечно мала и тем более нулевая. Не является исключением и реакторная установка КЛТ-40С, которая используется на первом корпусе ПЭБ.

Под **ядерной аварией** следует понимать возникновение и развитие неуправляемой цепной реакции деления или нарушение теплоотвода от активной зоны реактора, сопровождающееся переобучением людей или/и повреждением ядерного реактора (ЯР), в результате чего его дальнейшая эксплуатация невозможна. Ядерная безопасность реактора в основном определяется его поведением после того, как он станет надкритическим и пойдет в разгон без какого-либо искусственного ограничения мощности. Как указано выше, по заявлению разработчиков, в РУ КЛТ-40С предусмотрен целый ряд надежных специальных защитных устройств.

В проекте ПЭБ и во всех сопровождающих его документах разработчики ориентируются на невероятно оптимистический сценарий. Однако в реальной жизни следует исходить из возможных отказов и конечной скорости действий устройств безопасности, т. е. исходить из пессимистического сценария развития событий, ориентируясь на худшее. И в этом случае важную роль играет свойство самозащитности ЯР, от которого зависит тот уровень мощности, при котором реактор может вернуться в подкритическое состояние [5]. Если говорить о РУ КЛТ-40С, то с уверенностью можно сказать лишь о том, что атомного взрыва (типа взрыва атомной бомбы) не произойдет. Этого не случится, поскольку прежде чем выделится достаточное для атомного взрыва количество энергии, ядерный реактор сам приведет себя в подкритическое состояние вследствие вытеснения воды-замедлителя

из активной зоны, расплавления ТВЭЛов и других процессов, нарушающих критическую геометрию активной зоны реактора. Тем не менее при определенных условиях в ядерный реактор может выделиться огромное количество энергии, достаточной для быстрого испарения компонентов активной зоны, что станет причиной разрыва контура и выброса радиоактивных материалов [10]. Такая авария классифицируется как тепловой взрыв ядерного реактора, что является разновидностью ядерной аварии. Случаи тепловых взрывов корабельных реакторов описаны в докладе «Беллоны» (<http://www.bellona.ru/reports/floatnpp>) и в других работах. Чаще, чем аварии, возникают аварийные ситуации с реакторной установкой, т. е. события, которые характеризуются нарушением пределов или условий безопасной эксплуатации, не перешедшие в аварию.

Учитывая особенности РУ КЛТ-40С, на период эксплуатации ПАТЭС можно выделить следующие потенциальные опасности и риски, которые могут привести к возникновению ядерных аварий или аварийных ситуаций (ядерно-опасных ситуаций) [10]:

- *разгон реактора на мгновенных нейтронах в случае несанкционированного подъема компенсирующих органов.* В этом случае все будет зависеть от скорости и надежности срабатывания механизма самогашения ядерной реакции, т. е. срабатывании свойства внутренней безопасности реактора, основанном на использовании обратной связи при отрицательном температурном или мощностном коэффициенте реактивности;
- *невозможность немедленного гашения цепной реакции в аварийных случаях.* Эти риски, как правило, связаны с возникающими проблемами в системах управления и защиты (СУЗ) или в системе аварийной подачи жидкого поглотителя в активную зону;
- *невозможность компенсировать максимальный запас реактивности в любой момент компании в нормальных и аварийных условиях, оставляя при этом риск самопроизвольного выхода*

ЯР в критическое положение после его остановки. Эти риски могут появиться в случае остановки реактора и возникновения процессов отравления реактора ксеноном и последующего его разотравления. При уменьшении концентрации ксенона может высвободиться значительный запас реактивности. Чтобы удержать ЯР в подкритическом состоянии, необходимо иметь возможность ввести в активную зону поглотители, физический вес которых был бы больше выделенной суммарной реактивности. В нормальных условиях такая возможность есть. Если возникает нештатная ситуация, то условия могут измениться;

- *возникновение режимов работы ЯР, при которых степень разгерметизации ТВЭЛов будет выше, чем допустимые пределы, которые установлены до окончания выработки проектного энергозапаса активной зоны. Эти риски, как правило, возникают при нарушениях, появляющихся во время эксплуатации, а также при конструктивных дефектах ТВЭЛов и других элементов активной зоны реактора;*
- *невозможность обеспечить надежный теплоотвод от активной зоны в нормальных и аварийных условиях при работе на мощности и после остановки реактора путем принудительной или естественной циркуляции. Большинство ядерных аварий с корабельными атомными установками было связано с нарушением теплоотвода от активной зоны;*
- *возникновение и развитие цепной реакции при ядерно-опасных работах, таких, например, как перегрузка активной зоны. Ядерные аварии при выполнении таких работ имели место в Северодвинске и Чажме.*

Радиационная опасность

Радиационная опасность – это угроза воздействия ионизирующих излучений на человека и окружающую среду. Эта угроза наступает в результате возникновения радиационных аварий или аварийных ситуаций. Радиационная опасность наступает также в результате ядерных аварий (ЯА), поскольку в случае ядерной аварии разрушаются барьеры радиационной безопасности или снижается их эффективность по удержанию продуктов деления. Первичным источником ионизирующих излучений в ПЭБ с реакторной установкой КЛТ-40С является ядерное топливо. Причем не только то, которое на-

ходит в реакторе, а в большей степени уже отработавшее, которое будет размещено в хранилищах. Удельная активность отработавшего топлива, которое только что выгружено из реактора, достигает примерно 10^5 - 10^6 Ки/кг. Через год после выгрузки активность хотя и снизится приблизительно до 10^3 - 10^4 Ки/кг, но по-прежнему останется очень высокой. Мощность дозы гамма-излучения от такой ОТВС на расстоянии 1 м составляет не менее 1000-1500 Р/ч [10]. В активной зоне реактора образуется около 60 тяжелых нуклидов, из которых наиболее радиоактивными являются изотопы трансурановых элементов – плутония, америция и кюрия. При работающем реакторе основной вклад в формирование радиационной обстановки вносят инертные радиоактивные газы (изотопы ксенона и криптона) и сильно летучие изотопы йода. Радиоактивность теплоносителя 1-го контура реактора определяется активацией ядер кислорода и может в некоторых случаях достигать величины 10^{-1} Ки/кг [10]. Активность воды увеличивается при наличии в ней продуктов коррозии, которые активируются под воздействием мощных нейтронных потоков. В результате ядерных реакций в материалах, облучаемых первичным излучением, возникает вторичное излучение, т. е. искусственная радиоактивность (наведенная активность, активация). Все вещества под действием излучения становятся радиоактивными. Активации подлежат конструкционные материалы атомной установки, защита, замедлитель, топливо. Частично активируется и морская вода вокруг атомного судна. Наибольшая активация морской воды наблюдается при стоянке судна с работающим ядерным реактором, поскольку в этом случае отсутствует перемешивание воды в кильватерной струе, которая образуется при движении корабля [10].

Радиационную опасность от ПЭБ многократно увеличивает то, что на корабле размещается и используется комплекс по перезарядке реакторов. Сам процесс перезарядки является ядерно-опасной технологической операцией. Неоднократно при перезарядках возникали ядерно-опасные ситуации и даже ядерные аварии. Специфической особенностью всех операций при перезарядке активной зоны КЛТ-40С является радиационная опасность для всего персонала. Это связано с тем, что при перезарядке реактора необходимо будет вскрывать герметичные выгородки и биологическую защиту, извлекать из активной зоны чрезвычайно активные отработавшие ТВС и другие высокоактивные элементы. Радиационная обстановка при перезарядках харак-

теризуется сильным гамма-излучением из активной зоны и от элементов конструкций, а также загрязнением воздуха и поверхностей бета-, альфа- и гамма-радиоактивными веществами. Во время перезарядок активных зон меняют также шихту ионообменных фильтров, активность которой может достигать 25 Ки/л. В процессе перезарядки производится промывка или дезактивация 1-го контура. Расход воды высокой частоты на промывку контура составляет около 200 тонн, а после дезактивации – до 500 тонн [6]. Вода после промывки становится активной, поэтому должна проходить процесс очистки и специального хранения как ЖРО. Источником газовой и аэрозольной активности в основном являются активные воды контура.

Разработчики плавучей атомной станции полагают, что радиационная и ядерная безопасность ПАТЭС повышается за счет того, что все ядерные и радиоактивные материалы, образующиеся в процессе эксплуатации и обслуживания реакторов, а также сборки с ОЯТ в течение межремонтного периода не покидают пределов реакторного отделения – их удаляют с судна раз в 12 лет, на специализированной базе завода-изготовителя. Однако эти аргументы неубедительны, поскольку сосредоточение такого количества ядерных и радиоактивных материалов в ограниченном объеме не является оптимальным вариантом. В случае возникновения нештатной ситуации с каким-либо оборудованием или опасными материалами сразу создастся проблема для другого, находящегося рядом оборудования. А если возникнет серьезная ситуация, например пожар, то наличие такого количества ядерных и радиоактивных материалов в замкнутом энергоперенасыщенном пространстве повлечет серьезные непредсказуемые последствия. В обычной практике перегрузка ядерных реакторов и все сопутствующие операции выполняются на судостроительных заводах, топливо и радиоактивные материалы хранятся или на берегу, или на специальных судах АТО (иначе – плавмастерских). Радиационная безопасность обеспечивается с помощью службы радиационной безопасности заводов и судов АТО. В случае с ПАТЭС вся ответственность ложится на малочисленный экипаж, который состоит из 70 специалистов различной специализации.

Сейсмическая опасность

По комплексу факторов (распространенность по поверхности земли, выделяемая в единицу времени энергия, предсказуе-

мость места, времени и интенсивности события) и экстремальным воздействиям природного происхождения наибольшую угрозу представляют землетрясения. Камчатка является чрезвычайно сейсмоопасным регионом.

Проблема заключается еще и в том, что современная сейсмология далека от совершенства, и в прогнозировании сейсмической опасности для конкретных регионов и даже в оценке балльности локальных площадок сейсмологи беспомощны. Это зачастую приводит к серьезным просчетам и трагическим последствиям. Характерными примерами являются спитакское землетрясение в Армении в декабре 1988 года, нефтегорское землетрясение на о. Сахалин в мае 1995 года, океаническое землетрясение в Индийском океане в декабре 2004 года (просчеты в оценке сейсмической опасности в этой северо-восточной зоне Индийского океана официально признаны ведущими специалистами США в области геофизики, океанологии и природы цунами) и, наконец, землетрясение с неспрогнозированной интенсивностью в Японии на о. Хонсю в июле 2007 года, вызвавшее крупные повреждения на крупнейшей в мире АЭС «Касивадзаки-Карива» и принесшее огромный материальный ущерб и потенциальную опасность.

Атомные станции по рекомендациям МАГАТЭ должны выдерживать землетрясение 8 баллов по шкале MSK-64. Согласно исследованиям, на территории, где будет размещена ПАТЭС, интенсивность сейсмических воздействий не превысит 10 баллов по шкале MSK-64. Землетрясения вызывают цунами. Цунами подходят к побережью как из удаленных районов океана, так и (в 76% случаев) из ближней цунамигенной зоны, которая расположена в 100-150 км от берега на западном склоне Курило-Камчатского желоба. Для Авачинской губы волноопасными являются местоположения очагов, расположенных напротив Авачинского залива. Длительное время регулярной регистрации цунами на Камчатке не производилось. Систематический учет возникающих цунами начали проводить только после катастрофического цунами 2 ноября 1952 года. Очаг землетрясения, вызвавшего тогда цунами, находился в южной части побережья Камчатки. Параметры землетрясения были следующими:

- магнитуда 8,5;
- глубина эпицентра 3,5 км;
- размеры очага 500x170 км.

Высота волн в средней части входного участка Авачинской губы составляла 4-5 м.

В бухте Крашенинникова по визуальным наблюдениям высота цунами была около 2,5-3,0 м. Период волн предположительно был равен 10-15 мин. Для плавучей атомной станции цунами является чрезвычайно опасным воздействием природного происхождения. Если плавучая атомная станция во время цунами будет выброшена на берег, то при работающих реакторах ядерная авария неизбежна.

Физическая безопасность в условиях экспорта ПЭБ

Физическая защита (ФЗ) ядерных объектов играет важную роль в поддержке целей ядерного нераспространения и противодействия терроризму. Поэтому одним из важнейших вопросов безопасности в условиях экспорта ПАТЭС будет обеспечение ее физической защиты. В случае международного применения ПАТЭС необходимо обеспечить в первую очередь, чтобы данная деятельность не противоречила Договору о нераспространении ядерного оружия, а также соответствовала двум документам МАГАТЭ – Конвенции о физической защите ядерного материала и Рекомендациям по физической защите ядерных материалов и ядерных установок.

Существует несколько докладов о возможностях использования ПАТЭС в азиатском регионе [16]. В докладах отмечается, что Юго-Восточная Азия является одной из самых горячих точек мирового терроризма, что во многом обусловлено географическим положением. Через этот регион по международным стратегическим морским путям ежедневно проходит от 200 до 600 судов, перевозящих сырую нефть, другие энергоносители, химикаты, импортируемые и экспортируемые Японией, Китаем, Кореей и другими странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Здесь также пролегают важные морские и воздушные пути в Южную Азию и на Ближний Восток. По оценкам ООН, до 80% из 6 млрд тонн груза, продающихся каждый год, перевозится морским транспортом. Из них почти 75% проходит через один из пяти основных «узких проходов»: Панамский канал, Суэцкий канал, Гибралтарский пролив, Ормузский пролив и Малаккский пролив (Юго-Восточная Азия). По сообщению информагентства «World Net Daily», Аль-Каида уже приобрела два десятка судов для организации терактов. Корабли, купленные Аль-Каидой, могут перевозить груз смертельных химических веществ, так называемую «грязную бомбу», или даже ядерное оружие. Они могут запросто зайти в гражданский порт и взорвать себя там.

Это корабли-камикадзе. В этой связи на фоне традиционного пиратства существует вполне реальная опасность атак Аль-Каиды или сотрудничающих с ней террористических групп на наиболее важных водных путях и судоходных каналах [12].

Среди стран, которые уже проявили интерес к данному проекту, наибольшую обеспокоенность вызывают Индонезия и Малайзия, так как географические условия, наличие оживленных торговых путей дают большие возможности для терактов на море. Тем более что данный регион известен своими пиратскими нападениями. Для ПАТЭС реально существует риск захвата пиратами, террористами судна и экипажа (в качестве заложников) во время стоянки ПАТЭС на месте использования с целью шантажа и получения выкупа; одновременно с незаконным присвоением ядерных материалов (ЯМ) или радиоактивных отходов (РАО) для их последующего несанкционированного использования. Анализ показал, что эксплуатация ПАТЭС в прибрежных водах островных государств Индонезии и Малайзии может быть небезопасна не только для прилегающих государств, но и для остальных стран мира. Так как в случае успешной реализации террористами проектной угрозы судно может быть захвачено, ЯМ или РАО похищены и использованы в преступных целях в любом другом государстве мира. Кроме этого, в докладах отмечены угрозы и риски в случае возникновения военных действий на территории страны-покупателя.

Возможные основные сценарии террористических актов на ПАТЭС [12]:

1) Кража или иной способ приобретения расщепляющихся материалов с их последующим использованием для дообогащения и производства ядерного оружия. Каждая ПАТЭС имеет на борту среднеобогащенный уран. Захват станции с целью получения этого урана вполне реален с учетом технической подготовленности террористических групп и незащищенности ПАТЭС. Кроме того, существует риск захвата станции экстремистскими силами, которые могут прийти к власти, например, в результате государственного переворота.

2) Использование радиоактивных материалов для изготовления того или иного устройства с радиологической дисперсией («грязная бомба»).

3) Нападение на реакторы или другие ядерные объекты с целью радиоактивного заражения местности. Нападение может быть организовано с воздуха, с моря, с подводных глубин, как на месте эксплуатации, так и при транспортировке ПАТЭС. терро-

ристы могут стремиться к повреждению систем жизнеобеспечения с целью расплавления реакторной зоны, при которой активная зона реактора расплавляется с выбросом радиоактивных материалов за пределы защитной оболочки. В результате в окружающую среду может попасть до 1 млн кюри радиоактивности (уровень активности для 1 т облученного ядерного топлива). С учетом морских течений зона радиоактивного заражения может быть очень обширной и иметь как локальный, так и региональный характер. Теракт 11 сентября доказал, что любой наземный (надводный) объект не может быть полностью обезопасен при атаке с воздуха, будь то ракетно-бомбовый удар или преднамеренное падение воздушного судна. Соответственно в случае падения пассажирского аэробуса или транспортного самолета на ПАТЭС, менее устойчивую, чем обычная АЭС, и имеющую большую концентрацию производственных помещений и коммуникаций, разрушения на ней будут более грандиозными. Даже если сам реактор выдержит падение самолета, на ПАТЭС есть хранилища облученного ядерного топлива, разрушение которых может вызвать последствия, сравнимые с взрывом реактора. Существует опасность и с точки зрения подводной атаки.

В докладах отмечается, что вероятность осуществления вышеприведенных угроз очень высока. В связи с этим система ФЗ ПАТЭС должна быть эффективна в противо-

действию внешним механическим воздействиям нарушителя, защите корпуса ПЭБ и своевременном обнаружении несанкционированного проникновения плавсредств и террористов-дайверов в охраняемое водное и подводное пространство плавучей атомной станции. Обычно охрану ядерных отходов осуществляют воинские части МВД РФ, при необходимости охрану и сопровождение ЯМ при транспортировании обеспечивает Министерство обороны РФ. В сложившихся условиях вполне вероятно, что ПАТЭС должна будет постоянно находиться под охраной военно-морских сил РФ. Не стоит забывать о том, что прибрежная территория также должна находиться под охраной от несанкционированного проникновения. По некоторым оценкам, поддержание ФЗ на должном уровне составит от 10% до 50% от общей стоимости ПАТЭС [16]. Возможно, обязанности по организации ФЗ будут разделены между Россией и страной-покупателем. В этом случае участникам сделки придется решить большое количество правовых вопросов, а также обсудить взаимодействие сторон в случае начала боевых действий в регионе установки ПАТЭС. С учетом затрат на обеспечение ФЗ стоимость энергии ПАТЭС может существенно подорожать для страны-покупателя, и тогда выбор может быть сделан не в пользу ПАТЭС, а в пользу более надежного и безопасного наземного источника атомной или любой другой энергии.

4. Экономика ПАТЭС

Большая стационарная АЭС есть уникальный проект с большим числом контрагентов и большим объемом строительно-монтажных работ, что в целом ведет к малопредсказуемым срокам реализации и издержкам.

Плавучие станции (ПАЭС, или ПАТЭС, или АС ММ), которые начали активно разрабатываться в России в 1990-е годы, предполагается делать максимально унифицированными, и таким образом продвигать их на мировом рынке. Считается, что из-за меньшего масштаба проекта заказчик имеет лучший контроль над издержками. На практике же стоимость первого из реализованных проектов ПАТЭС выросла с задекларированных Минатомом в 2001 году 150 млн долларов до объявленных в 2010 году С. Кириенко 550 млн долларов (16,5 млрд руб.), т. е. более чем в 3,5 раза. Ситуация же такова, что атомная промышленность сегодня сознательно занижает стоимость плавучей станции, поскольку в проектах, которые разрабатывались в 1990-е, изначально закладывалась стоимость между 192 млн и 254 млн долларов.

По итогам тендера, проведенного в 2006 году, был подписан контракт между Росатомом и «Севмашем» о строительстве первой подобной передвижной установки в г. Вилючинск. Заместитель главы Росатома на тот момент С. Обозов объявил стоимость проекта – 9,1 млрд рублей, или 226,8 млн евро. Согласно технико-экономическому обоснованию (ТЭО) проекта от 2007 года общая стоимость, включая капитальные затраты, стоимость предпроектных работ, НИОКР, проектно-изыскательских и проектных работ, должна была составить 10 540 млн рублей в ценах 2007 года.

Когда в 2010 году был спущен на воду первый энергоблок, глава Росатома С. Кириенко обнаружил стоимость энергоблока – 16,5 млрд рублей, из которых 14,1 млрд рублей стоит сам блок и 2 млрд рублей –

береговые и гидротехнические сооружения, т. е. весь проект оценивался в 550 млн долларов США. Предпроектные работы финансировались из федерального бюджета, и в целом сложно судить о том, насколько 80 млн рублей (стоимость работ в ТЭО проекта) есть адекватная их оценка, поскольку речь идет о размазанной по времени работе нескольких организаций.

Не очень ясно, в какой степени проект предполагает финансирование социальной инфраструктуры. По мнению В. М. Кузнецова и др. [11], эти расходы должны добавить еще 10% к общей стоимости.

Проект развития малой ядерной энергетики получил статус общественно значимого, финансируется в рамках федеральной целевой программы и соответственно имеет крайне низкие требования к экономическим показателям. Например, заложена требуемая ставка дисконтирования в 4,5% годовых. Эта ставка крайне низка, и простые расчеты показывают, что применение хоть немного приближенной к коммерческим ставкам (например, 6%) делает проект нерентабельным.

Как и в случае с обычными АЭС капитальные расходы имеют огромное значение для рентабельности проекта, однако в данном случае гораздо большее значение имеет неопределенность, связанная с его дальнейшей эксплуатацией.

Во-первых, объем реализации, выражаемый через коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), зависит в основном от двух факторов: спроса на энергию в районе и от бесперебойности работы самой станции. В проект заложены две оценки объема реализации электроэнергии потребителям ЗАТО г. Вилючинск и Центрального энергоузла Камчатской энергосистемы – 455 и 410 млн кВт/ч в год начиная с 2015 года, что означает 74% и 67% соответственно. Оценка объема реализации представляется чересчур оптими-

стичной. Общая установленная мощность в электростанциях Центрального энергоузла Камчатки составляет 477 МВт, а было произведено всего около 1,37 млрд кВт/ч, т. е. при нынешнем спросе предполагается, что станция должна обеспечить ровно треть потребностей района.

Для закрытой энергосистемы, не имеющей возможности продавать излишки энергии за пределы региона в периоды низкого энергопотребления, реалистичны более низкие значения КИУМ – не более 50%. Значительная ставка делается на сопутствующие проекты, которые должны способствовать общему увеличению спроса в районе.

Кроме спросовых ограничений существуют ограничения технологические, поскольку станция должна регулярно вставать на профилактический ремонт, а раз в 10-12 лет проходить капитальный ремонт в сухом доке, что делает невозможным достичь КИУМ более 82%.

КИУМ имеет огромное значение для себестоимости на единицу продукции, поскольку большинство текущих издержек не зависит от объема реализации. Текущие эксплуатационные издержки распадаются на затраты, связанные с топливным циклом, заработную плату и различные отчисления по нормативам для обеспечения будущих обязательств.

Ряд расходов нуждается в корректировке, поскольку некоторые из них, по мнению ряда экспертов, были занижены сознательно. Сюда относятся издержки ядерного топливного цикла, расходы на выведение из эксплуатации и связанные с ними ежегодные отчисления, страховые отчисления:

1. Отчисления, привязанные к восстановительной стоимости основных фондов (прежде всего амортизация), заметно выше из-за более дорогой итоговой стоимости проекта.

2. Отчисления (в условно-переменных расходах), которые рассчитываются исходя из объема продаж, могут быть ниже в силу завышенного КИУМ, но поскольку тариф вполне может оказаться выше заложенного в проект (издержки все равно должны покрываться), сложно судить о направлении их корректировки.

3. Нужно закладывать более высокие расходы на ядерное топливо. Во-первых, практика бесплатного использования оружейного урана от конверсионных программ неизбежно прекратится и все свежее топливо необходимо будет покупать по мировым ценам. Не пытаясь прогнозировать мировые цены на урановую руду, все-таки

можно сказать, что свертывания мировой ядерной энергетики пока не происходит и спрос на уран не снижается, а предложение ограничено мощностями существующих рудников. Разработка же новых месторождений требует более высокого уровня цен. Во-вторых, тарифы на обращение (транспортировку, хранение и переработку) ОЯТ и РАО очевидно занижены и не покрывают настоящих издержек специализированных организаций. Хранение и транспортировка ОЯТ и РАО в отдаленных регионах особенно дороги. Разница покрывается за счет государственного субсидирования, коммерческих зарубежных заказов и перераспределения ресурсов в рамках отрасли, т. е. в конечном итоге того же государственного финансирования. Очевидно, что более реалистичная оценка действительных расходов на затраты ядерного цикла является в полтора раза выше запланированной.

4. Предполагается, что расходы на выведение станции из эксплуатации должны финансироваться за счет ежегодных отчислений, аккумулируемых на специальном счете. В проекте заложено 28,5 млн рублей в год, что означает 1027,7 млн за 36 лет. По мнению В. М. Кузнецова и др. [11], стоимость декомиссии станции составит примерно 150 млн долларов, т. е. около 4500 млн рублей. Конечно, если предположить что деньги накапливаются со ставкой 4,5% годовых, за 36 лет получается 2570 млн, однако все равно дефицит составит около 2 млрд рублей.

5. Большинство рисков и размер возможного ущерба практически не зависит от величины ядерной станции и объема товарной продукции, что должно означать больший удельный вес страховых платежей в структуре издержек АС малой мощности по сравнению с обычной АЭС. Если учесть, что пока страхуется только часть рисков, связанных с ядерной энергетикой, и в случае аварии отвечать за последствия в наибольшей степени будет государство, необходимые расходы на страховые премии можно без особых сомнений увеличить в полтора раза.

Неучтенные расходы

1. Специфической проблемой плавучей АС является то, что каждые 10 (12 лет по проекту) она должна вставать на профилактический ремонт в сухой док. С этим связаны значительные прямые (аренда дока, буксировка в док и сами работы) и косвенные (необходимость замещать выпадающую электроэнергию более дорогой, поддерживать для этого резервные мощности и запасы топли-

ва) издержки. Вся процедура занимает около года, и проектом предусмотрена подмена станций по гибкому графику. Предполагается, что парк плавучих АС будет состоять из нескольких (восьми) станций. Конечно, можно допустить, что к тому моменту, когда придет срок капитального ремонта первой станции, будет построена вторая, которая сменил первую, однако пока такой станции нет и нужно исходить из того, что на время капитального ремонта региону придется мириться с выпавшей мощностью.

Если считать, что прямые расходы покрываются за счет отчислений на эти цели (что оспаривается В. М. Кузнецовым и др. [11]), то не прямые расходы в себестоимости производства учтены быть не могут.

Для грубой оценки издержек системы из-за особенностей работы ПАЭС можно умножить объем производства на выпадающих мощностях на разницу в себестоимости с заменяющими мощностями, деленный на период работы станции. Сюда нужно приплюсовать расходы на поддержание этих мощностей на период, пока они простаивают в качестве холодного резерва. Скорее всего, в качестве резервной мощности будет использоваться одна из существующих ТЭЦ. По состоянию на 1997 год себе-

стоимость произведенного 1 кВт/ч электроэнергии на Камчатской ТЭЦ-1 составила 2,87 руб. По данным проекта, себестоимость электроэнергии, произведенной на газовой ТЭЦ, составит 3,6. Средневзвешенная стоимость мощности на Камчатке на 2010 год, которую платят потребители, составляет 557 333 руб/МВт/мес, однако эти цифры очевидно превышают настоящие издержки для поддержания в рабочем состоянии холодного резерва. Для скромной оценки возьмем одну десятую часть декларированной стоимости.

2. Платежи владельцу вложенных средств в проекте вообще не предусмотрены. Предполагается, что государство получает выигрыш через возросшие налоговые платежи и уменьшение расходов на северный завоз. Тем не менее, с экономической точки зрения, средства, вложенные под низкие 4,5%, должны выплачиваться обратно. Если предположить, что на реализацию проекта был взят кредит под 4,5%, то проценты по кредиту, следовательно, должны быть включены в себестоимость.

Таким образом, структура эксплуатационных расходов и себестоимости с учетом настоящих корректировок будет выглядеть так:

Постоянные и условно-переменные затраты

Статья издержек	Значение, млн руб. в год	Корректированное значение
Зарплата	84 480	
ЕСН	21 965	
Текущий ремонт основных фондов	33 604	
Арендные платежи на землю	4	
Услуги по охране пожаров	300	
Реабилитация персонала	590	
Расходы на питание экипажа	3390	
Прочие расходы на обеспечение нормальных условий труда и техники безопасности	4510	
Подготовка и переподготовка персонала	118	
Расходы обслуживающих хозяйств	1500	
Непредвиденные расходы	10 987	
Платежи за загрязнение окружающей среды	2700	
Вода для технических целей	2119	
Услуги связи	1200	
Плата за пользование акваторией	15 178	
Физическая защита	20 262	
Отчисление на капитальный ремонт	145 584	
Утилизация	28 547	49 977
Амортизация	273 840	462 000

Затраты по обеспечению ядерного топлива	209 026,4	313 539,6
Страхование работников	3078	
Отчисление в резерв ядерного реактора ПЭБ	34 889,2	
Страхование имущества и ответственности	18 470,75	27 706
Проценты по кредиту		742 000
Итого	887 795	1 981 681

В эти расходы не вошли не прямые издержки системы, составляющие 105 млн рублей ежегодно. Таким образом, можно

скорректировать расчет себестоимости продукции, довольно условное распределение общих расходов по двум видам продукции.

Расчет себестоимости

Полезный отпуск		
электроэнергии, млн кВт/ч в год	455	307
тепловой энергии, тыс. Гкал в год	270	219
Себестоимость продукции		
электроэнергии, руб/кВт/ч	1,54	4,9
тепловой энергии, руб/Гкал	730	2169

С учетом косвенных расходов себестоимость тепловой и электрической энер-

гии будет соответственно 2284 руб/Гкал и 5,1 руб/кВт/ч.

5. Нормативно-правовая база

В «Декларации о намерениях строительства АСММ на базе плавучего энергоблока с реакторными установками типа КЛТ-40С в районе закрытого административно-территориального образования город Вилючинск Камчатской области» перечислено около двухсот нормативных правовых актов и нормативно-технических документов, на основе которых осуществляется проектирование, строительство и эксплуатация ПАТЭС.

Однако если объективно проанализировать этот перечень документов, выясняется, что практически все нормы и требования, изложенные в документах, были установлены для стационарных наземных АЭС и атомных судов различного назначения. Собственных нормативных документов для плавучей атомной станции практически не разрабатывалось, за исключением нормативно-технических документов проектных организаций (например, ОАО «Айсберг», «ОКБМ Африкантов») и предприятий, сопровождающих проект ПАТЭС. В некоторых документах, приведенных в вышеупомянутом перечне (например, в Санитарных правилах проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)), подчеркивается, что *«настоящие Правила (СП АС-03) являются обязательными для организаций, осуществляющих деятельность, связанную с размещением, проектированием, строительством, вводом в эксплуатацию и эксплуатацией атомных станций с реакторами различного*

типа (ВВЭР, РБМК, БН и др.), кроме транспортных ядерных энергетических установок и реакторных установок специального назначения». То есть для ПЭБ (плавучее судно) и ядерных реакторов на нем (прототип ледокольных реакторов) эти правила, скорее всего, применяться не могут. Если говорить строго, то ПЭБ относится к классу транспортных ядерных энергетических установок. В некоторых документах, из перечня вышеуказанных, оговорок (уточнений) нет, поэтому непонятно, являются ли требования этих документов обязательными для ПАТЭС или нет. Если да, то в полном объеме или избирательно? Если избирательно (что подтверждает практика), то кто решает, какие правила применять, а какие нет, и почему принимаются именно эти решения? И вообще, не совсем ясно, насколько правомерно применять нормы и правила для ПАТЭС, если они установлены для объектов другого типа.

Международные правила и рекомендации относительно плавучих атомных станций не выработаны. В МАГАТЭ каких-либо руководящих документов для плавучих атомных станций не разработано. Поэтому остаются вопросы относительно полноты нормативно-правовой базы, на основе которой должны выбираться площадки для ПАТЭС, осуществляться физическая защита, обеспечиваться морская безопасность и многое другое, связанное со строительством и эксплуатацией ПАТЭС.

6. Заключение и обобщающие выводы

Строительство плавучей атомной станции и предстоящая ее эксплуатация оставляют открытыми множество вопросов и вызывают сомнения в целесообразности этого проекта не только у общественности, но и у специалистов, включая самих инициаторов и создателей ПАТЭС. Для Росатома это бизнес-проект, успешность которого неочевидна. Руководитель Росатома С. Кириенко открыто заявляет, что экономическая перспектива этого проекта возможна только при строительстве большой серии (не менее 7 корпусов). Строительство первого корпуса ПАТЭС при условии, что в 2012 году он будет сдан в эксплуатацию, займет 5 лет (2007-2012). Если строить серию ПЭБ, т. е. минимум 7 корпусов, то понадобится не менее 20 лет (при сроке службы одного корпуса 36 лет). Кто через 20 лет купит устаревшую технологию, внедренную в ПАТЭС, непонятно. Если же рассчитывать, что последующие корпуса будут изготовлены по новой технологии, то тогда это будут другие сроки и другая стоимость. В настоящее время, по данным завода-строителя (Балтийский завод), ком-

плектующее оборудование имеется только для одного головного корпуса. Коммерциализовать проект на старых технологиях и при таких рисках, которые описаны в настоящем докладе, не получится. Поэтому первый корпус, строительство которого уже сегодня убыточно, вряд ли привлечет инвесторов и покупателей из-за рубежа. Заинтересованность в проекте, а соответственно и деньги, могут исходить только из бюджета российского государства. Уже сейчас относительно этого проекта речь идет о концепции «строю–владею–эксплуатирую». Это означает, что за строительство, эксплуатацию, безопасность, охрану и другие издержки будет платить Россия, поскольку вряд ли найдется страна, которая сможет заплатить за «платиновый с алмазными вкраплениями» плавучий энергетический блок или даже за те киловатты, которые он будет вырабатывать. Вся надежда только на наш государственный бюджет и карманы налогоплательщиков.

Кроме этого, открытыми остаются вопросы по технике, технологии, экономике, безопасности и многому другому.

6.1. Корпус, общекорабельные устройства и мореходные качества ПЭБ

Конструкция корпуса ПЭБ представляет собой сложное плавучее сооружение длиной 140 м, шириной 30 м и общей высотой около 40 м. Большая парусность корпуса, а также несамостоятельность и плоское дно корабля требуют больших сил при обеспечении его буксировок, особенно в открытом океане и в арктических условиях. В стояночном режиме, особенно в районах с большими рисками ураганов, цунами и сильных ветров, безопасность энергоблока должна будет обеспечиваться буксирами или другими плавсредствами, способными оказать помощь ПЭБ

в случае угрозы отрыва или опрокидывания. Плавучий энергоблок имеет большое водоизмещение (21,5 тыс. т) и осадку 5,5 м, это означает, что для безопасной работы АЭУ необходимы глубины не менее 10 м. Помещения энергоблока чрезвычайно насыщены энергоемким оборудованием, которое имеет повышенную взрыво-, пожаро-, электро- и радиационную опасность. Аналогов такого большого насыщения плавсредств потенциально опасным оборудованием нет, поскольку ни один атомный корабль, включая корабли ВМФ, не содержали на борту одно-

временно дизель-электрические, паротурбинные и атомные установки, а также хранилища отработавшего и свежего ядерного топлива и радиоактивных материалов.

Конструкция и характеристики корпуса, а также внутрикорпусное оборудование, предназначенное для обеспечения живучести и непотопляемости, имеют очень большое значение для обеспечения общей безопасности плавучего энергоблока. Поскольку планируется, что ПЭБ может буксироваться и использоваться в различных регионах земного шара, то конструкция и корабельное оборудование этого плавсредства должны отвечать всем требованиям, которые предъявляются регистром к морским судам. В связи с этим остаются вопросы, которые касаются конструктивной прочности и целостности корпуса и его частей, а также мореходности судна во всех случаях его эксплуатации при различных ледовых и ветроволновых условиях, в неограниченных районах плавания.

Поскольку ПЭБ несамоходное стоечное судно, то в объявленном классе регистра

ПЭБ (КЕ*[2] А2) категория ледовых усилений не указана. В проекте сказано только лишь о ледостойком покрытии, но отнесен ли ПЭБ к категории арктических судов и будет ли достаточно этого покрытия для эксплуатации плавучего блока в условиях буксировки по Северному морскому пути при разреженном льду и во время длительного стояночного режима на Камчатке, а тем более за Полярным кругом в Певеке (следующий проект ПАТЭС), из имеющихся данных не понятно.

Буксировка несамоходного плоскодонного судна, водоизмещением 21,5 тыс. т, длиной 140 м и общей высотой около 40 м, даже в неледовых условиях представляет сложность и опасность. Бесконечное количество случаев, когда во время буксировки обрывались буксировочные тросы с известными последствиями. Например, буксировка через Северную Атлантику старого крейсера «Мурманск», водоизмещением 18 тыс. т и длиной 200 м, закончилась тем, что крейсер во время шторма оторвало от буксира и выбросило на норвежский берег.

6.2. Реакторная установка

Реакторная установка ПЭБ и системы, ее обслуживающие, проектировались в 1970-х годах прошлого века с частичной модернизацией некоторых систем и отдельных механизмов (третье поколение судовых реакторных установок). Поэтому относить эти установки к новейшим инновационным разработкам сегодня невозможно. Исключение составляет только активная зона реактора, которая выполнена с учетом особенностей эксплуатации ПЭБ.

Уровень безопасности этих установок оценивается разработчиком (Росатомом) как высокий. Поскольку в силу закрытости документов и ограничения информации у независимых экспертов нет возможности выполнить в полном объеме общественную экспертизу и убедиться в том, что РУ КЛТ-40С соответствует всем нормам безопасности, то общественность вынуждена довериться специалистам Росатома и отдельным публикациям, которые появляются в Интернете и специальной литературе.

В этих публикациях утверждается, что атомная установка ПЭБ «...не имеет систем подавления водорода, нет импульсного предохранительного устройства (ИПУ) на 1-м контуре, автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) спроектирована на 1 отказ в каждые 6-7-е сутки. Схема выдачи мощ-

ности в сеть не имеет автоматики УРОВ (устройств резервирования отказа выключателя), АПАХ (автоматики прекращения асинхронного хода), РД (регулятора давления). Требования Правил отвода тепла от активной зоны реактора к конечному поглотителю не выполнены...» [14]. Здесь имеется в виду, что при стояночном режиме акватория вокруг ПЭБ будет достаточно нагрета. И при нарушении требований к расстоянию между водозабором и водосбросом системы техводоснабжения ответственных потребителей группы А главные конденсаторы и другие теплообменники не будут справляться с теплоотводом от потребителей.

В реакторной установке применена блочная схема компоновки, которая позволяет использовать естественную циркуляцию в 1-м контуре при мощности реактора 3-5% от номинальной. Для атомных кораблей (АПЛ, АНК и ледоколов), у которых реакторы работают на средней мощности около 30% и не очень продолжительное время (до 3-х месяцев), естественная циркуляция в 1-м контуре РУ на уровне 3-5% является дополнительной возможностью обеспечить теплоотвод от активной зоны в аварийных случаях, т. е. в случае прекращения принудительной циркуляции теплоносителя [9]. При аварийной остановке реактора ПАТЭС,

работающего продолжительное время на номинальной мощности, остаточное энерговыделение за счет бета- и гамма-излучений накопленных осколков деления будет соответствовать примерно 7% номинальной мощности, поскольку уровень остаточного энерговыделения зависит от уровня мощности, на которой работал реактор, времени его работы, эффективности стержней поглощения и других факторов. Таким образом, 3-5% естественной циркуляции может оказаться недостаточно для отвода тепла от активной зоны РУ ПЭБ в случае аварии.

Сделать абсолютно корректные выводы об уровне безопасности на основании тех документов, которые есть в открытом доступе, практически невозможно. В частности, невозможно оценить развитие и последствия тех аварий, которые рассматриваются как запроектные. Например, какие последствия будут при использовании систем *заполнения кессона реактора водой и затопления защитной оболочки (ЗО)*, которые предназначены для заполнения кессона и ЗО забортной водой при угрозе расплавления активной зоны и днища реактора. А если все-таки расплавление произойдет? На стационарных АЭС на случай такой тяжелой аварии существует специальная ловушка для улавливания расплавленной массы, которая образуется из начинки активной зоны. На ПЭБ системы для улавливания или локализации расплавленной массы нет, и в случае проплавления днища расплавленная масса из активной зоны (смесь топлива и металла)

при соприкосновении с водой создаст непредсказуемую ядерную и радиационную ситуацию.

То же касается других запроектных аварий. Например, падение летательного аппарата массой большей, чем ЯК-40, и даже такого же типа, повлечет, скорее всего, затопление ПЭБ и соответствующие последствия. На самом деле вероятность наступления аварий, которые отнесены к категории запроектных, не намного ниже, чем вероятность наступления проектных аварий, поэтому готовность к их предотвращению и ликвидации должна быть такой же, как и для проектных аварий.

И, наконец, вопросы по активной зоне, которую планируют использовать в реакторах ПЭБ. Заявлено, что обогащение топлива по U^{235} будет 18,5%. Однако имея в наличии обогащенный до 18,5% уран, довести это обогащение до 20% и более не настолько сложно, как если бы начать обогащать природный уран, который имеет 0,7% U^{235} . К тому же известно, что любой тепловой ядерный реактор является «конвертором», т. е. в результате его работы в активной зоне происходит накопление вторичного топлива в виде Pu^{239} других делящихся нуклидов. В результате работы реактора ПАТЭС в течение года на мощности 80% в активной зоне двух реакторов образуется около 60 кг плутония.

Эти и другие факторы следует иметь в виду, прежде чем предлагать плавучие атомные станции для широкого распространения и использования в мире.

6.3. Паротурбинная установка

ГЦН паротурбинной установки, работающей на полной мощности, выбрасывает у берега почти 6000 т/ч подогретой в главном конденсаторе воды (144 000 т/сут). При работе двух ГЦН сброс охлаждающей воды с температурой 24° достигнет 12 000 т/ч. Если еще учитывать выбросы горячего «рассола» от водоопреснительной установки ПЭБ в количестве 105 т/ч с содержанием около 42,5 г/кг, а также выбросы из всех охладительных контуров (3-4-й контуры, контур вспомогательных механизмов, охладители конденсатов и т. д.), то в общей сложности за борт ПЭБ будет выбрасываться около 13 000 т/ч (60 000 т/сут) подогретой воды. О том, как это может сказаться на работе ЯЭУ, было сказано выше. Как это будет влиять на состояние акватории и биоты Авачинского залива, и бухты Крашенинникова в частности, по-

кажет практика. Но ясно, что в условиях низких температур ПАТЭС будет находиться в постоянном облаке тумана, что отрицательно скажется как на здоровье людей, обслуживающих ПАТЭС, так и на состоянии техники.

На работу конденсатно-питательной системы будет оказывать влияние ледовая обстановка. Средняя продолжительность ледового периода в бухте Крашенинникова составляет 149 дней (с ноября по май), максимальная – 199 дней. Наибольшая толщина льда (у бухты Ягодная) достигает 144 см. Максимальная скорость дрейфа льда – 0,3-0,6 м/с. Размеры ледового поля на входе в бухту могут достигать 200x200 м. Подвижки ледовых полей в ряде случаев приводили к повреждению плавучих причалов причального фронта в районе микрорайона «Рыбачий» и бухты Горбушечья.

Конденсатно-питательная система может стать источником радиационного загрязнения акватории в случаях течи парогенераторов и неплотности трубной системы

главного конденсатора. По крайней мере, такая вероятность и техническая возможность существуют.

6.4. Резервные источники питания

Согласно проекту ПЭБ имеет вполне достаточно резервных источников питания для обеспечения энергией аварийных режимов ядерной энергетической установки, а также обеспечения соб-

ственных нужд при неработающей ЯЭУ. Остается вопрос надежности этих источников, особенно в экстремальных случаях (шторм, циклоны, землетрясения, пожары и т. д.).

6.5. Система обращения с ядерным топливом и РАО

В России (СССР) нет опыта перезарядки реакторов в тех условиях, которые предусматриваются проектом ПЭБ. Никогда не осуществлялась перезарядка одного борта при работающем втором. Для перезарядки одного реактора (с учетом расхолаживания реактора, подготовительных работ и самой операции по перезарядке) необходимо времени до трех месяцев. Обычно операцию по перезарядке корабельных реакторов выполняли на специализированном заводе

с помощью плавучей технической базы и специально подготовленного персонала. Экипаж, эксплуатирующий атомные установки, подобные операции выполнять не сможет, поскольку для этого необходимы специальная подготовка и навыки. Поэтому понадобится специальная бригада перезарядчиков. Наличие системы обращения с ядерным топливом и РАО на корабле, и в первую очередь хранилищ, существенно повышает потенциальную опасность, исходящую от этого объекта.

6.6. Гидротехнические и береговые сооружения

Береговая площадка площадью около 1,5 га определенно будет оказывать влияние на состояние окружающей природной среды. С учетом коэффициента застройки (0,3-0,5) площадь застройки составит 0,45-0,75 га, или ~ 0,002% от территории ЗАТО г. Вилючинск. Воздействие на флору и фауну окажут также гидротехнические соору-

жения ПАТЭС, которые в той или иной мере будут влиять на акваторию площадью ~ 8 га.

Основные факторы воздействия ПАТЭС, которые будут влиять на водную флору и фауну, это:

- изъятие среды обитания;
- изменение температурного режима;
- изменение течения;
- изменение волнения и т. д.

6.7. Безопасность

Несомненно, любая ядерная энергетическая установка обладает потенциальной ядерной и радиационной опасностью. Для ПАТЭС к этим опасностям добавляются еще риски и опасности, присущие морским судам. Кроме этого, необходимо учитывать все потенциальные риски, связанные с тем, что ПЭБ будет своего рода плавучим хранилищем отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов. Камчатка, где пла-

нируется использовать ПАТЭС, является самым сейсмоопасным регионом России, что увеличивает опасность проекта. Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что Росатом, руководствуясь не совсем понятными целями, продвигает новый, потенциально опасный проект, который не имеет ни экономической, ни технологической, ни социально-экологической перспективы и значения.

6.8. Экономика

С указанными издержками атомная станция малой мощности (ПАТЭС) есть одна из наиболее дорогих доступных альтернатив газовым станциям. По официальным данным, проектная стоимость сооружения одной ПАТЭС составляет около 16,5 млрд рублей (550 млн долл.). Удельная стоимость строительства ПАТЭС – около 240 млн рублей (7,8 млн долл.) за 1 МВт установленной мощности. В то же время удельная стоимость, например, финской АЭС, которую заканчивают сооружать в настоящее время, составляет 3,3 млн долларов за 1 МВт. Ранее на эту тему высказывался бывший глава МЭРТ Герман Греф. *«Стоимость одного киловатта установленной мощности плавучей атомной станции (ПАТЭС) – \$7200. Это никогда не окупится. Это в семь раз выше, чем в теплогенерации»*, – сказал Греф в ходе рассмотрения правительством трехлетней инвестпрограммы электроэнергетики РФ. Сегодня эксперты называют цифру 10 000 долларов за киловатт, т. е. в 10 раз больше, чем в теплогенерации. Эксперты Росатома называют срок окупаемости ПАТЭС до 12 лет. За сколько же надо продавать киловатт электричества при таких расчетах Росатома, если к капитальным затратам добавить еще эксплуатационные затраты на физическую защиту и другие затраты, которые указаны выше в разделе 4 (Экономика ПАТЭС), и кто это электричество по таким ценам будет покупать. К стоимости ПАТЭС еще, наверное, надо добавить и расходы МЧС по созданию сил и средств на случай ядерных и радиационных аварий в местах предполагаемой эксплуатации ПАТЭС. Кроме этого, необходимо иметь в виду заключения экспертов, которые утверждают, что стоимость мероприятий по физической защите ПАТЭС за рубежом может достигать 50% от стоимости строительства. Таким образом, понятно, что экономика ПАТЭС на сегодняшний день является абсолютно убыточной, поэтому никакой инвестор, кроме государства, в такой проект не будет ничего инвестировать.

Судя по высказываниям руководителей Росатома и представителей различных структур, которые связаны со строительством ПАТЭС, первая плавучая атомная станция создается сегодня как субгубо демонстрационный объект. Напомним, что стоимость этого демонстрационного объекта – 550 млн долларов США (по оптимистичным оценкам).

То, что эта плавучая станция сегодня

не нужна Камчатке, не вызывает сомнений практически ни у кого. Письмо губернатора Камчатского края (см. Послесловие) является этому убедительным подтверждением. Камчатку поставили перед выбором между ПАЭС, газификацией и геотермальными источниками. В конце сентября 2010 года президент РФ Дмитрий Медведев открыл магистральный газопровод Соболево–Петропавловск–Камчатский, протяженностью почти 400 км. Этот газопровод может полностью удовлетворить потребности Вилючинска, который нуждается в 40 млн кубометров газа в год. Кроме этого, в 2011 году Газпром начнет геологоразведочные работы на Западно-Камчатском шельфе. По предварительной оценке, прогнозные ресурсы шельфа по газу составляют порядка 1,3 трлн кубометров (планируемая добыча – 20 млрд кубометров газа в год), прогнозные ресурсы по нефти – более 500 млн тонн. Газпром планирует поставлять примерно миллиард кубометров Камчатскому краю, а остальную часть газа – транспортировать в другие регионы и на экспорт. Для этого Газпром будет строить или завод по сжижению газа, или, скорее всего, завод по сжатию газа, потому что на дальние расстояния более эффективно морским путем транспортировать сжатый газ.

Камчатка является привлекательной территорией для создания электрогенерирующих мощностей на базе геотермальных источников. На территории Камчатского края имеются большие геотермальные ресурсы с температурой, превышающей 100 °С. Электростанции, работающие на геотермальных ресурсах только Мутновского месторождения, в настоящее время вырабатывают более 120 МВт электроэнергии. В декабре на межрегиональной конференции «Единой России» в Хабаровске Владимир Путин отметил важность развития альтернативной энергетики, в частности использования энергии геотермальных источников на Камчатке. Город Вилючинск, где планируется поставить ПАТЭС, может быть полностью переведен на местные геотермальные ресурсы, используя для этого термальные воды Верхне-Паратунского месторождения. Мощность системы геотермального теплоснабжения Вилючинска за счет Верхне-Паратунского месторождения может быть доведена до 88 МВт в 2012 году. И денег на это потребуются гораздо меньше, чем на строительство ПАТЭС, не говоря уже об экологических рисках и рисках для здоровья людей.

Послесловие

А нужна ли Камчатке плавучая атомная теплоэлектростанция?



Р о с с и й с к а я Ф е д е р а ц и я
К А М Ч А Т С К И Й К Р А Й
П Р А В И Т Е Л Ь С Т В О

683040, г.Петропавловск-Камчатский, пл.Ленина, д. 1,
Тел.: (8-415-2) 41-20-96, ФАХ: (8-415-2) 41-20-91, Телетайп 244357 Герб
Эл.почта: gubernator@kamchatka.gov.ru

06.04.2010 № 08.13.04

О проведении совещания по
вопросу строительства ПАТЭС в
ЗАТО г. Вилочинск Камчатского
края

Министру энергетики
Российской Федерации

С.И. ШМАТКО

Уважаемый Сергей Иванович!

В адрес Правительства Камчатского края поступило письмо Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 13 ноября 2009 года № 03-8861 с просьбой о рассмотрении и согласовании проекта распоряжения Правительства Российской Федерации о сооружении плавучей атомной теплоэлектростанции (далее – ПАТЭС) с размещением ее в закрытом административно-территориальном образовании городе Вилочинск Камчатского края.

Подключение к центральному энергоузлу (далее – ЦЭУ) Камчатского края нового крупного генерирующего источника – ПАТЭС установленной мощностью 70 МВт – кардинально изменит баланс выработки электрической энергии и усугубит проблемы загрузки действующих электростанций ЦЭУ (суммарная установленная мощность электростанций, в том числе Камчатских ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, Мутновских ГеоЭС, каскада Толмачевских ГЭС – 476 МВт, максимальная нагрузка в зимний период – 255 МВт).

По данным ЗАО «Атомэнерго» расчетная по 2009 году себестоимость

электроэнергии, вырабатываемой ПАТЭС, составит 5,6 руб./кВт·час без НДС, в то время как себестоимость производства электроэнергии в центральном энергоузле в 2009 году составила 3,89 руб./кВт·час без НДС. Кроме этого необходимо учитывать, что присоединение ПАТЭС к Камчатской энергосистеме потребует дополнительного строительства высоковольтной линии электропередач, расширения подстанций, реконструкции системы релейной защиты и автоматики энергосистемы, что в свою очередь потребует дополнительных инвестиций.

По мнению Правительства Камчатского края и ОАО "РАО Энергетические системы Востока", вышесказанное свидетельствует о необходимости дополнительной проработки вопроса строительства ПАТЭС.

Учитывая координирующую роль Минэнерго Российской Федерации в вопросах развития энергетики России, прошу Вас, уважаемый Сергей Иванович, поручить провести в ближайшее время совещание в Министерстве энергетики с участием всех заинтересованных сторон по оценке влияния строительства ПАТЭС на функционирование Камчатской энергосистемы.

После проведения данного совещания и выработки консолидированной позиции, учитывая, что строительство ПАТЭС затрагивает интересы жителей не только г. Вилочинска, но и Петропавловск-Камчатского городского округа, Елизовского муниципального района (на территории которых проживает более 70% населения региона), Правительством Камчатского края планируется проведение публичных слушаний на тему «Строительство ПАТЭС и ее влияние на изменение среды жизнедеятельности».

Губернатор Камчатского края

С. Дуванцисен



А.А. Кузьмицкий

Исп.
Лина Федоровна Литвинова
8 (4152) 41-24-20

Приложения

Приложение 1

Реакторная установка и системы, ее обслуживающие

В составе реакторной установки КЛТ-40С используется водо-водяной реактор (ВВР) корпусного типа на тепловых нейтронах.

Конструктивно ВВР представляет собой герметичный сосуд высокого давления, в котором размещены выемной блок и активная зона с органами регулирования и защиты, экраны радиационной защиты и элементы, обеспечивающие направленную циркуляцию теплоносителя. Важно для безопасности: Основные патрубки реактора расположены в верхней части корпуса, что исключает возможность полного «оголения» активной зоны при авариях. В малых (внутренних) патрубках установлены сужающие устройства, которые снижают скорость потери теплоносителя при разрыве трубопровода 1-го контура.

На плоской крышке реактора установлено 5 приводов, с помощью которых перемещаются органы компенсации избыточной реактивности, и 4 исполнительных механизма стержней аварийной защиты.

Реакторный блок размещен в кессонах бака металло-водной биологической защиты. Биологическая защита включает в себя собственно бак железо-водной защиты, блоки сухой защиты и периферийную защиту, расположенную на защитной оболочке. В качестве материалов биологической защиты используются сталь, вода и серпентинитовый бетон. Все оборудование 1-го контура размещено в защитной оболочке, которая по высоте разделена на аппаратное помещение и подблочное пространство.

В каждой РУ используется 4 парогенератора (8 в двух РУ), каждый из которых представляет собой прямоточный, рекуперативный, вертикальный цилиндрический трубный теплообменный аппарат. Трубная система ПГ изготовлена из титанового сплава и набрана из цилиндрических спиральных змеевиков, объединенных в 20 секций.

В установке используется 4 (8 в двух РУ) главных циркуляционных насоса. ГЦН представляет собой центробежный герметичный агрегат, одноступенчатый, двухскоростной с асинхронным электродвигателем, работающим в перекачиваемой среде, т. е. в воде 1-го контура.

Схема работы систем и устройств реактора и основного (1-го) контура.

Основная циркуляция теплоносителя в реакторе осуществляется следующим образом: теплоноситель 1-го контура попадает в напорную камеру реактора и далее в активную зону. Пройдя активную зону, теплоноситель попадает в сливную камеру реактора, откуда поступает во внутренние патрубки парогенераторов (ПГ). Из ПГ теплоноситель поступает в камеры всасывающих полостей насосов. При естественной циркуляции теплоноситель осуществляет в реакторе такой же путь, как и во время принудительной циркуляции.

Компенсация реактивности осуществляется компенсирующими группами СУЗ с помощью стержневых поглощающих элементов, перемещаемых приводами в пространстве между тепловыделяющими сборками.

Кроме 1-го основного контура работу реакторной установки обеспечивают следующие системы и контуры:

- система очистки и расхолаживания, предназначенная для поддержания показателей качества воды 1-го контура и снятия остаточных тепловыделений при расхолаживании;
- система компенсации, предназначенная для создания и поддержания давления в 1-м контуре;
- система газоудаления, назначением которой является удаление газа из оборудования 1-го контура при подготовке к вводу в действие РУ;
- системы отбора проб и дренажа, предназначенные для отбора проб теплоносителя, поддренирования и осушения 1-го контура;
- система безотходной технологии, предназначенная для минимизации объема радиоактивных отходов при проведении технологических операций с 1-м контуром;
- система газа высокого давления, назначением которой является прием, заполнение, сброс и перекачка газа в системе компенсации давления 1-го контура;
- система аварийного охлаждения активной зоны, предназначенная для восполнения течи 1-го контура и охлаждения активной зоны в авариях с потерей теплоносителя;

- система водоподготовки и подпитки, предназначенная для подпитки и опрессовки 1-го контура в технологических операциях;
- система предотвращения переопрессовки ПГ, назначением которой является исключение возможной переопрессовки отсеченной по 2-му контуру трубной системы ПГ за счет надежного соединения отсеченной полости с 1-м контуром;
- система импульсивных трубопроводов для подключения к 1-му контуру самосрабатывающих устройств;
- система 2-го контура по пару и питательной воде, предназначенная для подачи питательной воды и отвода выработанного в ПГ пара, расхолаживания в нормальных условиях и аварийных режимах, а также для локализации радиоактивного теплоносителя при межконтурной течи;
- система 3-го контура, предназначенная для охлаждения оборудования 1-го

контура и отвода тепла в нормальных и аварийных режимах, а также для локализации радиоактивного теплоносителя при межконтурной течи. При работе вода 3-го контура с температурой не более 40 °С от напорного коллектора насосов по трубопроводам системы поступает к охлаждаемому оборудованию 1-го контура и, сняв тепло, отводится от него в сливной коллектор, а далее через бак МВЗ поступает к насосам 3-го контура и теплообменникам 3-4-го контуров, где охлаждается заборной водой и подается потребителям. Для выполнения своих функций 3-й контур гидравлически связан со следующими системами и оборудованием:

- теплообменником 1-3-го контуров;
- электронасосами 1-го контура;
- стойками крышки реактора для ИМ КГ и АЗ;
- системой дренажа.

Технические характеристики системы 3-го контура

Параметры	Значение
1. Максимальная общая отводимая мощность, кВт	3930
2. Максимальная мощность, отводимая от охлаждаемого оборудования, кВт:	
– ЦНПК,	150x4
– ТО 1-3-го контуров (2 секции),	3060
– стойки крышки реактора для приводов ИМ КГ и АЗ	20
3. Максимальный расход, т/ч	113
4. Максимальный расход через охлаждаемое оборудование, т/ч:	
– ЦНПК,	5,1x4
– ТО 1-3-го контуров,	43,9x2
– стойки реактора для приводов ИМ КГ и АЗ	3
5. Температура воды, °С, не более:	
– на входе в охлаждаемое оборудование,	40
– на выходе из охлаждаемого оборудования	89,1
6. Длина трубопроводов в ЗО, м	240
7. Длина трубопроводов вне ЗО, м	170
8. Давление аварийное при межконтурной течи, МПа, не более	16,2
9. Температура аварийная при межконтурной течи, °С, не более	317

Системы безопасности РУ

Системы безопасности предназначены для остановки реактора, расхолаживания РУ (аварийного отвода остаточных тепловыделений), аварийного охлаждения активной зоны в случае разгерметизации 1-го контура, а также локализации радиоактивных выбросов при проектных авариях или ограничения последствий при запроектных авариях.

По заявлению разработчиков, в РУ КЛТ-40С по сравнению с действующими прототипами в КЛТ-40С применен ряд новых технических решений, которые, по их мнению,

обеспечивают повышенную безопасность. В первую очередь это:

- двухканальная пассивная система отвода остаточных тепловыделений при авариях, связанных с полным обесточиванием ПЭБ, обеспечивающая безопасное состояние РУ в течение суток;
- система снижения давления в защитной оболочке при максимальной проектной аварии с барботажной и конденсационными подсистемами пассивного принципа действия;
- активная система аварийного охлаждения активной зоны в авариях с потерей

теплоносителя 1-го контура имеет два канала, каждый из которых включает цистерну с запасом воды и два насоса, и обеспечивает поддержание активной зоны в безопасном состоянии с учетом принципа единичного отказа. Каждый канал включает также подсистему пассивного принципа действия с использованием гидроаккумуляторов. Для сокращения количества требуемой воды и соответствующего уменьшения радиоактивных отходов предусмотрены средства сбора конденсата с последующим возвратом его в реактор;

- применена система внешнего охлаждения корпуса реактора пассивного принципа действия как средство защиты корпуса реактора от проплавления при запроектных авариях, связанных с осушением и тяжелым повреждением активной зоны;
- в качестве страховочных устройств для запроектных аварий, связанных с отказом управляющих систем безопасности, в системе управления и защиты реактора применены самосрабатывающие устройства.

Системы безопасности по характеру выполняемых ими функций разделены на четыре категории:

- защитные;
- локализирующие;
- обеспечивающие;
- управляющие.

К защитным системам безопасности относятся:

1) электромеханическая система остановки реактора;

2) система ввода жидкого поглотителя (азотнокислого кадмия), используется для приведения активной зоны в подкритическое состояние и поддержания ее в этом состоянии в процессе расхолаживания и разотравления реактора в запроектных авариях при одновременном зависании любых двух рабочих органов компенсирующих групп системы компенсации реактивности. Также система ввода в реактор жидкого поглотителя предназначена для обеспечения безопасного состояния реактора в процессе проведения демонтажных и ремонтных потенциально опасных работ с учетом извлечения рабочих органов аварийной защиты из активной зоны. Система вводится в действие в запроектных авариях, при множественных отказах в электромеханической системе аварийной остановки реактора. После использования системы и ввода жидкого поглотителя в реактор активная зона становится фактически непригодной для использования ее в дальнейшем;

3) система аварийного расхолаживания (САР), предназначена для отвода остаточных тепловыделений от активной зоны реактора после срабатывания аварийной защиты при авариях и предаварийных ситуациях – с изменением реактивности, теплоотвода и разгерметизации 1-го контура с потерей теплоносителя;

4) система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), предназначена для восполнения потерь воды из 1-го контура и охлаждения активной зоны при авариях с течью теплоносителя и по характеру выполняемых функций является защитной системой безопасности. Включение в работу обеспечивается автоматически – вводом в действие подсистемы высокого давления САОЗ.

К локализирующим системам безопасности относятся:

1) защитная оболочка ЗО (или система герметичного ограждения), предназначена для выполнения следующих основных функций: удержание в пределах зоны локализации аварий выделяющихся радиоактивных веществ; изоляция от окружающей среды тех систем и элементов, отказ от которых может привести к неприемлемому выбросу радиоактивных веществ; защита персонала и населения от ионизирующих излучений;

2) защитное ограждение (ЗОг), предназначено для дополнительного ограничения утечки радиоактивных веществ в помещения ПЭБ, находящиеся за пределами защитного ограждения, и в окружающую среду;

3) система снижения аварийного давления в защитной оболочке (ССАД), предназначена для защиты ЗО от переопрессовки за счет приема и конденсации пара из парогазовой смеси при авариях разгерметизации 1-го или 2-го контура в пределах защитной оболочки в аппаратном или реакторном помещениях или течи 1-го контура в 3-й и сброса среды в ЗО. Система ССАД является системой пассивного принципа действия и выполняет локализирующие функции безопасности по предотвращению разрушения ЗО при аварии как одного из защитных барьеров, ограничивая распространение выходящих при течи 1-го контура радиоактивных продуктов деления. При нормальной работе РУ система находится в режиме ожидания при постоянной готовности к действию;

4) система заполнения кессона реактора водой, является средством управления тяжелой запроектной аварией и предназначена для защиты корпуса реактора от проплавления в авариях, связанных с тяжелым перегревом и расплавлением ак-

тивной зоны, и обеспечивает охлаждение нижней части корпуса реактора. Включение системы может произойти при потере значительной части теплоносителя 1-го контура, охлаждающего активную зону реактора, и невозможности подать воду в реактор, когда все возможные средства подачи воды на охлаждение активной зоны исчерпаны и имеет место перегрев топлива;

5) локализирующая арматура, предназначена для предотвращения распространения выделяющихся при авариях радиоактивных веществ за предусмотренные проектом границы и выхода их в окружающую среду. Локализирующая арматура, которая в основном участвует в операциях по оперативной локализации радиоактивных веществ, выделяющихся из 1-го контура при его разгерметизации, установлена в следующих системах:

- компенсации давления;
- очистки и расхолаживания;
- отборов проб;
- 2-го контура;
- 3-го контура;
- вентиляции ЗО.

6) система затопления защитной оболочки, предназначена для заполнения ЗО заборной водой при запроектных авариях затопления ПЭБ для предотвращения разрушения внешним гидростатическим давлением с целью защиты окружающей среды от возможных радиоактивных загрязнений. Система затопления ЗО состоит из канала затопления, устройства закрытия канала и клапанов затопления, является системой разового пользования при запроектных авариях и не требует управляющих и контролируемых действий в процессе работы.

К обеспечивающим системам безопасности относятся:

- система аварийного электроснабжения;
- система управления арматурой систем безопасности;
- система 3-го контура;
- система охлаждения технологического конденсатора и теплообменники 3-4-го контуров;
- система углекислотного пожаротушения помещений защитной оболочки и защитного ограждения.

К управляющим системам безопасности относятся:

- аппаратура СУЗ, обеспечивающая контроль параметров реактора и технологических параметров ТУ, важных для безопасности;
- система, обеспечивающая контроль и управление технологическими системами РУ, включая защитные и локализирующие системы безопасности;
- система, обеспечивающая управление оборудованием системы аварийного электроснабжения.

В РУ КЛТ-40С предусмотрены две системы воздействия на реактивность, основанные на различных принципах действия. Эти системы имеют общие детекторы нейтронного потока, но в то же время они имеют независимую друг от друга аппаратуру формирования управляющих сигналов и каналы их прохождения. Также в этих системах используются независимые рабочие органы воздействия на реактивность. Благодаря этому каждая из этих систем способна независимо от другой обеспечить перевод активной зоны в подкритическое состояние и поддержание в подкритическом состоянии с учетом принципа единичного отказа или ошибки персонала.

Паропроводы ПТУ

Паровые трубопроводы главного и вспомогательного пара, а также трубопроводы отбора пара образуют систему 2-го контура РУ и входят в состав схемы «пар-конденсат». 2-й контур предназначен для получения перегретого пара из питательной воды за счет отвода тепла от теплоносителя 1-го контура через теплообменную поверхность парогенераторов и подачи пара на турбогенератор. 2-й контур также обеспечивает подачу питательной воды в ПГ, отвод пара или пароводяной смеси

от ПГ при нормальном расхолаживании, а также подачу воды и отвод пара от ПГ при аварийном расхолаживании.

2-й контур выполняет функции нормальной эксплуатации, а также защитные и локализирующие функции безопасности, являясь системой, связанной с 1-м контуром через теплообменную поверхность, с помощью которой осуществляется теплоотвод от него, а при межконтурной неплотности становится системой, гидравлически связанной с 1-м контуром.

Технические характеристики системы 2-го контура

Наименование	Значение
1. Паропроизводительность, т/ч, не более	240
2. Температура питательной воды, °С (при использовании ПВД)	158-170
3. Температура питательной воды, °С (без ПВД)	104-106
4. Температура пара на выходе из ПГ, °С, не менее	290
5. Давление пара на выходе из ПГ, МПа, не менее	3,72
6. Длина трубопроводов внутри 30, м	60,7
7. Длина трубопроводов вне 30, м	20
8. Давление аварийное при межконтурной течи ПГ, МПа, не более	16,2
9. Температура аварийная при межконтурной течи ПГ, °С, не более	317

Для выполнения своих функций 2-й контур гидравлически связан со следующими системами и оборудованием:

- парогенераторами;
- системой нормального и аварийного расхолаживания (паропровод активной подсистемы);
- пассивным каналом САР по воде и пару;
- активным каналом САР по воде;
- системой дренажа.

Кроме того, рассматриваемая часть 2-го контура гидравлически связана с системой предотвращения переопрессовки ПГ.

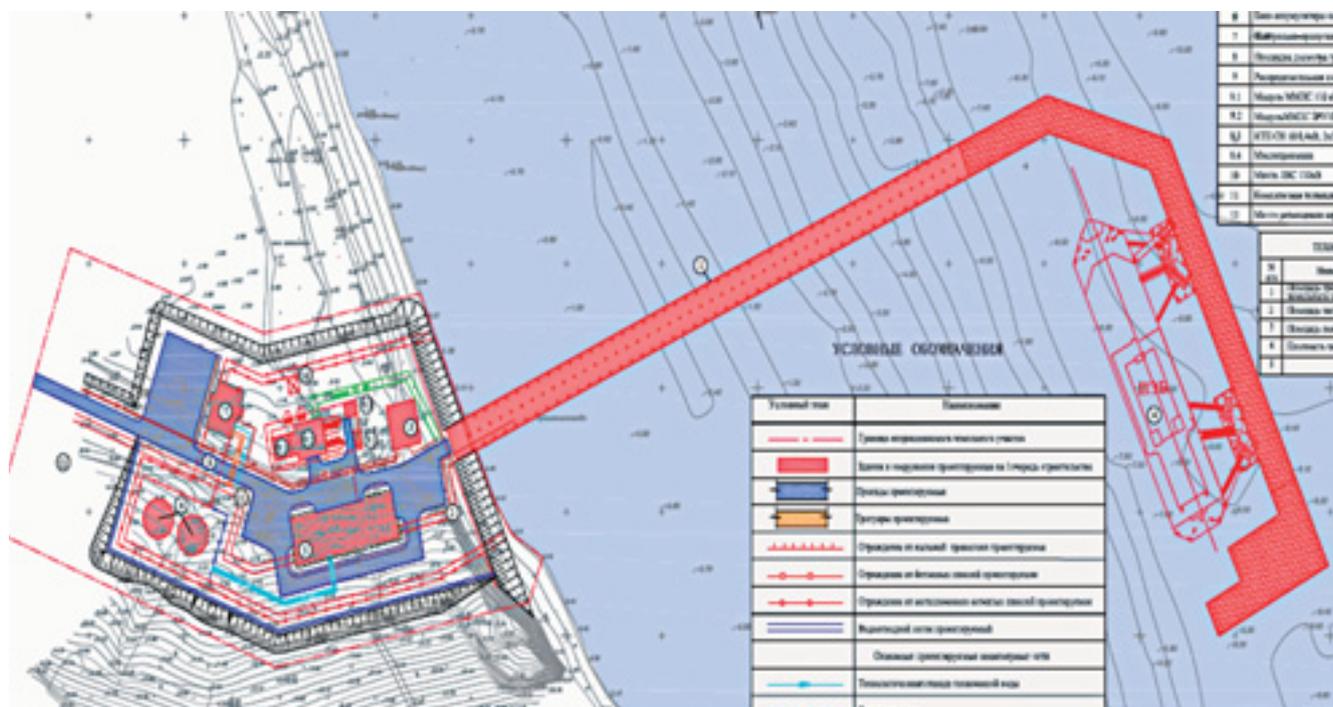
Конденсатно-питательная система и система охлаждения ГК

В состав системы «пар-конденсат» входит питательный тракт, или, по-другому, конденсатно-питательная система. Конденсатно-питательная система обеспечивает подготовку питательной воды и снабжение РУ питательной водой. Отработавший в турбине пар сбрасывается в двухсекционный конденсатор, где охлаждается, конденсируется и собирается в конденсатосборнике.

Главные электро-конденсатные насосы (ЭКН) (два в работе, один в резерве) откачивают конденсат от конденсатосборника главного конденсатора (ГК) и через охладители основного эжектора и эжектора системы отсосов из уплотнений, регулятор уровня в конденсаторе, механические и ионитные фильтры (основные или резервные) и подогреватель низкого давления подают его в деаэратор. Питательные насосы ЭПН забирают из деаэратора и подают питательную воду через регулирующие устройства питательной воды (основное или резервное), расходомерное устройство и подогреватели высокого давления в парогенераторы РУ.

Главный конденсатор охлаждается заборной водой. Для подачи заборной воды к ГК, маслоохладителям и охладителям системы охлаждения генератора (СОГ) используются главные циркуляционные насосы, которые расположены на втором дне в машинном отделении (по два на каждую ПТУ). Один электронасос ГЦН может обеспечить работу ПТУ на полной мощности.

Общестроительная схема размещения ПАТЭС в г. Вилючинске [1]



Аварии с атомными установками на плавучих объектах России [11]

№	Дата	Район	Объект	Тип аварии
1	1960 г.	Северный флот	АПЛ К-3, атомная установка (АУ) типа ВМА	Авария АУ
2	1961 г.	Северный флот	АПЛ К-19, АУ типа ВМА	Ядерная авария
3	1961 г.	Северный флот	АПЛ К-19, АУ типа ВМА	Авария АУ
4	1962 г.	Северный флот	АПЛ К-52, АУ типа ВМА	Авария АУ
5	1962 г.	Северный флот	АПЛ К-14, АУ типа ВМА	Авария АУ
6	1962 г.	Северный флот	АПЛ К-3, АУ типа ВМА	Авария АУ
7	1963 г.	Северный флот	АПЛ К-19, АУ типа ВМА	Авария АУ
8	1965 г.	Северодвинск	АПЛ К-11, АУ типа ВМА	Ядерная авария
9	1965 г.	Мурманск	Атомный ледокол «Ленин»	Авария АУ
10	1965 г.	Северный флот	АПЛ К-33, АУ типа ВМА	Авария АУ
11	1967 г.	Мурманск	Атомный ледокол «Ленин»	Авария АУ
12	1968 г.	Северный флот	АПЛ К-27, АУ типа РМ-1	Ядерная авария
13	1968 г.	Северодвинск	АПЛ К-140, АУ типа ВМ4	Ядерная авария
14	1970 г.	Горький	АПЛ К-320, АУ типа ВМ4	Ядерная авария
15	1975 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-23, АУ типа ВМА	Авария АУ
16	1975 г.	Северный флот	АПЛ К-172, АУ типа ВМА	Авария АУ
17	1976 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-116, АУ типа ВМА	Авария АУ
18	1976 г.	Северный флот	АПЛ К-387, АУ типа ВМ4	Авария АУ
19	1979 г.	Северный флот	АПЛ К-90, АУ типа ВМА	Авария АУ
20	1980 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-45, АУ типа ВМА	Авария АУ
21	1980 г.	Северодвинск	АПЛ К-222, АУ типа В-5Р	Ядерная авария
22	1981 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-66, АУ типа ВМА	Авария АУ
23	1982 г.	Северный флот	АПЛ К-123, АУ типа ОК-550	Ядерная авария
24	1983 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-94, АУ типа ВМА	Авария АУ
25	1984 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-184, АУ типа ВМА	Авария АУ
26	1984 г.	Северный флот	АПЛ К-279, АУ типа ВМ4	Авария АУ
27	1984 г.	Северный флот	АПЛ К-508, АУ типа ВМ4	Авария АУ
28	1984 г.	Северный флот	АПЛ К-210, АУ типа ВМ4	Авария АУ
29	1984 г.	Северный флот	АПЛ К-216, АУ типа ВМ4	Авария АУ
30	1984/1986 г.	Северный флот	АПЛ К-462, АУ типа ВМ4	Авария АУ
31	1984 г.	Северный флот	АПЛ К-47, АУ типа ВМА	Авария АУ
32	1984/1986 г.	Северный флот	АПЛ К-38, АУ типа ВМ4	Авария АУ
33	1984/1986 г.	Северный флот	АПЛ К-37, АУ типа ВМ4	Авария АУ
34	1985 г.	Северный флот	АПЛ К-367, АУ типа ВМ4	Авария АУ
35	1985 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-314, АУ типа ВМ4	Ядерная авария
36	1985 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-431, АУ типа ВМА	Ядерная авария
37	1985/1986 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-175, АУ типа ВМА	Авария АУ
38	1985 г.	Северный флот	АПЛ К-447, АУ типа ВМ4	Авария АУ
39	1985 г.	Северный флот	АПЛ К-209, АУ типа ВМ4	Авария АУ
40	1986 г.	Северный флот	АПЛ ТК-208, АУ типа ОК650	Авария АУ
41	1986 г.	Северный флот	АПЛ К-371, АУ типа ВМ4	Авария АУ
42	1986 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-175, АУ типа ВМА	Авария АУ
43	1986 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-59, АУ типа ВМА	Авария АУ
44	1989 г.	Северный флот	АПЛ К-192, АУ типа ВМА	Ядерная авария
45	1991 г.	Тихоокеанский флот	АПЛ К-94, АУ типа ВМА	Авария 2-х АУ

Страны, в которые планируется продажа атомных ПЭБ [19]



О строительстве ПАЭС



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

**Управление атомной
энергетики**

119017, г. Москва
Старомонетный пер., 26
Факс: (095) 9533053.
Телекс: 611050 «Вотум»

27.06.05 №16/1031

На № от

О строительстве ПАЭС

Координатору проектов
энергетического отдела
отделения международной
неправительственной некоммерческой
организации «Совет Гринпис»
В.Н. Писаревой
125040, Москва, ул. Новая Башиловка, д. 6

Уважаемая Вера Николаевна!

На Ваше письмо от 06.05.05 № 5/213 сообщаю, что принятой концепцией проекта атомной станции малой мощности (АСММ) на базе плавучего энергоблока (ПЭБ) для зарубежных потребителей предусматривается, что ПЭБ с ядерными энергетическими установками всегда будет оставаться российской собственностью, поэтому продажа его в страны Юго-Восточной Азии не планируется.

Одновременно сообщаю, что при выборе площадок для размещения АСММ на базе ПЭБ площадки, подверженные катастрофическим воздействиям цунами, не рассматриваются.

Заместитель начальника

В.И. Урывский

Список использованной литературы

1. Декларация о намерениях строительства АСММ на базе плавучего энергоблока с реакторными установками типа КЛТ-40С в районе закрытого административно-территориального образования город Вилючинск Камчатской области, 1999.
2. Атомная теплоэлектростанция малой мощности на базе плавучего энергоблока проекта 20870 с реакторными установками КЛТ-40С в г. Вилючинск Камчатской области. Обоснование инвестиций, 2004.
3. Правила Российского морского регистра судоходства. НД № 2-020101-052 – Правила классификации и постройки морских судов. М., 2008.
4. Дмитриев В. И. Обеспечение живучести судов и предотвращение загрязнения окружающей среды. М.: Моркнига, 2010.
5. Саркисов А. А., Пучков В. Н. Физические основы эксплуатации ядерных паропроизводящих установок. М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Коротков М. В. Перезарядка корабельных ядерных реакторов. М.: Военное издательство, 1991.
7. Доллежалъ Н. А. и др. Ядерные энергетические установки. М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Справочник по живучести корабля / В. А. Якимов и др. М.: Военное издательство, 1984.
9. Кузнецов В. А. Судовые ядерные реакторы. Л.: Судостроение, 1988.
10. Владимиров В. И. Физика ядерных реакторов. М.: Либроком, 2008.
11. Кузнецов В. М., Яблоков А. В., Никитин А. К. и др. Плавучие АЭС России: угроза Арктике, Мировому океану и режиму нераспространения. М.: ЦЭПР, 2000.
12. Плавучие атомные станции в Юго-Восточной Азии. Очередная авантюра Росатома. Гринпис, 2006.
13. Реактор плавающего энергоблока (ПЭБ) (<http://www.reactors.narod.ru/index.htm>).
14. Россия приступила к строительству плавучих атомных электростанций (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2508>).
15. <http://www.bellona.ru/reports/floatnpp>.
16. <http://www.polarlights.ru/ru/theses/read/mnuItm:theses/catId:18/thesisId:93/#>.
17. http://www.atominfo.ru/archive_floatingnuclearplant.htm.
18. Томаров Г. В. и др. Развитие российских геотермальных энергетических технологий // Теплоэнергетика. 2009. № 11.
19. Завьялов С. Н. Плавучие атомные теплоэлектростанции, состояние проекта (доклад). М., 2010.
20. http://www.energetica.ru/rus/m_e/peb_rus/m_e_peb_ru.htm.

Список сокращений

АДГ	–	аварийный дизель-генератор
АНК	–	атомный надводный корабль
АПЛ	–	атомная подводная лодка
АС	–	атомная станция
АСММ	–	атомная станция малой мощности
АСУ	–	автоматическая система управления
АТО	–	атомно-технологическое обслуживание
АЭУ	–	атомная энергетическая установка
БГТС	–	береговые гидротехнические сооружения
ВВРД	–	водо-водяной реактор под давлением
ВКУ	–	вспомогательная котельная установка
ГТС	–	гидротехнические сооружения
ГЦН	–	главный циркуляционный насос
ЖРО	–	жидкие радиоактивные отходы
ЗАТО	–	закрытое административно-территориальное образование
ЗО	–	защитная оболочка
ИМ КГ	–	исполнительные механизмы компенсирующих групп
КИУМ	–	коэффициент использования установленной мощности
МКУБ	–	Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения
ОТВС	–	отработавшая тепловыделяющая сборка
ОЯТ	–	отработавшее ядерное топливо
ПАТЭС	–	плавучая атомная теплоэлектростанция
ПАЭС	–	плавучая атомная электростанция
ПГ	–	парогенератор
ПТУ	–	паротурбинная установка
ПЭБ	–	плавучий энергоблок
ПЯОР	–	потенциально ядерно-опасные работы
РАО	–	радиоактивные отходы
РДГ	–	резервный дизель-генератор
РУ	–	реакторная установка
САОЗ	–	система аварийного охлаждения активной зоны
САР	–	система аварийного расхолаживания
СТВС	–	свежая тепловыделяющая сборка
ССАД	–	система снижения аварийного давления
СУБ	–	система управления безопасностью
СУЗ	–	система управления и защиты
ТВС	–	тепловыделяющая сборка
ТВЭЛ	–	тепловыделяющий элемент
ТО	–	теплообменник
ТРО	–	твердые радиоактивные отходы
ФЗ	–	физическая защита
ЯМ	–	ядерные материалы
ЯР	–	ядерный реактор
ЯЭУ	–	ядерная энергетическая установка

BELLONA

www.bellona.ru