

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ, КОРАБЕЛЬНЫХ И СУДОВЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК



Иван Михайлович Каменских

ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА – ДИРЕКТОР ДИРЕКЦИИ ПО ЯДЕРНОМУ ОРУЖЕЙНОМУ КОМПЛЕКСУ ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» – уникальная структура оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации, которая выполняет весь комплекс работ, связанных с ядерным оружием, обеспечивающий реализацию нашей страной политики ядерного сдерживания.

Необходимость освоения новых ядерных технологий для установления паритета с США и обеспечения ядерной безопасности в середине прошлого века поставила перед участниками советского «Атомного проекта» ряд сложных технологических задач. Одной из них стала разработка промышленных ядерных реакторов для производства оружейного плутония и трития, успешное решение которой ознаменовалось в 1950 году пуском первого промышленного уран-графитового реактора для наработки плутония оружейного качества. Всего в нашей стране эксплуатировалось 9 промышленных уран-графитовых реакторов, остановленных после более чем 40-летней эксплуатации (последний реактор этого типа был остановлен в 2010 году), и 4 тяжеловодных реактора, один из которых был введен в эксплуатацию в 1988 году и продолжает успешно работать для производства изотопов различного назначения.

Требования нового времени поставили перед предприятиями Госкорпорации «Росатом» задачу разработки многофункционального реакторного комплекса на основе промышленного тяжеловодного реактора нового поколения. В 2012 году было разработано техническое предложение современной тяжеловодной реакторной установки для промышленного реакторного комплекса, предназначенного для получения широкого ассортимента изотопов и выработки электроэнергии.

Решая задачи обеспечения национальной ядерной безопасности, предприятия Госкорпорации «Росатом» также отвечают за разработку, поставку и фирменное техни-

ческое обслуживание реакторных установок различного назначения на объектах ВМФ и Минобороны России.

Говоря об обороноспособности нашей страны, трудно преувеличить значение атомного подводного флота, поскольку применение ядерной энергии в корабельной энергетике произвело во второй половине XX века подлинную техническую революцию на флоте. Использование ядерных реакторных установок (РУ) в качестве основного источника энергии на кораблях позволило существенно увеличить их автономность плавания, в том числе автономность подводного плавания атомных подводных лодок (АПЛ), и сделать отечественный флот по-настоящему океанским.



1. Тяжелый атомный подводный крейсер стратегического назначения 3-го поколения АПЛ «Акула»
- 2, 3. Надводный корабль ВМФ с ЯЭУ
4. АПЛ 2-го поколения
5. АПЛ с ЯЭУ с реакторными установками ВВРД 3-го поколения

Разработка ядерных энергетических установок (ЯЭУ) для подводных кораблей ВМФ ведется в нашей стране с 1952 года. За это время было создано четыре поколения всё более совершенных корабельных ЯЭУ для подводных лодок различных классов и назначений, превосходящих (не уступающих) по своей энерговооруженности АПЛ стран НАТО. Успешное развитие корабельной энергетике в большой мере было обеспечено плодотворным творческим трудом специалистов ведущих промышленных предприятий, научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро, входящих в ядерно-оружейный комплекс Госкорпорации «Росатом».

Ядерная энергетическая установка – важнейший элемент кораблей и подводных аппаратов, в значительной мере определяющий их боевую эффективность и такие важные тактико-технические показатели, как энерговооруженность, надежность, скорость, скрытность, маневренность и автономность. Использование ядерной энергетике позволяет обеспечить неограниченную дальность и длительность плавания кораблей и судов, концентрацию большой мощности установки в одном агрегате относительно небольших габаритов, а также независимость кораблей и судов от пунктов базирования.

ЯЭУ – сложный комплекс систем и оборудования – как правило, состоит из трех основных элементов: реакторной установки, паротурбинной или турбогенераторной установки (в зависимости от проекта корабля) и комплексной автоматизированной системы управления техническими средствами. Ядерные энергетические установки применяются в качестве основного энергоисточника на стратегических, многоцелевых АПЛ и автоном-

ных объектах Минобороны России, не имея на сегодняшний день (равно как и в обозримой перспективе) разумной альтернативы. В условиях отсутствия (недостатка) зарубежных баз снабжения ЯЭУ могут оказаться наиболее эффективным решением и для крупных боевых надводных кораблей (БНК) океанской зоны.

Таким образом, повышение боеготовности флота, улучшение тактико-технических характеристик, эксплуатация и техническое обслуживание кораблей ВМФ неразрывно связаны с ЯЭУ, начиная с их технического совершенствования и заканчивая подготовленностью личного состава к безопасной эксплуатации кораблей.

Госкорпорация «Росатом» располагает широким спектром технологий в области корабельной энергетики, которые способны удовлетворить потребности кораблестроения как в настоящее время, так и в обозримом будущем. Имеющиеся наработки позволяют создавать РУ с тепловой мощностью от 100 кВт до 380 МВт.

Для реализации таких возможностей развиваются направления водо-водяных реакторов под давлением, реакторов с жидкотеплоносителем, высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов, реакторов с прямым преобразованием энергии и др.

Наибольший опыт разработки и эксплуатации имеют транспортные ядерные реакторные установки с *водо-водяным реактором под давлением (ВВРД)*, которые применялись и применяются по настоящее время на АПЛ 1, 2, 3 и 4-го поколения, атомных ракетных крейсерах, атомных ледоколах, специальных объектах Минобороны России. Общая наработка ВВРД превышает 9,5 тыс. реакторо-лет.

Основными достоинствами ВВРД являются апробированность технических решений, возможность создания широкого мощностного ряда в короткие сроки и развитая инфраструктура по обслуживанию РУ.

Современные РУ с ВВРД 3-го и 4-го поколения удовлетворяют текущим потребностям ВМФ, обладают хорошим модернизационным потенциалом и являются основой развития ядерной корабельной энергетики на ближайшую перспективу, так как отвечают всем требованиям, предъявляемым ЦКБ-проектантами и ВМФ к перспективным реакторным установкам.

Основные проектные решения по ВВРД для АПЛ 3-го и 4-го поколения, в том числе решения по обеспечению надежности, живучести и безопасности оборудования и корабельной РУ в целом, были полностью отработаны с использованием наземных стендов-прототипов.

К настоящему времени выполнен комплекс НИОКР, подтвердивший возможность совершенствования РУ с ВВРД по следующим основным направлениям:

- Повышение скрытности. Снижение виброшумовых характеристик до уровня естественных шумов.
- Повышение надежности. Основное оборудование РУ, включая активную зону, может быть создано на весь срок службы РУ.
- Повышение безопасности. Обеспечение перевода РУ в безопасное состояние во всех технически возможных авариях без использования корабельных систем, систем управления и без участия личного состава.
- Увеличение уровня самозащитенности, саморегулирования и автоматизации управления.
- Унификация технических решений по всему мощностному ряду РУ для АПЛ различного назначения и НК.
- Сокращение объемов и сроков межпоходового обслуживания.
- Сокращение стоимости разработки и эксплуатации за счет унификации технических решений, использования оборудования на весь срок службы, сокращения объема технического обслуживания.

За период эксплуатации корабельных РУ с ВВРД и наземных стендов-прототипов накоплен огромный опыт моделирования работы РУ в различных режимах. Этот опыт позволяет для вновь проектируемых реакторных установок обосновывать принимаемые технические решения расчетно-аналитическим путем.

СТРОЯЩИЕСЯ АПЛ С ЯЭУ 4-ГО ПОКОЛЕНИЯ

Технологии математического моделирования отработаны в рамках президентской программы «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» для проекта РУ 4-го поколения в рамках темы «Внедрение суперкомпьютерных технологий в новых проектах корабельных реакторных установок и разработка «виртуальной корабельной ядерно-энергетической установки». Опыт расчетно-аналитического обоснования применен в проекте перспективной установки с реактором интегрального типа с естественной на 100% циркуляцией теплоносителя.

Одновременно с проектированием РУ с ВВРД были начаты работы по созданию РУ с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). За время, прошедшее с начала работ,

6



7



8



6. АПЛ «Борей»
7. АПЛ «Ясень»
8. АПЛ с ЯЭУ на ЖМТ

в СССР и России эксплуатировалось 12 реакторов со свинцово-висмутовым теплоносителем, в том числе 10 на АПЛ и 2 на наземных стендах-прототипах. В этих реакторах отработало 15 активных зон, общая наработка составила около 80 реакторо-лет. В настоящее время все установки с ЖМТ выведены из эксплуатации.

Применение в АПЛ реакторных установок с ЖМТ, обеспечивающих выработку пара высоких параметров, позволило создать серию многоцелевых АПЛ малого водоизмещения с усовершенствованными скоростными и маневренными характеристиками. Однако сложности с базовым обеспечением РУ с ЖМТ и неотработанность технологии поддержания требуемого качества теплоносителя привели к преждевременному выводу из эксплуатации кораблей с ЯЭУ этого типа.

Применение реакторных установок со свинцово-висмутовым теплоносителем в составе корабельных ЯЭУ может быть целесообразным для объектов ВМФ малого водоизмещения с большой энерговооруженностью. В результате выполненного в последние годы комплекса НИР и ОКР подготовлена научно-техническая база для создания нового поколения автоматизированных РУ с ЖМТ на инновационных решениях (моноблочная конструкция, активная зона на быстрых нейтронах и МГД-насосы), обладающих повышенной ядерной и радиационной безопасностью, надежностью, улучшенными массогабаритными и эксплуатационными характеристиками. Разработанные технические решения направлены на устранение недостатков РУ с ЖМТ, выявленных при их эксплуатации в составе выведенных из эксплуатации АПЛ.

Госкорпорацией «Росатом» проработаны проекты ЯЭУ с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (ВТГР) для применения в качестве дополнительных источников электропитания для дизельных подводных лодок и основных источников электроэнергии для подводных объектов Минобороны России малого водоизмещения. РУ данного типа

будут иметь высокий КПД и приемлемые массогабаритные характеристики и обеспечивать выработку электроэнергии заданных параметров в замкнутом газотурбинном цикле.

Создание *ЯЭУ с прямым преобразованием ядерной энергии* в электрическую в Госкорпорации «Росатом» развивается в двух направлениях:

- с использованием термоэмиссионного преобразователя;
- с использованием термоэлектрогенераторов.

Отсутствие в данных типах ЯЭУ турбогенераторов позволяет значительно улучшить характеристики ЯЭУ, в первую очередь по скрытности и автономности. ЯЭУ с термоэмиссионным преобразованием энергии мощностью 50 кВт предполагается использовать для энергообеспечения перспективных космических аппаратов Минобороны России.

Полученный опыт проектирования ЯЭУ с ВТТР и ЯЭУ с прямым преобразованием энергии позволяет рассматривать их в качестве источника энергии мощностью от 100 кВт до 5 МВт для перспективных объектов Минобороны России. Однако из-за отсутствия практического опыта создания, изготовления и эксплуатации ЯЭУ данных типов применительно к корабельной энергетике также необходима всесторонняя отработка заложенных в проектах технических условий.

Развитие *инновационных направлений корабельной ядерной энергетики* Госкорпорация «Росатом» обуславливает значительным улучшением характеристик ЯЭУ, в первую очередь по массогабаритным характеристикам, скрытности, маневренности, автономности (для необитаемых аппаратов). Выполнение комплекса НИОКР по данным инновационным установкам позволит расширить область применения объектов Минобороны России и ВМФ, потенциально – сформировать «асимметричные» решения, компенсирующие недостижимость количественного паритета с флотами ведущих держав мира (или военных блоков).

Создание научно-технического потенциала по вышеперечисленным типам РУ и ЯЭУ проводится в рамках межотраслевой целевой программы «Совершенствование и развитие корабельной ядерной энергетики», которая позволяет систематизировать комплекс мероприятий, направленных на разработку перспективных технических и организационных решений, выделить основные направления работ. Программа состоит из следующих направлений:

- Повышение надежности, ядерной и радиационной безопасности, продление назначенного срока службы ЯЭУ эксплуатирующихся и модернизируемых кораблей ВМФ.
- Разработка корабельных ЯЭУ ВН нового поколения, комплектующего оборудования и выполнение НИОКР в обеспечение их создания.
- Экспериментальная отработка технических решений по корабельным ЯЭУ ВН на локальных и полномасштабных наземных стендах-прототипах.
- Создание технологического задела по топливным, поглощающим, конструкционным материалам, совершенствование технологий и технических средств сопровождения жизненного цикла корабельных ЯЭУ ВН.
- Совершенствование научно-методической и нормативно-технической базы по корабельным ЯЭУ ВН.

В условиях отсутствия целевых требований к облику ЯЭУ перспективных кораблей и объектов Минобороны России Госкорпорация «Росатом» последовательно проводит поисковые исследования, направленные на совершенствование современных технологий (эволюционное развитие), а также разработку установок, потенциально способных существенно улучшить ТТХ объектов использования либо расширить область использования объектов Минобороны России (инновационное развитие). Закладываемые в настоящий момент перспективы флота должны ориентироваться на продвижение новых технических решений, позволяющих в будущем сохранить технологический паритет с ведущими странами мира, в том числе в части инновационного развития военной техники.

В настоящее время Госкорпорацией «Росатом» ведется работа по расширению функций и областей деятельности, в частности путем интеграции с Минобороны и Минпромторгом России.

В рамках президентского проекта «Создание транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергетической установки мегаваттного класса» Госкорпорация «Росатом» работает над созданием инновационной космической реакторной установки.

В настоящее время принято решение о передаче функций перезарядки ядерных реакторов кораблей с ЯЭУ, обращения с ядерным топливом и радиоактивными отходами (РАО) от ВМФ предприятиям промышленности, которое позволит Госкорпорации «Росатом» осуществлять весь комплекс работ по управлению жизненным циклом ядерного топлива.

Для удержания лидерских позиций Госкорпорации «Росатом» необходимо не только обеспечить конкурентоспособность существующего портфеля продуктов и технологий,

9



10



11

9. Атомный ледокол «Вайгач»

10. Атомный ледокол «50 лет Победы» с ЯЭУ судового типа с реакторной установкой с ВВРД

11. К проекту универсального ледокола нового поколения с ЯЭУ

12. Проект универсального ледокола нового поколения с ЯЭУ



12



но и сохранить динамику развития в соответствии с тенденциями рынка. В этой связи концентрация на развитии *коммерчески ориентированной, обладающей экономической эффективностью продукции* на настоящем этапе приводит к необходимости пересмотреть логику управления инновационно-технологическим развитием отрасли.

Возможности масштабного применения реакторных технологий в гражданских целях были понятны уже на этапе разворачивания «Атомного проекта». Неслучайно в начале 50-х годов XX века, практически одновременно с разработкой первых ЯЭУ для АПЛ, велись работы и по созданию атомной паропроизводящей установки для арктического ледокола. В настоящее время Россия – единственная страна, располагающая атомным ледокольным флотом, в состав которого входят 6 ледоколов, 1 контейнеровоз и 4 судна технологического обслуживания.

В ноябре 2013 года состоялась торжественная церемония закладки головного универсального атомного ледокола нового поколения. Успешная эксплуатация ледоколов этого типа рассматривается в качестве одного из ключевых условий развития Арктического региона и Северного морского пути – форпоста в обеспечении экономического развития и укреплении обороноспособности России.

На основе судовых технологий был разработан и проект строящейся в настоящее время первой в мире плавучей АЭС. Эксплуатация таких атомных станций будет способствовать динамическому развитию районов Крайнего Севера, а также регионов, удаленных от централизованных энергосетей.

Очевидно, что сосредоточение широкого спектра критических технологий и соответствующая материальная база предприятий Госкорпорации «Росатом» являются наиболее реальными точками роста российской экономики и способны сыграть активную роль в модернизации российской промышленности.

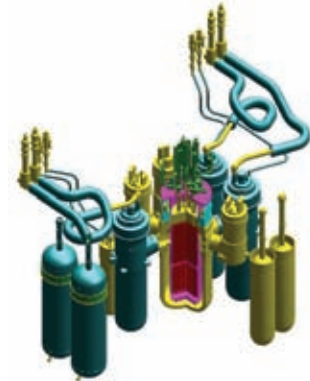
Комплекс уникальных производственно-технологических компетенций, которыми обладают предприятия Госкорпорации «Росатом», позволяет успешно развивать новые инвестиционно привлекательные направления производственной деятельности.

Одним из таких направлений способно стать создание реакторных установок для энергообеспечения населенных пунктов, объектов Минобороны России и промышленных

13



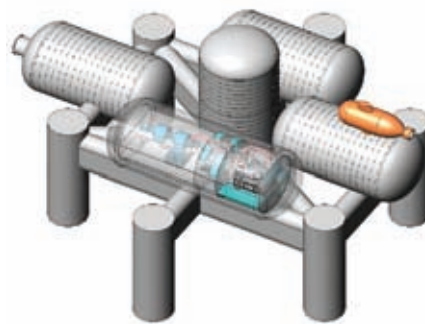
14



15



16



- 13. Проект строящейся ПАТЭС с ЯЭУ судового типа
- 14. К проекту строящейся ПАТЭС с ЯЭУ судового типа
- 15. Реакторная установка с ВВРД
- 16. Энергоисточник подводных буровых установок и комплексов управления нефтегазовых промыслов на арктическом шельфе

предприятий в удаленных регионах, расположенных вне зоны развитых энергосистем, а также для энергоснабжения оборудования нефтегазодобывающих комплексов, работающих на морских арктических месторождениях углеводородных ископаемых, где сосредоточено две трети ресурсного потенциала страны.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОРАБЕЛЬНЫХ ЯЭУ ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ ЦЕЛЕЙ

Усовершенствованные модификации корабельных ЯЭУ с водо-водяными реакторами могут применяться на таких транспортных объектах, как находящиеся в эксплуатации ледоколы и контейнеровозы, а также строящаяся плавучая АЭС. Ядерные энергоблоки нового поколения предназначены для размещения, например, на кораблях малого водоизмещения, глубоководных станциях и аппаратах, в том числе для обеспечения всех видов работ по разработке месторождений полезных ископаемых на дне Мирового океана, а также на объектах малой транспортабельной ядерной энергетики – в качестве энергоисточников для отдаленных районов нашей страны. Для задач освоения арктических шельфов ведется разработка проекта ядерной энергетической установки автономного подводного обитаемого модуля для подводного (подледного) освоения месторождений полезных ископаемых арктических морей.

Интеграция бесценного многолетнего опыта предприятий ЯОК по разработке корабельных РУ для ВМФ в решение задач по освоению Севера России, где расположены предприятия, производящие конкурентоспособную по критериям мирового рынка продукцию, будет способствовать развитию национальной экономики и укреплению обороноспособности и стратегической безопасности нашей страны.

Сложный комплекс научных и производственно-технологических компетенций предприятий атомной отрасли делает Госкорпорацию «Росатом» уникальной структурой оборонно-промышленного комплекса России, обеспечивающей национальную обороноспособность и ядерную безопасность благодаря качественному и высокотехнологичному решению широкого спектра задач, связанных с реализацией политики ядерного сдерживания: разработки, производства, разборки и утилизации ядерного оружия, а также разработки, поставки и фирменного технического обслуживания ядерных энергетических установок различного назначения для объектов ВМФ и Минобороны России, а также для ледокольного флота, плавучих АЭС и автономных энергетических модулей гражданского назначения.