

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

В.С. Никитин, В.Н. Половинкин, А.И. Лычаков

**КОРАБЕЛЬНЫЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ:
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Учебное пособие

Архангельск
САФУ
2019

УДК 621.039
ББК 39.455.7
Н62

Рецензент: профессор кафедры «Корабельные энергетические установки (неядерные)» ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Н.Г. Кузнецова» доктор технических наук, профессор **В.В. Барановский**

Никитин, В.С.

Н62 Корабельные энергетические установки: Современное состояние и перспективы развития: учебное пособие / В.С. Никитин, В.Н. Половинкин, А.И. Лычаков; под ред. А.И. Лычакова; Сев. (Арктич.) федер. ун-т. – Архангельск: САФУ, 2019. – 230 с.
ISBN 978-5-261-01375-4

Изложены история создания, современное состояние и перспективы развития корабельных энергетических установок. Большое внимание уделено неядерным энергетическим установкам, анализу их технико-экономических показателей, исследованию достоинств и недостатков. Выполнен системный анализ энергетических установок кораблей основных классов, отражены ТТХ этих кораблей, обоснованы перспективы их дальнейшего развития. Отражены ТТХ современных кораблей, обоснованы оптимальные параметры и требования к основным элементам главных энергетических установок применительно к кораблям и судам различных классов. Рассмотрены конструктивные схемы ЭУ кораблей различных типов и классов, в том числе кораблей на подводных крыльях и на воздушной подушке. При изложении использован метод системного анализа и системного подхода, а также принцип исторической преемственности.

Для студентов, обучающихся по направлениям, связанным с кораблестроением; может быть полезным для специалистов в области военного кораблестроения и создания морской техники гражданского назначения.

УДК621.039
ББК 39.455.7

В пособии использованы фото из открытых Интернет-источников

ISBN 978-5-261-01375-4

© Никитин В.С., Половинкин В.Н.,
Лычаков А.И., 2019
© Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова, 2019



ОТ АВТОРОВ

Развитие корабельных и судовых энергетических установок (КЭУ/СЭУ) сопровождается их усложнением, повышением мощности, увеличением энергонасыщенности помещений, внедрением средств автоматизации и технического диагностирования. У создателей СЭУ и КЭУ это вызывает необходимость образования новых научных направлений, организации новых отраслей и технологий производства, регулярного снабжения информацией об условиях эксплуатации.

У специалистов, которые занимаются эксплуатацией КЭУ (СЭУ), усложняется процесс принятия решений по выбору режимов их работы, планированию технического обслуживания и ремонта. Особенно это проявляется в ситуациях, когда возникают сложные технические задачи, выходящие за рамки эксплуатационных инструкций и руководящих документов (специалистам, эксплуатирующим КЭУ, не всегда понятны замысел проектанта установок и возможности их использования особенно на нестационарных или аварийных режимах).

Процессы проектирования и эксплуатации КЭУ с течением времени все более разобщаются, территориально и методологически отдаляются друг от друга, что неминуемо сказывается на требованиях к подготовке специалистов. При обучении специалистов, занятых в производстве современных КЭУ, в последнее время наметилась и постоянно усиливается тенденция формирования у них более узких специальностей, отвечающих требованиям конкретных технологических операций реального производства.

Корабельная организация в течение длительного времени практически не изменяется и специалист, занятый на корабле обслуживанием КЭУ, должен обладать широким спектром знаний как в области эксплуатации установок, так и в теории их проектирования и постройки (создания). При этом такой специалист, по сути, должен владеть широким спектром знаний, соответствующих нескольким производственным специальностям.

В обязанности инженеров-эксплуатационников входит обеспечение безаварийной работы установки, наладки, ремонта и технического обслуживания машин, механизмов и систем. Для этого требуется грамотно оценивать техническое состояние объекта, соблюдать режимы работы узлов и механизмов, своевременно про-

изводить комплекс профилактических мероприятий и регламентных работ для предотвращения преждевременного износа и отказов в его работе. В случае отказа в работе изделий надо уметь грамотно выявить дефект и организовать ремонт. Решением этих технических вопросов и занимается инженер-эксплуатационник.

В целом такой специалист обеспечивает техническую эксплуатацию и ремонт оборудования, сооружений и устройств, выполнение организационно-технических мероприятий по улучшению работы оборудования, внедрению новых систем контроля и управления, ведение технической документации, правильное хранение оборудования, приборов, запасных частей и материалов. Кроме этого, он принимает участие в составлении плана капитального ремонта оборудования или устройств, составлении заявок на оборудование, запасные части, приборы и материалы, разработке мероприятий по механизации работ, составлении производственных инструкций по эксплуатации оборудования и устройств. Разрабатывает графики планово-предупредительного ремонта обслуживаемого оборудования. Организует пусконаладочные работы, контролирует их качество, оформляет приемо-сдаточную документацию. Принимает участие в приемке из ремонта и монтажа соответствующего оборудования или устройств, расследовании аварий и повреждений оборудования, рассмотрении и согласовании проектных заданий строящихся или расширяемых объектов. Контролирует соблюдение подчиненным персоналом правил по охране труда и пожарной безопасности.

Сложность подготовки специалиста-эксплуатационника усугубляется постоянным расширением учебного материала при неизменных сроках обучения и постепенным объединением теории и практики различных типов КЭУ. Дополнение учебных программ отрывками из программ специалистов по производству перенасыщает их и приводит к потере глубины изучения свойственных ему учебных дисциплин. Поэтому для инженера-эксплуатационника необходимо изменение методологии преподавания. Особенно это важно для специалистов высшего звена управления эксплуатацией КЭУ, которые осуществляют основную связь со специалистами ремонтных и строительных производств, анализируют и обобщают опыт эксплуатации КЭУ, и не только обеспечивают и контролируют выполнение инструкций, но и выполняют работы по их своевременному исправлению, корректировке и утверждению. Для этой категории специалистов исключительно важны творческий подход, исключение шаблонных решений и достаточно широкий инженерный кругозор.

В рамках дисциплины «Судовые энергетические установки» в первую очередь требуется:

1. Усиление общенаучной основы изучения КЭУ (СЭУ), что обеспечивает понимание физических явлений и процессов, связанных с их эксплуатацией, достаточное для равнозначного взаимодействия с проектантами, особенно при анализе отказов.
2. Внедрение элементов психологической подготовки к внезапным отказам. Отдаление объекта управления от человека (компьютеры, видеотехника, сигнализация и т.д.) расхолаживает операторов, которые становятся заложниками техники.

3. Совершенствование навыков самостоятельной работы и расширение инженерного кругозора. Самостоятельная работа, как правило, наиболее эффективна по времени. Она является единственным способом для специалистов в области управления эксплуатацией КЭУ расширить инженерный кругозор и освоить новую технику.

Подготовка специалиста – кораблестроителя не должна заканчиваться с окончанием ВУЗа. В связи с быстрым развитием техники и технологий специалист должен постоянно повышать свой уровень, в том числе через систему переподготовки и повышения квалификации.

В разработанном учебном пособии сделана попытка представить единую теоретическую базу для обеспечения процессов проектирования и эксплуатации всех типов КЭУ. Большое внимание уделено как историческим аспектам создания КЭУ, так и анализу их современного состояния, а также перспективам развития. В меньшей степени в пособии представлены вопросы теории рабочих процессов различных типов энергетических установок.

ВВЕДЕНИЕ

В начале прошлого века произошли большие научно-технические сдвиги в корабельной технике. На кораблях стали применять турбоагрегаты, ДВС – дизели и бензомоторы; паровые водотрубные котлы усовершенствованной конструкции на смешанном угольно-нефтяном и чисто нефтяном топливе. В дальнейшем резко возросли мощности энергетических установок при одновременном повышении их экономичности, результатом чего стали более высокие скорости кораблей и дальность плавания. Были сделаны первые шаги по применению на кораблях переменного электрического тока, что дало новый толчок развитию корабельных энергетических установок.

В течение XX в. происходило дальнейшее совершенствование судовых энергетических установок по следующим направлениям:

- увеличение агрегатной мощности;
- повышение энергонапряженности с целью снижения массогабаритных показателей;
- снижение удельных расходов используемого топлива;
- повышение ресурса;
- снижение виброактивности;
- создание новых перспективных и экспериментальных видов корабельных установок.

К 1970 г. завершился период освоения газотурбинных установок (ГТУ) первого и второго поколений. В газотурбинных двигателях (ГТД) была освоена температура газа в пределах 820...870 °С, достигнута степень повышения давления – 12. В 1971–1973 гг. осуществлен переход на новые параметры в цикле: по температуре газа – до 1000...1100 °С, степени повышения давления – до 17. Был обоснован и принят унифицированный мощностной ряд высокотемпературных газотурбинных двигателей: 5000; 10000...12000; 20000; 24000 л. с.*

С появлением высокотемпературных двигателей возникла идея утилизации тепла отработавших газов для повышения экономичности установки путем применения утилизационного контура.

Отечественные дизельные установки обеспечивались двигателями унифицированного ряда:

- средней удельной массы 5...7 кг/л. с. в диапазоне мощностей от 1500 до 8000 л. с. на базе машин Коломенского завода и завода «Русский дизель»;

*1 л.с. = 0,735 кВт.

- легких быстроходных дизелей мощностью от 1000 до 10000 л. с. на базе машин завода «Звезда»;
- легких быстроходных дизелей в маломощном исполнении мощностью от 600 до 2500 л. с.

Была создана и испытана дизель-газотурбинная установка, в которой осуществлен общий привод на гребной винт газовой турбины номинальной мощностью 10000 л. с. и дизель-редукторного агрегата с гидротрансформаторами мощностью 5000 л. с. Создание такой установки определило новое направление в отечественной корабельной энергетике.

Проводились работы и в области совершенствования корабельных котлотурбинных энергетических установок (КТЭУ). Были созданы высоконапорные котлы с газотурбинным наддувом, позволяющие существенно снизить массогабаритные показатели и улучшить маневренные качества КТЭУ. Эти котлы изготавливались большой серией и в настоящее время применяются на всех кораблях Российского военно-морского флота с котлотурбинной энергетической установкой. В начале 70-х годов была возрождена идея создания прямоточных паровых котлов.

К концу 40–началу 50-х гг. прошлого века в СССР специально созданными НИИ и лабораториями были завершены фундаментальные научные исследования в области ядерной физики. Результаты исследований позволили перейти к решению научно-технических проблем, обеспечивающих, в свою очередь, начало разработок и реализацию конкретных проектов атомных энергетических установок. Общее руководство всеми работами по атомной энергетике осуществляли академики И.В. Курчатов и А.П. Александров. Всё в области корабельной атомной энергетике было настолько новым, что потребовало решения целого комплекса принципиальных научно-технических задач. В частности, было необходимо: выбрать тип и количество ядерных реакторов; определить материалы, форму тепловыделяющих элементов, тип теплоносителей для съема тепла в активной зоне и конструктивные решения, обеспечивающие его подвод и отвод; определить оптимальные параметры рабочего тела контуров и способы циркуляции теплоносителя; разработать принципы и системы управления и защиты реактора, компоновочные схемы биологической защиты, а также решить множество других задач по разработке первой корабельной атомной ЭУ. В результате проработок были созданы установки с различными типами теплоносителей, парогенераторов, реакторов и их наземные экспериментальные прототипы. Отечественная атомная наука и техника развивалась совершенно самостоятельно и во многом опередила уровень зарубежных разработок, что послужило становлению и развитию корабельной атомной энергетике и полностью обеспечило потребности кораблестроения в разработке, создании и поставках на корабли атомных энергетических установок, соответствующих предъявленным им высоким требованиям.

К концу XX в. были созданы надежные ядерные энергетические установки, был произведен переход на блочную компоновку ППУ и ПТУ. В результате проведенных исследований были увеличены энергозапасы активных зон, совершенствовалась биологическая защита реакторов. Были проведены работы по использованию новых высокотемпературных теплоносителей.

Мощностные диапазоны применения и КПД различных типов энергоустановок, а также типы главных энергетических установок (ГЭУ) на кораблях ВМФ РФ и ВМС зарубежных государств отражены на рис. 1 и 2.

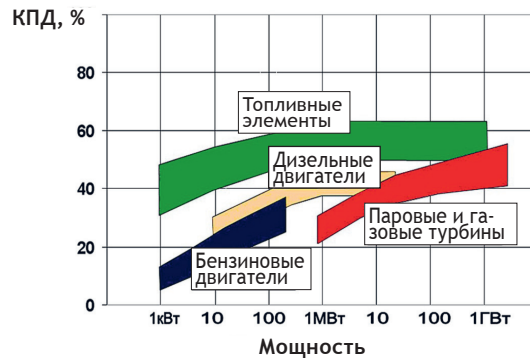


Рис. 1. Область применения различных типов энергоустановок

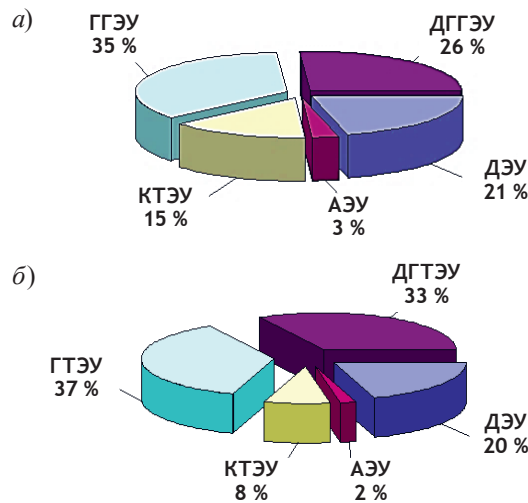


Рис. 2. Типы энергетических установок кораблей:
а – Российского ВМФ; б – иностранных ВМС

В перспективе нужно проектировать и строить все типы энергетических установок. Так, корабли водоизмещением от 100 до 1500 т будут преимущественно комплектоваться ДЭУ. Катера водоизмещением до 500 т, корабли малого и среднего водоизмещения до 3000 т – дизельными (ДЭУ), газотурбинными (ГГЭУ), а также комбинированными ДГГЭУ и ГГГЭУ. Таким образом, в перспективе до 2030 г. на боевых катерах и кораблях водоизмещением до 3000 т будут применяться либо дизельные (в составе от 2 до 4 высоко- или среднеоборотных дизелей), либо комбинированные дизель-газотурбинные ЭУ (в составе 1–2 ВОД или СОД и 1–2 ГГД) как компромисс между экономичностью одних и высокой удельной мощностью при минимальной массе других. На надводные корабли большого водоизмещения (фрегаты, эсминцы, крейсера, авианосцы) водоизмещением от 3000 до 40000 т будут устанавливаться газотурбинные (ГГЭУ) и комбинированные газо-газотурбинные ЭУ (ГГГЭУ) различных конструкций, на кораблях водоизмещением до 100000 т – ЯЭУ и КТЭУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе изложенного выше можно утверждать:

1. Достижения зарубежной науки и техники последнего десятилетия позволяют создавать корабельную энергетическую установку нового поколения – ОЭЭС, символизирующую переход на новый этап развития корабельной энергетики. Такая КЭУ, по сравнению с существующими, уже на начальной стадии развития обладает меньшими массогабаритными характеристиками, более высокой надежностью, живучестью и экономичностью, низким уровнем акустического и теплового полей и высокой степенью автоматизации. Внедрение в производство перспективных технологий позволит и дальше качественно улучшать ее параметры, повышая тем самым энергооснащенность и энергонасыщенность боевых кораблей будущего.

2. Принцип распределенного контроля и управления, используемый в автоматизированной системе управления и контроля ОЭЭС, позволяет резко снизить потребности в управлении со стороны личного состава, исключает необходимость несения вахты у работающих механизмов непосредственно в машинном отделении.

3. Эволюция корабельной энергетики определяющим образом сказывается и на техническом облике кораблей. Внедрением на кораблях объединенной электроэнергетической системы нового поколения предусматривается обеспечить не только значительное улучшение ТТХ и технико-экономических показателей КЭУ, но и возможность применения на них оружия высокой энергии направленного действия (электромагнитной пушки, лазерного оружия), новых радиолокационных станций и электромагнитных катапульт на авианосцах.

4. Для создания ОЭЭС перспективных кораблей ведущими зарубежными энергомашиностроительными компаниями разработаны перспективные газотурбинные двигатели типа WR-21 и MT30, на сегодняшний день являющиеся лучшими образцами корабельной энергетики по технико-экономическим показателям.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов	3
Введение.....	6
1. Отечественные котлотурбинные энергетические установки	9
1.1. Общие сведения об энергетических установках.....	9
1.2. История развития котлотурбинных энергетических установок	17
1.3. Судовое турбиностроение	32
1.4. Перспективы разработки котлотурбинных энергетических установок ..	44
Список использованной литературы	47
2. Корабельные дизельные энергетические установки	48
2.1. Общие сведения	48
2.2. Отечественное дизелестроение	50
2.3. Зарубежное дизелестроение.....	73
Список использованной литературы	74
3. Газотурбинные энергетические установки	75
3.1. Общие положения	75
3.2. Отечественные газотурбинные установки надводных кораблей	76
3.3. Судовые отечественные газотурбинные установки.....	109
3.4. Зарубежные газотурбинные установки	115
Список использованной литературы	126
4. Ядерные энергетические установки	127
4.1. Общие сведения	127
4.2. Судовые ядерные энергетические установки	129
4.3. Отечественные судовые ядерные энергетические установки.....	149
4.4. Отечественные корабельные ядерные энергетические установки.....	160
4.5. Судовые ядерные энергетические установки зарубежных государств ..	169
4.6. Корабельные ядерные энергетические установки зарубежных госу- дарств.....	177
4.7. Перспективные направления развития корабельных энергетических установок.....	198
Список использованной литературы	202
5. Перспективные направления развития корабельных ЭУ иностран- ных государств	204
Список использованной литературы	227
Заключение	229