

УДК 621.039.52

Ю.П. Фадеев, А.Н. Пахомов, В.И. Полуничев, А.Ю. Турусов

ПЛАВУЧИЕ И БЛОЧНО-ТРАНСПОРТАБЕЛЬНЫЕ АТОМНЫЕ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова

Приведены результаты разработки технического проекта атомной станции малой мощности для энергообеспечения удаленных труднодоступных регионов, в том числе в Арктической зоне. Рассмотрено два варианта исполнения станции: с использованием плавучего энергоблока и береговой инфраструктуры, включающей защитную дамбу, и наземный вариант с размещением атомной энергетической установки на суше. В обоих вариантах используется реакторная установка интегрального типа АБВ-6Э тепловой мощностью 38 МВт, позволяющая вырабатывать до 9 МВт электрической энергии. Перегрузка и ремонт реакторной установки производятся через 10-12 лет на специализированном заводе, куда плавучий блок с реактором перемещается буксирами, а реакторный блок наземной станции – специальными транспортными средствами. Активная зона имеет энергоресурс, обеспечивающий указанный срок между перегрузками топлива. После вывода станции из эксплуатации на площадке реализуется концепция «зеленая лужайка». Экономические оценки показали, что в Арктической зоне себестоимость энергии, вырабатываемой АСММ, на 10-15 % ниже генерируемой дизельными электростанциями аналогичной мощности.

Ключевые слова: атомная станция малой мощности, энергоблок, реакторная установка, защитная оболочка, активная зона, энергоресурс, себестоимость.

Введение

Экономически эффективное обеспечение объектов Арктической зоны электрической и тепловой энергией для устойчивого промышленного развития и удовлетворения социальных нужд населения, а также решения геополитических задач Российской Федерации в данном регионе является актуальной задачей. Для этой цели наряду с традиционными установками на органическом топливе рассматриваются варианты использования атомных энергоисточников, которые имеют принципиальные преимущества по длительности работы без перегрузки топлива, высокой надежности, подтвержденной многолетней успешной эксплуатацией прототипов на атомных судах и кораблях, маневренности, высокому уровню экологической безопасности.

Строительство атомных станций малой мощности (АСММ) в Арктических регионах трудно осуществить по схеме, принятой для АЭС типа ВВЭР. Решением данной проблемы может быть поставка на подготовленную площадку готового к эксплуатации плавучего энергоблока или крупногабаритных транспортабельных блоков для станций берегового размещения с переносом большей части строительно-монтажных, перегрузочных и ремонтных работ на специализированные предприятия. Это обеспечивает ускоренные темпы сооружения АСММ в сложных климатических условиях, высокое качество изготовления и приемлемые технико-экономические характеристики [1].

В рамках федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» АО «ОКБМ Африкантов» в кооперации со смежными предприятиями разработало технический проект перспективного атомного источника энергии малой мощности со следующими основными потребительскими характеристиками:

Электрическая мощность	6 МВт
Тепловая мощность.....	12 Гкал/ч
Электрическая мощность в конденсационном режиме без выработки тепловой энергии	9 МВт

Срок службы.....	40 лет
Период между перегрузками топлива.....	10-12 лет
Время работы до заводского ремонта.....	20 лет
Назначенный коэффициент использования установленной мощности (КИУМ).....	0,7

Уровни тепловой и электрической мощности определены исходя из маркетинговых исследований энергетической потребности прибрежных регионов Арктической зоны.

При проектировании АСММ выполнялись следующие основные требования к станции:

- минимальные масса и габариты;
- повышенные ресурсные характеристики;
- высокие технико-экономические показатели.

АСММ выполнена в двух вариантах:

- на базе плавучего энергетического блока (ПЭБ) по аналогии со строящимся блоком «Академик Ломоносов» для АС в городе Певек Чукотского АО;
- в наземном исполнении с блочно-транспортным энергоблоком (БТЭБ), включающим реакторную установку (РУ), монтируемым на прибрежной территории.

Станции такого типа обладают следующими преимуществами по сравнению со стационарными станциями традиционного исполнения:

- изготовление энергоблоков в сборе на заводе-строителе с высоким качеством и в сжатые сроки;
- снижение количества строительно-монтажных работ на площадке базирования;
- выполнение перегрузки топлива, ремонтов и технического обслуживания транспортируемых реакторных блоков на специализированном предприятии;
- возможность реализации концепции «зеленая лужайка» после вывода АСММ из эксплуатации.

Плавучая АСММ

Основой станции является плавучий энергоблок (ПЭБ), который представляет собой несамоходное стоечное судно, транспортируемое к месту базирования водным путем посредством буксировки. На месте базирования ПЭБ подключается к береговым сооружениям, обеспечивающим передачу тепла и электроэнергии потребителям. С целью минимизации массогабаритных характеристик и стоимости строительства на ПЭБ установлена одна РУ. После выработки топлива через 10-12 лет ПЭБ транспортируется на специализированное предприятие для перегрузки, докового ремонта.

ПЭБ имеет следующие характеристики:

Длина.....	91,6 м
Ширина.....	26 м
Осадка.....	3,6 м
Водоизмещение.....	8 100 т

В качестве основного источника энергии для выработки пара требуемых параметров в проекте применяется реакторная установка (РУ) АБВ-6Э тепловой мощностью 38 МВт (рис. 1). Основным элементом РУ является парогенерирующий блок (ПГБ) интегрального типа с естественной циркуляцией теплоносителя первого контура. В корпусе парогенерирующего блока установлены активная зона, 12 кассет прямотрубных парогенераторов, внутрикорпусные устройства. Приводы системы управления и защиты находятся на крышке блока. Оборудование и системы РУ имеет высокую степень унификации с оборудованием РУ КЛТ-40С строящейся плавучей атомной теплоэлектростанции и РУ РИТМ-200 универсального атомного ледокола, что существенно сокращает затраты на опытно-конструкторские работы, время строительства и стоимость. В проекте принята активная зона, состоящая из 121 ТВС кассет-

ного типа, аналогичных по конструкции примененным в РУ КЛТ-40С. Для обеспечения экспортного потенциала применено металлокерамическое топливо с обогащением по урану-235 19,7%. В рамках проекта рассмотрен вариант защитной оболочки (ЗО) реакторной установки цилиндрической формы, которая является нетрадиционной для атомных судов, использующих оболочки коробчатого исполнения. Достоинством такой оболочки является способность выдерживать большее избыточное давление, что совместно с комплексом пассивных систем безопасности обеспечивает лучшее прохождение всех типов аварий, в том числе с разгерметизацией первого контура (ЛОСА), в условиях полного обесточивания. В рамках проектирования большое внимание уделено безопасности разрабатываемого энергоблока с учетом близости его размещения к населенным пунктам. Отсутствие операций с радиоактивными веществами на площадке базирования и осуществление перегрузки и плановых ремонтов на специализированном предприятии снижает радиационное воздействие на персонал и окружающую среду.

В проекте применены системы активного и пассивного принципа действия, надежно обеспечивающие требования нормативных документов по безопасности. Комплекс пассивных систем обеспечивает безопасность РУ во всех проектных теплоотводных авариях в течение более трех суток. С этой целью в проекте используется инновационная для судовых РУ комбинированная пассивная система аварийного расхолаживания, оснащенная водным и воздушным каналами с отводом тепла к воде, запасенной в цистерне, и атмосферному воздуху соответственно.

Наземная АСММ

Наземная АСММ – источник энергии, оснащенный блочно-транспортабельными энергоблоками (БТЭБ) наземного размещения и средствами погрузки и выгрузки блоков. БТЭБ выполнен в двух вариантах:

- с отдельными модулями РУ и паротурбинной установки (ПТУ) (рис. 2);
- моноблочный вариант, включающий РУ и ПТУ (рис. 3).

Характеристики реакторных модулей БТЭБ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики реакторных модулей БТЭБ

Наименование характеристики	Реакторный модуль БТЭБ раздельного типа	Реакторный модуль моноблочного БТЭБ
Состав модуля	РУ	РУ + ПТУ
Длина, м	8	28,2
Диаметр, м	10,5	9,6
Масса с учетом БЗ, т	820	2500

Транспортабельные модули БТЭБ изготавливаются на специализированном предприятии и транспортируются к площадке АСММ с помощью специальных грузовых средств. На участке маршрута по акваториям северных морей транспортирование может быть осуществлено доковым полупогружным судном типа «Transshelf», на речном участке – баржами-площадками. Помимо этого, рассматриваются варианты доставки транспортабельных блоков вглубь материка при помощи наземных грузовых средств. После установки блоков на фундамент осуществляется монтаж навесной биологической защиты.

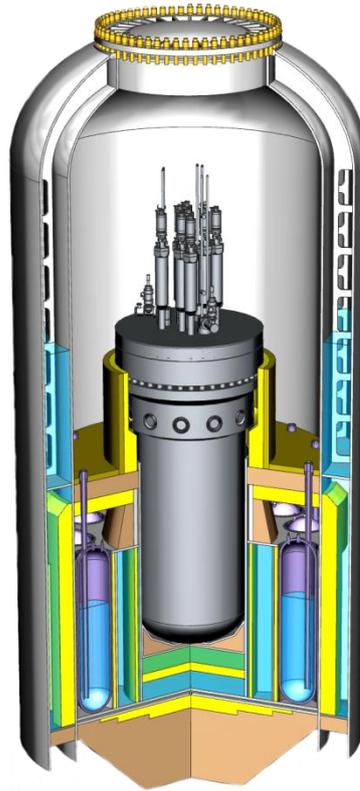


Рис. 1. РУ АБВ-6Э в защитной оболочке

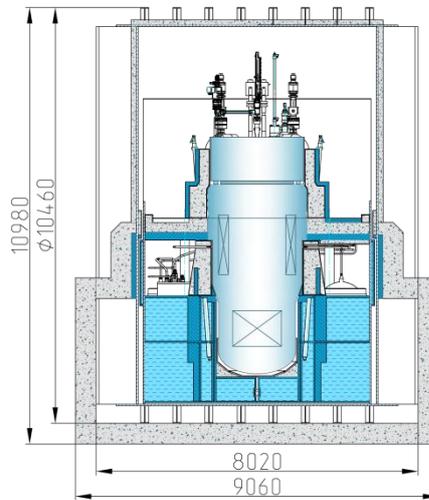


Рис. 2. Общий вид реакторного модуля БТЭБ раздельного типа

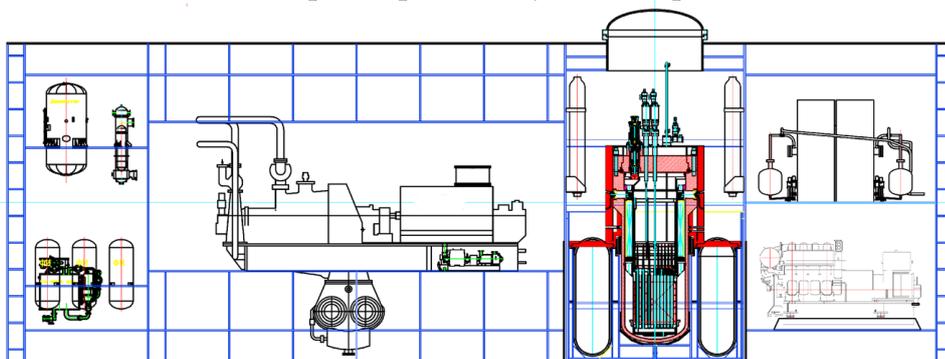


Рис. 3. Общий вид реакторного модуля моноблочного БТЭБ

По сравнению с плавучей АСММ, наземный вариант исполнения имеет следующие достоинства:

- исключение защитных гидротехнических сооружений и специальных устройств передачи энергии на берег при колебаниях уровня воды;
- возможность размещения АСММ в удалении от источников воды (в состав АСММ входит воздушно-конденсационная установка);
- исключение защиты от ледового воздействия и цунами;
- малые габариты и масса БТЭБ по сравнению с ПЭБ, что позволяет транспортировать его по малым рекам на баржах-площадках с малой осадкой, а также наземным способом с помощью специальных грузовых средств.

Недостатки:

- необходимость применения специализированных грузовых средств для доставки блоков БТЭБ на площадку базирования;
- выполнение большего объема работ по монтажу систем главного энергетического оборудования АС на площадке базирования;
- необходимость выдержки транспортабельного реакторного блока перед отправкой на специализированное предприятие для перегрузки и ремонтов.

Экономическая эффективность АСММ

В проекте проведена оценка себестоимости, вырабатываемой АСММ электроэнергии и сравнение с себестоимостью электроэнергии, производимой источниками, использующими органическое топливо. Согласно оценкам, в ряде регионов Арктической зоны себестоимость электроэнергии, производимой атомными теплоэлектростанциями на базе РУ АБВ-6Э на 10-15 % ниже себестоимости энергии, генерируемой дизельными электростанциями аналогичной мощности при меньшем воздействии на окружающую среду.

Заключение

1. Выполненные проекты АСММ на базе энергоблоков плавучего и блочно-транспортабельного исполнения с реакторной установкой АБВ-6Э показали, что основные принятые технические решения проверены опытом эксплуатации атомных судов, надежны и реализуемы отечественной промышленностью.
2. Атомные источники такого типа могут использоваться для обеспечения электроэнергией и теплом объектов Арктической зоны и других удаленных регионов.
3. Для дальнейшего повышения технико-экономической привлекательности станций представляется целесообразной дальнейшая оптимизация технических решений.

Библиографический список

1. **Фадеев, Ю.П.** АСММ для обеспечения регионов арктической зоны / Ю.П. Фадеев, А.Н. Пахомов, В.И. Полуничев, А.Ю. Турусов [и др.] // Труды Международной выставки – конференции по судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа. Санкт-Петербург, Россия, 7-10 октября 2014 г.

*Дата поступления
в редакцию: 02.10.2018*

Yu.P. Fadeev, A.N. Pakhomov, V.I. Polunichev, A.Yu. Turusov

FLOATING AND MODULAR TRANSPORTABLE SMALL POWER NPP

JSC OKBM AFRICANTOV, Nizhny Novgorod

Purpose: Presentation of potential nuclear energy sources for power supply of distant difficult to access regions, including the ones in the arctic zone.

Design: Two variants of design are examined: with the use of a floating power unit and shore infrastructure, including a seawall, and shore variant with a nuclear power plant located on the shore. In both the cases there is used an integral reactor plant ABV-6E, with thermal power 38 MW, and which permits to produce 9 MW of electrical power. Refueling and repair of the reactor plant are executed in 10-12 years at a special factory, where the floating unit with a reactor is shifted with towing hawsers, and a reactor unit of the shore plant is shifted with special transports. The core has the sufficient power life time to ensure the specified time duration between refueling. After decommissioning of the plant, the concept «Green lawn» is realized at site.

Findings: Completed designs of small power NPPs demonstrate that main accepted engineering solutions are proved by nuclear-powered ships operation, reliable and feasible.

Research limitations: The present study provides basis for further enhancement of small power NPPs technical and economic features.

Originality: The study provides innovational design solutions for small power NPPs development.

Key words: small nuclear power plant, power unit, reactor plant, containment, core, power life time, production cost.