

Э. А. Мустафаев

Аспирант кафедры “Эксплуатация Судового Электрооборудования и Средств Автоматики”
Государственный Морской Университет имени Ф.Ф.Ушакова
г. Новороссийск, Россия

Н.С. Дырдин

Аспирант кафедры “Эксплуатация Судового Электрооборудования и Средств Автоматики”
Государственный Морской Университет имени Ф.Ф.Ушакова
г. Новороссийск, Россия

АТОМНЫЕ РЕАКТОРЫ НА СУДАХ

Аннотация: в данной статье рассматривается, возможность использования ядерных реакторов на судах, особенности их установки и эксплуатации. Также рассматривается рентабельность использования данных установок и оценка рисков с точки зрения безопасности.

Ключевые слова: реактор, атомная энергия, ядерная установка, уран, защитный экран.

Стратегии развития судостроительной промышленности в настоящее время направлены в первую очередь на обладающие повышенной надежностью, экономичностью, безопасностью и живучестью энергетические установки.

Развитие мирового судостроения и эксплуатации судов тесно связано с развитием судовой электроэнергетики.

На современных судах дизель-генераторы и газотурбогенераторы преобразуют в электроэнергию энергию дизельного топлива или керосина, а паротурбогенераторы — энергию нагретого пара, вращающего лопатки паровой турбины. Электрохимические аккумуляторы, применяемые на судах в основном как аварийные источники, преобразуют химическую энергию в электрическую. Перспективные для использования на судах, особенно на

глубоководных аппаратах, электрохимические генераторы преобразуют в электроэнергию энергию топлива и окислителя, например водорода и кислорода. [1]

Но отдельного внимания заслуживают суда с атомной энергетической установкой.

Чтобы разобраться в данном вопросе, нужно иметь представление о ядерной энергии и ядерной энергетике, используемой на флоте.

Ядерная энергия — страшная и одновременно с этим прекрасная сила. При радиоактивном распаде и ядерных реакциях, протекающих в атомах, выделяется колоссальное количество энергии. В современных реалиях, чтобы обеспечить полностью потребности человечества использование ядерной энергии просто необходимо, поскольку альтернативы на данный момент просто нет. Если рассматривать данный вопрос более детально, то можно выявить ряд причин использования ядерной энергии:

К плюсам можно отнести следующие факторы:

- Дешевое воспроизводство получаемой энергии;
- Экологически чистый конечный продукт, при условии правильной работы АЭС;
- Экономия ресурсов таких, как (газ, нефть, уголь);

Однако везде есть и свои минусы.

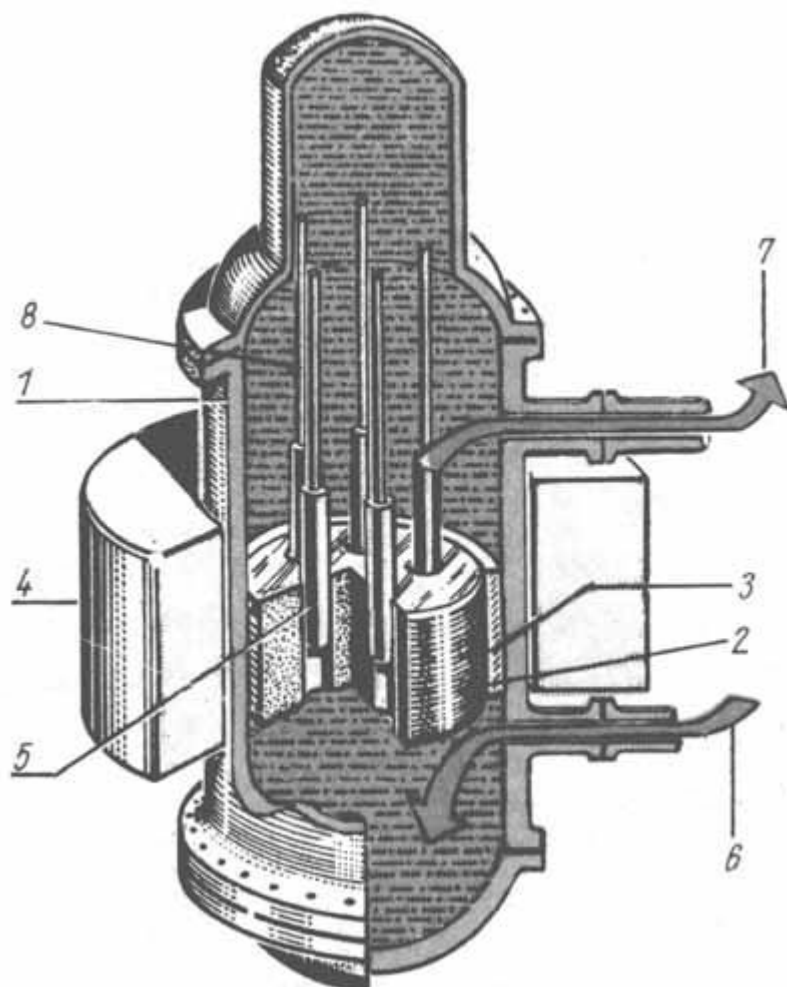
К минусам можно отнести следующее:

- В случае аварии огромный ущерб природе, ярким примером является печально

известная Чернобыльская АЭС, авария на которой стала масштабной катастрофой.

- проблема утилизации радиоактивных отходов [2]

Атомная энергетическая установка – это модификация паротурбинной установки. Реактор, парогенератор и турбинная установка, приводящая в движение судовой движитель относятся к атомной двигательной установке. Реактор - это установка для получения ядерных цепных реакций, во время которых возникает энергия, преобразуемая далее в механическую. В ядерном реакторе созданы такие условия, что число расщеплений ядра за единицу времени является величиной постоянной, т. е. цепная реакция происходит постоянно.



Конструкция и принцип действия ядерного реактора

1 — стальной корпус; 2 — замедлитель; 3 — отражатель; 4 — защита; 5 — тепловыделяющие элементы; 6 — вход теплоносителя; 7 — выход теплоносителя; 8 — регулирующие стержни

Уран или плутоний зачастую используется, как топливо для ядерной установки. Во время реакции распада на фрагменты, данный процесс сопровождается колоссальным выбросом энергии. Графит, бериллий или вода представляют собой своего рода ингибиторы, которые сдерживают энергию нейтронов. Для того чтобы свести к минимуму возможность потери нейтронов, устанавливают отражатель. Он состоит в основном из бериллия или графита. Во избежание слишком сильного потока нейтронов в реакторе на соответствующей глубине устанавливают регулирующие стержни из поглощающих нейтроны материалов (кадмия, бора, индия). Энергообмен в реакторе происходит с помощью теплоносителей, воды, органических жидкостей, сплавов из легкоплавких металлов и т. д. В настоящее время на судах применяют, как правило, реакторы, охлаждаемые водой под давлением. Схема машинного отделения судна с реактором такого типа дана на рисунке ниже.

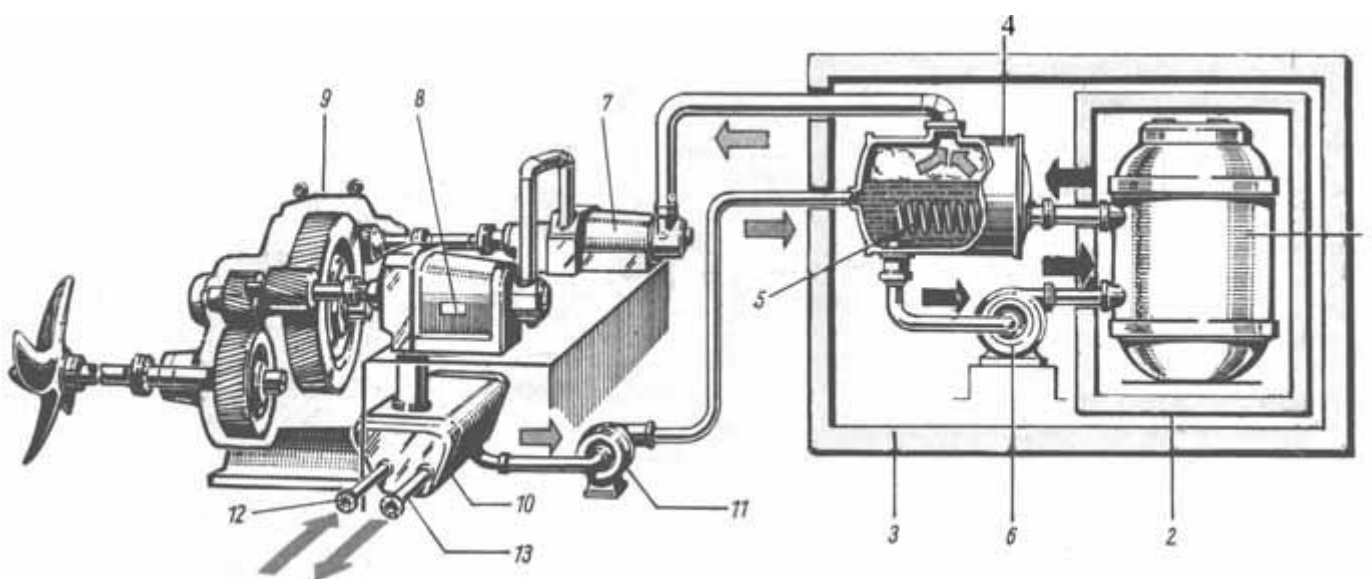


Схема атомной энергетической установки с реактором, охлаждаемым водой под давлением

1 — реактор; 2 — первичная биологическая защита; 3 — вторичная биологическая защита; 4 — парогенератор; 5 — нагревательный змеевик первого контура; 6 — циркуляционный насос первого контура; 7 — турбина высокого давления; 8 — турбина низкого давления; 9 — редуктор; 10 — конденсатор; 11 — насос вторичного контура; 12 — вход морской воды; 13 — выход морской воды

Эта установка состоит из двух контуров циркуляции. Первый контур - циркуляция воды под высоким давлением. Вода первого контура служит одновременно теплоносителем ядерного реактора и имеет давление приблизительно от 5,8 до 9,8 МПа. Она протекает через реактор и нагревается, например на судах «Отто Хан» (ФРГ) и «Мутсу» (Япония), до 278°C. Давление воды служит для исключения испарения. Нагретая вода в первом контуре, проходит через нагревательный змеевик, передает свое тепло парогенератору, после чего она вновь приходит к реактору. Конденсат находящийся во втором контуре подается к парогенератору. Нагретая в парогенераторе вода испаряется. Этот пар с относительно низким давлением (например, на американском судне «Саванна» оно составляет 3,14 МПа) служит для питания турбин, которые через редуктор приводят во вращение гребной винт. Для защиты от воздействия вредного радиоактивного излучения реактор изолируют двойными экранами. Первичный экран представляет собой свинцовые пластины, которые покрыты слоем полиэтилена и бетона. Вторичный экран включает в себя весь первичный контур высокого давления, обычно изготовленный из бетона толщиной 500-1100 мм, свинцовых пластин толщиной 200 мм и полиэтилена 100 мм. Эти защитные экраны являются существенным недостатком такой конструкции, поскольку имеют большие габариты и массу, масса достигает следующих показателей: вес первичного экрана от 500 до 700

тонн, вес вторичного экрана варьируется от 1900 до 2600 тонн. Также несмотря на все защитные меры, есть риск заражения окружающей среды в случае аварии судна или ядерной установки. К неоспоримым преимуществам относятся очень низкий расход топлива и практически неограниченная дальность плавания. [3]

Явным преимуществом ядерных установок является их высокая экономичность, для примера, если брать два судна одинаковых размеров, то за три года расход на судне с ядерной установкой составит 20 кг урана, в то время, как на судне где применяют классическое топливо, расход составит примерно 40 тысяч тонн. Однако несмотря на эти преимущества, данный тип установок не получил широкого применения, а используется в основном на судах военного назначения, боевых кораблях, подводных лодках и на мощных ледоколах.

Атомная энергетическая установка на морском судне

1 — машинное отделение; 2 — контейнер с реактором; 3 — отсек вспомогательных механизмов; 4 — хранилище отработавших ТВЭЛ

В 1955 году, в рамках программы «Мирный атом», президент Эйзенхауэр озвучил планы о создании судна с ядерной силовой установкой (ЯСУ) — концепт-демонстратор перспективных технологий, чье появление ответит на вопрос о целесообразности применения ЯСУ в интересах торгового флота.

Установка на борту ядерного реактора должна была, обеспечить ряд весомых преимуществ: заправка судна осуществлялась бы всего раз в несколько лет, долгое нахождение судна в водах, без потребности захода в порт, единственное, что влияло бы на автономность судна – это запасы продовольствия. По мнению инженеров, ядерная установка должна была сэкономить дополнительное пространство для груза и экипажа, поскольку на судне бы отсутствовали бы топливные цистерны.

Однако и были свои трудности при постройке таких судов, а именно сложности по посещению многих портов, последующая эксплуатация и меры безопасности, а также дороговизна постройки.

Но оказалось на практике, все было иначе. К примеру в марте 1962 года Savannah была спущена на воду. Экспериментальный грузопассажирский атомоход полным водоизмещением 22 тысячи тонн. Экипаж – 124 человека. 60 пассажиро-мест. Единственный ядерный реактор тепловой мощностью 74 МВт обеспечивал экономическую скорость хода 20 узлов (весьма и весьма солидно, даже по современным меркам). Одной зарядки реактора хватало на 300 000 морских миль (полмиллиона километров).

«Саванна» создавалась, как «голубь мира». Супер-корабль, объединивший в себе самые современные достижения науки и техники, должен был познакомить Старый Свет с технологиями «мирного атома» и продемонстрировать безопасность кораблей с ЯСУ (янки работали на перспективу – в будущем это облегчит заход в иностранные порты атомных авианосцев, крейсеров и подлодок).

Поначалу казалось, что результат стоил всех вложений. «Саванна» обладала весьма хорошей мореходностью и рекордной скоростью хода среди остальных грузовых судов тех лет. Ей не требовалась регулярная заправка топливом. Но опытному судовладельцу было достаточно осмотра, чтобы

понять: «Саванна» нерентабельна. В трюмах и на грузовых палубах атомохода вмещалось всего лишь 8500 т груза. Другие суда аналогичных размеров имели в разы большую грузоподъемность. Погрузочные операции усложняли стремительные обводы и удлиненная носовая часть судна. Для этого приходилось привлекать ручной труд, что было причиной задержек в доставке и простоям в портах назначения.

Будет ли экономия топлива, благодаря атомному реактору? На практике, ЯСУ вместе с активной зоной реактора, контурами теплоносителя и сотнями тонн биологической защиты оказалась гораздо крупнее, чем машинное отделение обычного сухогруза (это при том, что полностью отказываться от обычной ГЭУ инженеры не стали. На борту «Саванны» сохранилась пара аварийных дизель-генераторов с запасом топлива). Для управления атомоходом требовался экипаж, в два раза превышающий по составу прошлый. Все это удорожало стоимость эксплуатации и сокращало количество полезного пространства на борту судна. Также, существует разница в затратах на содержание высококлассных специалистов-атомщиков, по сравнению с мотористами и механиками на обычном сухогрузе. Для того чтобы поддерживать непрерывную, нормальную работу реактора, требовалось проводить регулярные проверки. Дабы избежать сбоев и поломок, которые могли нанести непоправимый урон. Наконец, стоимость 32-х тепловыделяющих элементов из диоксида урана (суммарная масса U-235 и U238 – семь тонн) с учетом работ по их замене и последующей утилизации оказались практически равны заправки судна обыкновенным мазутом.

Таким образом стало ясно, что ежегодные эксплуатационные затраты «Саванны» были выше показателей аналогичного по грузоподъемности сухогруза типа «Маринер» на 2 млн. долларов. Это была весьма большая сумма, особенно в ценах полувековой давности.

Наиболее значимые проблемы ожидали «Саванну» по прибытии в Австралию. Атомоход не пустили в австралийские территориальные воды. Такого рода истории произошли у берегов Японии и Новой Зеландии. При

каждом заходе в зарубежный порт долгое время тянулась бюрократическая волокита, так как требовалось предоставить полную информацию о судне, сроках захода в порт, в объеме, достаточном для того, чтобы портовые власти могли принять необходимые для этого меры безопасности. Которыми являлись: отдельный причал с особым режимом допуска, охрана, группы радиационного контроля. На случай возможной аварии, рядом с атомоходом круглосуточно стояли «под парами» несколько буксиров, которые в любой момент готовы были вывести радиоактивную грудю металла за пределы акватории порта.

Случились то, чего больше всего опасались создатели «Саванны». Бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, в совокупности с результатами журналистских расследований на тему последствий радиационного облучения привели к тому, что власти большинства стран крайне неохотно пускали судна с ЯСУ и в свои территориальные воды. В большинстве случаев визит сопровождался акциями протеста со стороны местного населения. В СМИ проникла информация о том, что «Саванна» ежегодно сливает за борт 115 тысяч галлонов технической воды из системы охлаждения реактора. Несмотря на все оправдания специалистов-атомщиков в том, что вода нерадиоактивна и не соприкасается с активной зоной, так, какое-либо коммерческое использование оказалась невозможным.

Правительство ФРГ было заинтересовано американскими разработками в области ядерных технологий. И в 1960 году анонсировало собственный проект экспериментального судна с ЯСУ – рудовоз Otto Hahn («Отто Ган»). Судно было заложено в 1963 году компанией Howaldtswerke-Deutsche Werft в городе Киле. Спуск на воду состоялся в 1964 году. В 1968 году был запущен 38-мегаваттный атомный реактор судна, и начались ходовые испытания. В октябре того же года Отто Ган был сертифицирован как торговое и исследовательское судно. Но немцы стали последователями своих американских коллег. К моменту введения «Отто Ган» в эксплуатацию (1968 год), скандал вокруг гражданских атомоходов уже близился к закату – в наиболее развитых странах началось массовое строительство АЭС и атомных

военных кораблей (подлодок), общественность восприняла Эру Атома, как должное. Но это не спасло атомоход «Отто Ган» от образа нерентабельного судна

Японцы не пустили «Саванну» в свои порты, но пришли к выводам, и, в 1968 году на верфи в Токио был заложен атомный сухогруз «Муцу». Жизненный путь данного судна с самого начала был омрачен множеством неисправностей. Японская общественность запретила проводить испытания у причала. Первый запуск реактора было решено производить в открытом океане. «Муцу» отбуксировали на 800 км от побережья Японии.[4]

Дальнейшие события показали, что общественность была права. Первый запуск реактора обернулся радиационной аварией, так как защита реактора не справилась со своей функцией. Доработка и корректировка в конструкции атомохода продлилась практически 20 лет и завершилась к 1990 году. «Муцу» произвел несколько тестовых выходов в море, однако, в 1995 году реактор был деактивирован и удален, а на смену «Муцу» получил обычную ГЭУ. Советский Союз стал единственным, кто сумел найти правильную нишу для гражданских атомоходов и получить с этих проектов прибыль. В своих расчетах советские инженеры исходили из очевидных фактов. Они определили какие преимущества имеют ядерные силовые установки, а именно:

1. Колоссальная концентрация энергии.
2. Возможность её выделения без участия кислорода

Второе преимущество дает ЯСУ возможность применения на подводном флоте. Высокая концентрация энергии и возможность длительной работы реактора без дозаправки и перезарядки – стала причиной применения технологии при работе в водах Арктики. Именно в полярных широтах лучше всего реализуются преимущества ядерных силовых установок. Поскольку специфика работы ледокольного флота сопряжена с непрерывным режимом на максимальной мощности. Ледоколы длительное время работают вдалеке от портов, а уход с трассы для пополнения запасов топлива чреват значительными убытками. Первым в мире гражданским атомоходом стал ледокол «Ленин»

(1957 год), продемонстрировавший ряд преимуществ по сравнению со своими неатомными «коллегами». В июне 1971 года он стал первым надводным кораблем в истории, кому удалось пройти севернее Новой Земли. (4)

Таким образом исторический опыт показывает, что введение ЯСУ в торговый флот не принесло больших успехов, однако у истоков неудачи, лежит страх к невероятному источнику энергии. Но грамотный подход к плюсам позволил реализовать ей себя в северных широтах и военном флоте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Источники электроэнергии на судне. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.korabel.ru/dictionary/detail/603.html>
2. Преимущества и недостатки ядерной энергии.[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://promvesti.com/preimushhestva-i-nedostatki-yadernoj-energetiki/>
3. Атомная энергетическая установка[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.seaships.ru/atomicenergy.htm>
4. Атомные реакторы на торговых судах[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://masterok.livejournal.com/1335918.html>