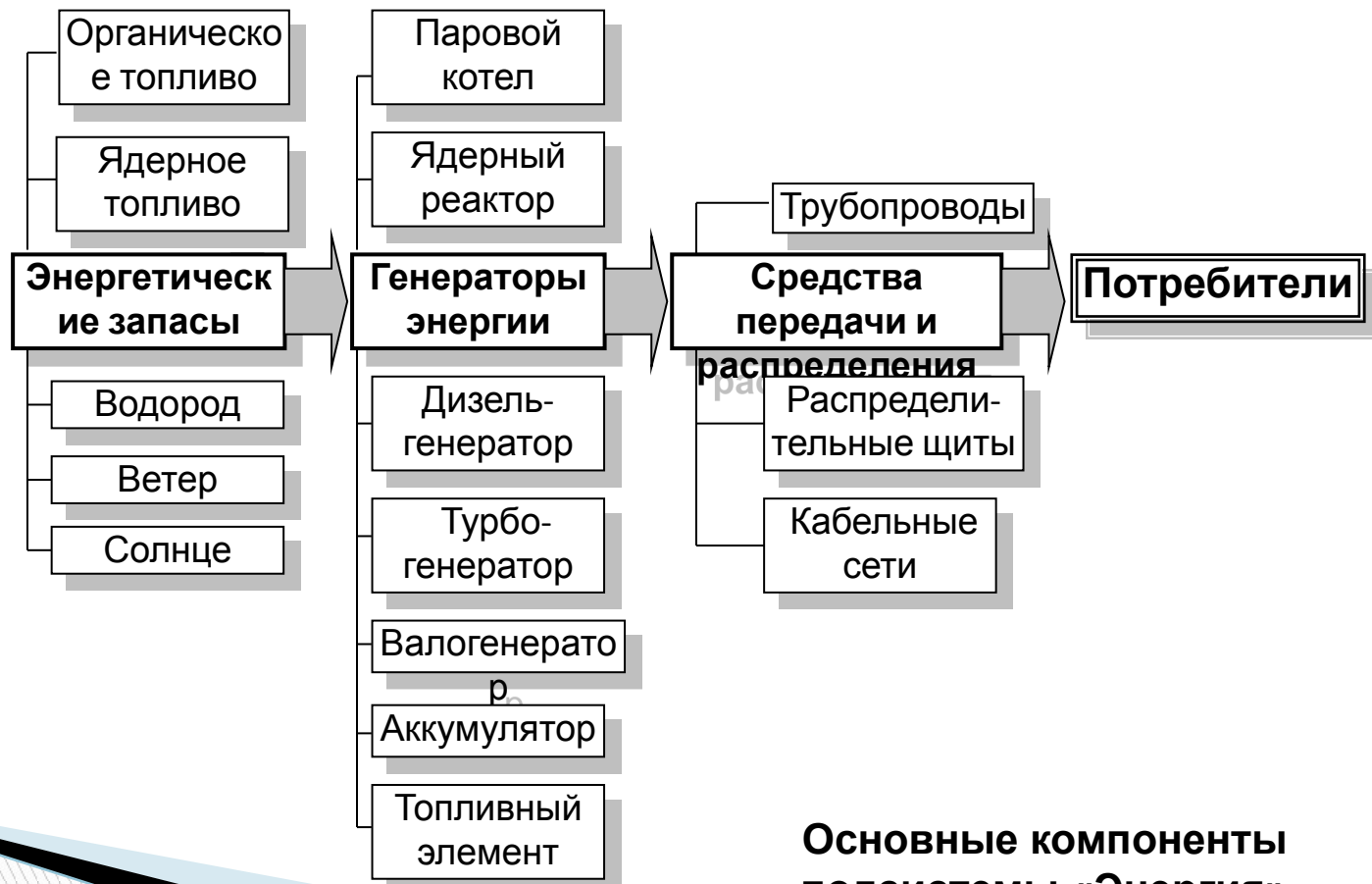


Подсистемы системы «Корабль»

Подсистема «Энергия»

На современном корабле используются потребители различных видов энергии. Основными видами потребляемой энергии являются тепловая и электрическая. Обеспечение потребителей всеми видами энергии — задача рассматриваемой подсистемы.



Основные компоненты подсистемы «Энергия»

К подсистеме «Энергия» могут быть предъявлены следующие требования:

- обеспечение надежной работы в нормальном и аварийном режимах судна для предоставления бесперебойного питания всем судовым потребителям;
- обеспечение качественной электроэнергии — стабильные характеристики тока (напряжение и частота);
- обеспечение стабильных параметров тепловой энергии (температура);
- обеспечение экономичной работы подсистемы «Энергия» в целом;
- обеспечение безопасной работы обслуживающего персонала.

В последние годы разрабатывается концепция «единого энергетического пространства» корабля на базе электрической энергии.

Использование электродвижения для крупных гражданских судов и боевых кораблей позволяет генерировать оптимальное количество энергии и гибко перераспределять энергетические потоки в зависимости от эксплуатационных режимов. Такое управление генерирующими мощностями и распределением электроэнергии позволяет значительно повысить экономичность системы «Корабль».

При использовании ядерной установки в качестве источника энергии возможен избыток тепла. В этом случае как можно большее число судовых потребителей переводят на тепловую энергию для ее максимальной утилизации. Примером «теплового энергетического пространства» является французский авианосец «Charles de Gaulle».



Французский авианосец «Charles de Gaulle»

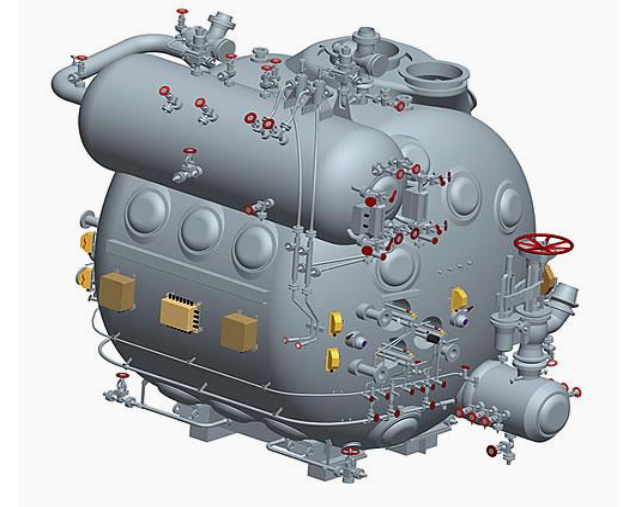
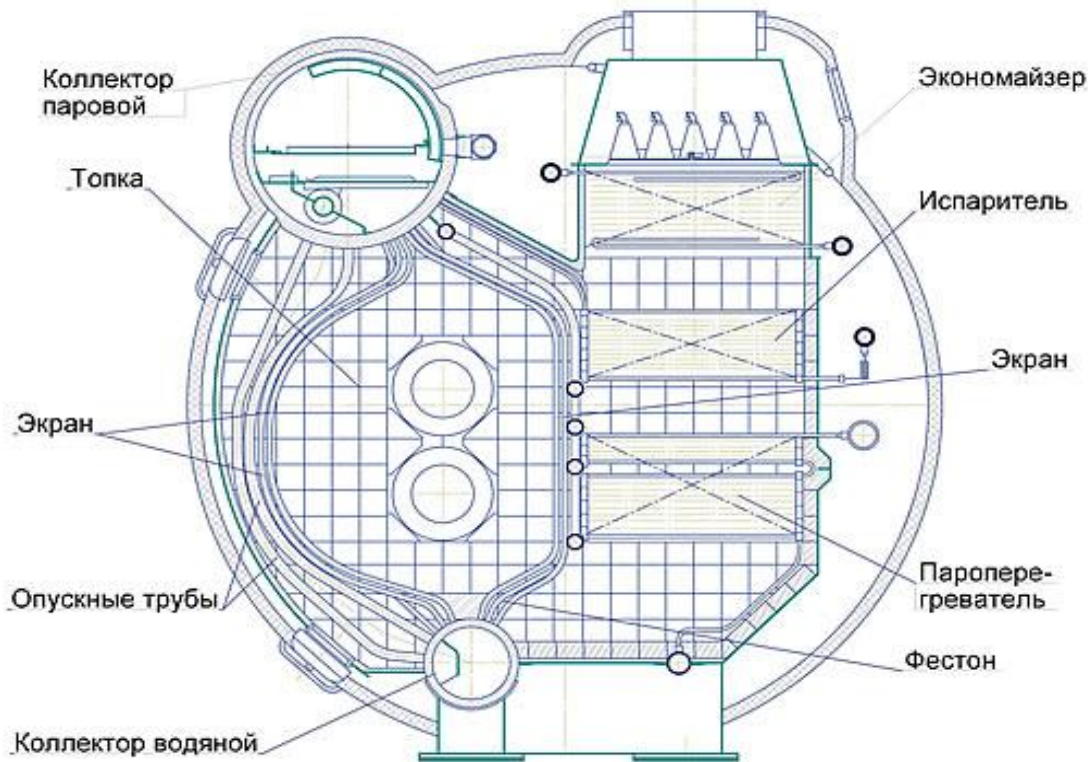
КОРАБЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЭНЕРГИИ

1. Генераторы тепловой энергии

Генераторами тепловой энергии на корабле являются паровые котлы (котельные установки) или ядерные реакторы.

Котельные установки (КУ) делятся на:

- **главные;**
- **вспомогательные;**
- **утилизационные.**

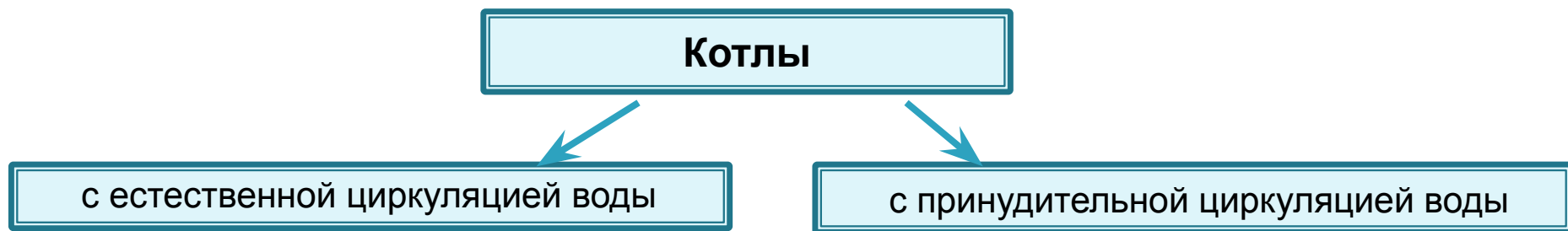


**Схема и внешний вид
главного котла типа КВГ-6М**

Главные паровые котлы обеспечивают работу главных паровых двигателей, а на ходовом режиме — всех потребителей тепловой энергии.

Главные судовые паровые котлы должны обладать высокой степенью надежности в работе, выдерживая быстрое изменение режима работы, а для обеспечения форсированного хода судна временно увеличивать паропроизводительность сверх нормального количества.

На судах в качестве главных паровых котлов применяют в большинстве случаев водотрубные котлы. Поверхность нагрева водотрубных котлов составляют трубы, заполненные водой и омываемые снаружи горячими газами, получаемыми в результате горения топлива. В отличие от труб водотрубных котлов трубы огнетрубных котлов, наоборот, омываются горячими газами изнутри, а снаружи находится вода, подлежащая испарению. На судах находят применение также и комбинированные котлы, по своей конструкции близкие к огнетрубным, но имеющие элементы и водотрубных котлов.



Прямоточными котлами называются такие, у которых при принудительной циркуляции воды она за один раз прохождения по трубкам полностью превращается в пар.

Суда неограниченного района плавания с паротурбинными установками (ПТУ) комплектуются не менее чем двумя главными котлами. В ПТУ высокого давления с промежуточным перегревом пара используется блочная схема котел-турбина. В современных судовых ПТУ применяются котлы с повышенным давлением пара 4,0...6,0 МПа, температурой пара 460...480 °С и высоким давлением пара 8...9 МПа при температуре 510...525 °С, с естественной циркуляцией и имеющие КПД 91...96 %.

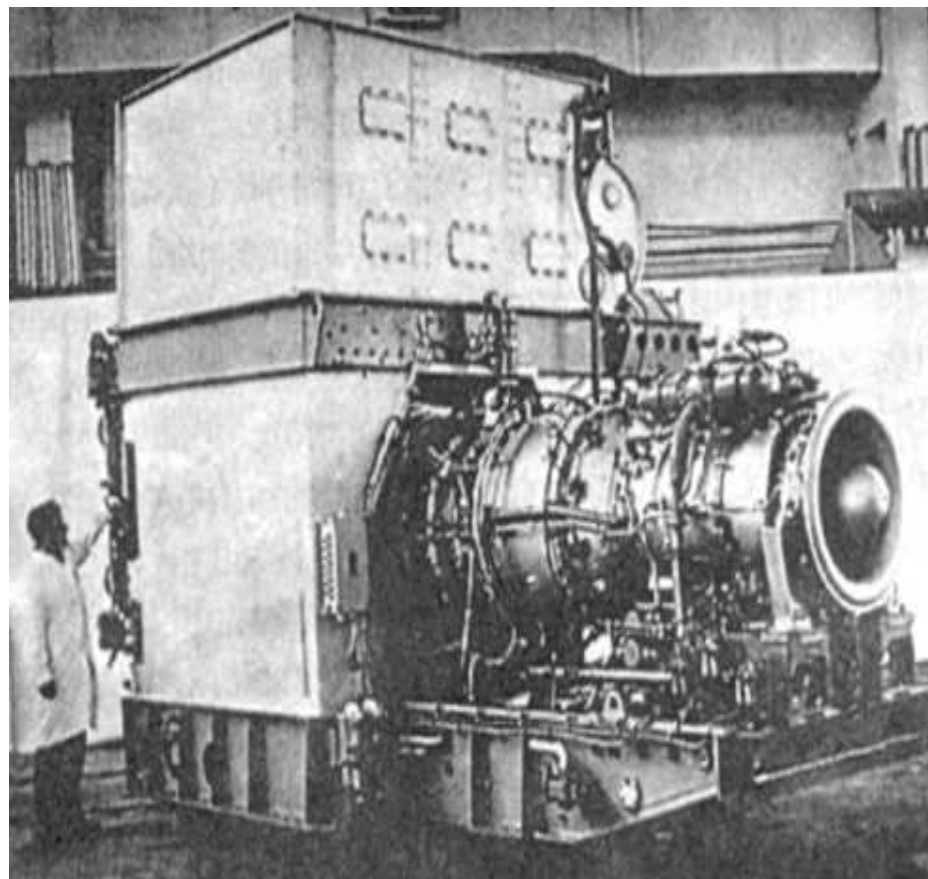
Поскольку котлотурбинные установки в гражданском флоте вытеснены дизелями, а на военных кораблях они заменяются газотурбинными и комбинированными, главные котлы сохраняются как резервные на судах и кораблях с ядерной энергетической установкой.

Вспомогательные паровые котлы предназначены для выработки пара, потребляемого вспомогательными механизмами, аппаратами и устройствами дизельных и газотурбинных установок, для обеспечения хозяйственно-бытовых и общекорабельных нужд. Для пропульсивных комплексов, основанных на паротурбинных установках, вспомогательные котлы играют роль резервных, кроме того, они обеспечивают паром потребителей на стояночных режимах.

Утилизационные паровые котлы

предназначены для выработки пара за счет утилизации теплоты выпускных газов дизельных и газотурбинных двигателей.

Пар, вырабатываемый утилизационными котлами, может использоваться на общесудовые нужды (отопление, хозяйственно-бытовые нужды, подогрев перевозимых нефтепродуктов и т. д.), для выработки электроэнергии, а также для привода дополнительной паровой турбины, работающей на один вал с главным двигателем.



Главный газотурбинный агрегат с теплоутилизационным контуром пр. 1164

Помимо паровых котлов для генерации тепловой энергии на кораблях и судах используются ядерные реакторы.

Основные преимущества атомной энергетической установки (ЯЭУ):

- ✓ ЯЭУ не нуждаются в подводе к ним воздуха и постоянном отводе наружу больших количеств отработанных газов. Для надводных кораблей это свойство дает возможность улучшить их конструкцию и эксплуатацию. Отпадает необходимость в дымовой трубе, шахтах котельной вентиляции; палубы не подвергаются задымлению; появляется возможность длительной герметизации обитаемых помещений;
- ✓ увеличение во много раз автономности и дальности плавания кораблей с ЯЭУ по сравнению с обычными кораблями;
- ✓ ЯЭУ отличаются постоянной готовностью к действию, высокой маневренностью, удобством обслуживания;
- ✓ использование атомных реакторов в качестве основного источника энергии корабельных энергетических установок способствует повышению их термодинамической экономичности. Достаточно отметить, что в ЯЭУ отсутствует потеря тепла с уходящими газами, составляющая в современных установках 7–30 %.

К основным недостаткам ЯЭУ можно отнести следующее:

- ✓ большая сложность и стоимость эксплуатации и ремонта, необходимость иметь большее количество эксплуатационного персонала высокой квалификации (с учетом персонала службы радиационной безопасности);
- ✓ большая стоимость оборудования установки (при одинаковой мощности);
- ✓ большой вес установки (при одинаковой мощности), обусловленный необходимостью иметь конструктивную биологическую защиту от радиоактивных излучений реакторной установки.
- ✓ необходимость специальных технических средств и сооружений для удаления и захоронения радиоактивных отходов.

Ядерная энергетическая установка (ЯЭУ) атомного судна состоит из одной или двух автономных атомных паро-производящих установок (АППУ), паротурбинной (ПТУ) и гребной электрической установок (ГЭУ), двух судовых электростанций, вспомогательных механизмов, обслуживающих систем, судовых устройств и оборудования.

К специальным требованиям, которым, кроме общих для всех судовых энергетических установок, должны удовлетворять судовые ЯЭУ, относятся:

- полная радиационная безопасность для людей, находящихся на судне и вблизи его;
- исключение радиоактивного заражения акваторий и береговой территории при стоянках атомного судна в портах и базах, а также водных пространств во время плавания судна;
- простота и удобство выполнения операций перезарядки реакторов ядерным топливом.

Комплекс конструктивной биологической защиты реактора обычно условно разделяют на две части: **тепловую защиту и собственно биологическую защиту**.

Тепловая защита имеет целью резко снизить интенсивность излучения быстрых нейтронов и первичного излучения активной зоны. Поэтому она располагается непосредственно за активной зоной или за отражателем (при наличии его). Корпус реактора также является элементом тепловой защиты.

Собственно биологическая защита имеет целью последующее ослабление излучения до уровня, безопасного для обслуживающего персонала.

Типы АППУ

С 1959 года на атомных судах эксплуатировались 5 типов атомных паропроизводящих установок: ОК-150, ОК-900, ОК-900А, КЛТ-40 и КЛТ-40М.

Типы АППУ, эксплуатируемые на атомных судах

Тип АППУ, название судна	ОК-150 «Ленин» (до 1966г.)	ОК-900 «Ленин»	ОК-900А «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Сов. Союз», «Ямал», «50-лет Победы»	КЛТ-40 «Севморпуть»	КЛТ-40М «Таймыр» «Вайгач»
Номинальная мощность реактора, ВМт	3x90	2x159	2x171	1x135	1x171
Номинальная паро- производитель- ность, т/ч	3x120	2x220	2x240	215	240
Мощность на винтах, л/с	44 000	44 000	75 000	40 000	50 000

Устройство

Компоновка всех установок - блочная. Каждый блок включает в себя реактор водородного типа (т.е. вода является и теплоносителем, и замедлителем нейтронов), четыре циркуляционных насоса и четыре парогенератора, компенсаторы объема, ионообменный фильтр с холодильником и другое оборудование. Реактор, насосы и парогенераторы имеют отдельные корпуса и соединены друг с другом короткими патрубками типа «труба в трубе». Все оборудование расположено вертикально в кессонах бака железобетонной защиты и закрыто малогабаритными блоками защиты, что обеспечивает легкую доступность при ремонтных работах.

Реактор

Ядерный реактор - это техническая установка, в которой осуществляется управляемая цепная реакция деления ядер тяжелых элементов с освобождением ядерной энергии. Реактор состоит из активной зоны и отражателя. Активная зона содержит ядерное топливо в защитном покрытии (тепловыделяющие элементы - ТВЭЛы) и замедлитель. ТВЭЛы, имеющие вид тонких стержней, собраны в пучки и заключены в чехлы. Такие конструкции называются тепловыделяющими сборками (ТВС). Активная зона реактора состоит из 241 ТВС.

Корпус реактора с эллиптическим днищем изготовлен из низколегированной теплостойкой стали с антикоррозийной наплавкой на внутренних поверхностях.

Принцип действия АППУ

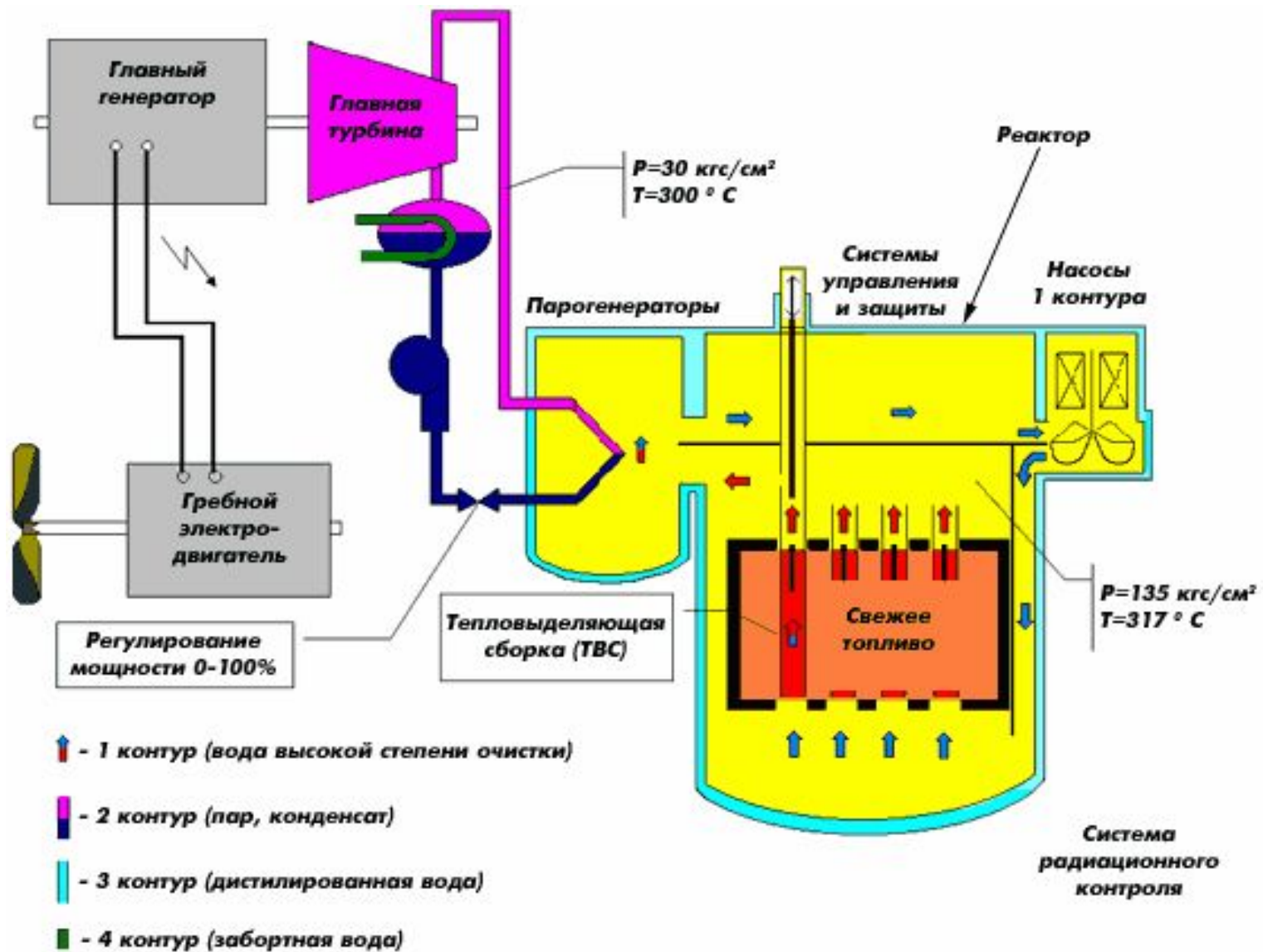
Тепловая схема ППУ (паро-производящих установок) атомного судна состоит из 4-х контуров.

Через активную зону реактора прокачивается теплоноситель I контура (вода высокой степени очистки). Вода нагревается до 317 градусов, но не превращается в пар, поскольку находится под давлением. Из реактора теплоноситель I контура поступает в парогенератор, омывая трубы, внутри которых протекает вода II контура, превращающаяся в перегретый пар. Далее теплоноситель I контура циркуляционным насосом снова подается в реактор.

Из парогенератора перегретый пар (теплоноситель II контура) поступает на главные турбины. Параметры пара перед турбиной: давление - 30 кгс/см² (2,9 МПа), температура - 300 °С. Затем пар конденсируется, вода проходит систему ионообменной очистки и снова поступает в парогенератор.

III контур предназначен для охлаждения оборудования АППУ, в качестве теплоносителя используется вода высокой чистоты (дистиллят). Теплоноситель III контура имеет незначительную радиоактивность.

IV контур служит для охлаждения воды в системе III контура, в качестве теплоносителя используется морская вода. Также IV контур используется для охлаждения пара II контура при разводке и расхолаживании установки.



Принцип действия АППУ

Безопасность

АППУ выполнена и размещена на судне таким образом, чтобы обеспечить защиту экипажа и населения от облучения, а окружающую среду - от загрязнения радиоактивными веществами в пределах допустимых безопасных норм как при нормальной эксплуатации, так и при авариях установки и судна за счет. С этой целью на возможных путях выхода радиоактивных веществ созданы четыре защитных барьера между ядерным топливом и окружающей средой:

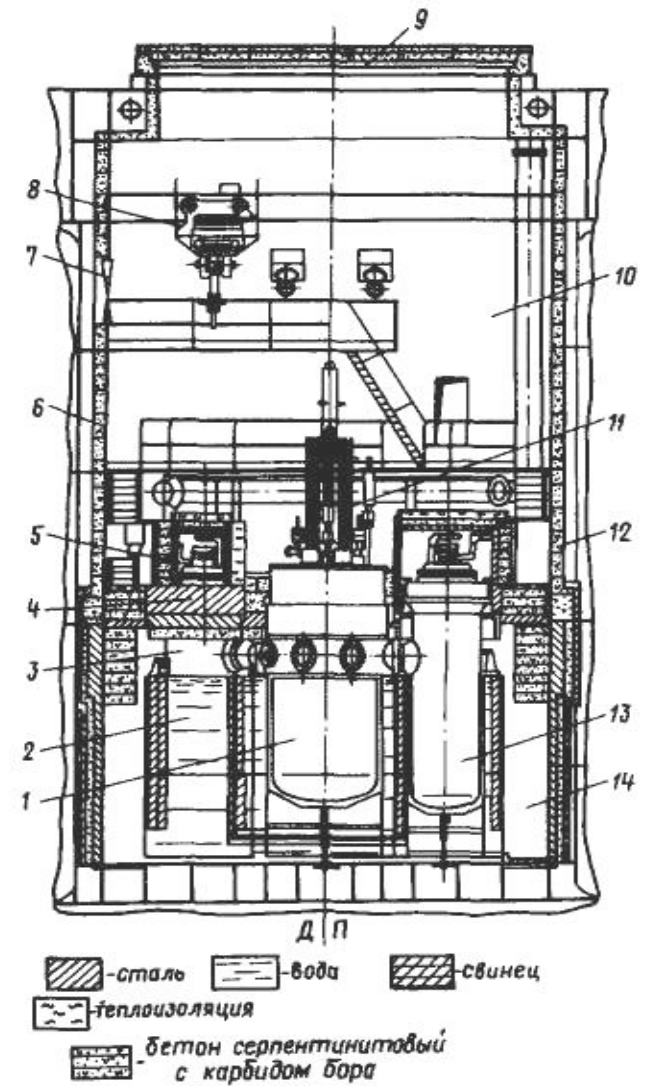
первый - оболочки топливных элементов активной зоны реактора;

второй - прочные стенки оборудования и трубопроводов первого контура;

третий - защитная оболочка реакторной установки;

четвертый - защитное ограждение, границами которого являются продольные и поперечные переборки, второе дно и настил верхней палубы в районе реакторного отсека.

Безопасность АППУ обеспечена устройствами и системами нормальной эксплуатации и системами безопасности, предназначенными для надежного выключения реактора, отвода тепла от активной зоны и ограничения последствий возможных аварий.



Размещение АППУ в защитной оболочке лихтеровоза-контейнеровоза «Севморпуть»

Генераторы электроэнергии

Генерация электроэнергии на борту корабля в настоящее время является актуальной проблемой.

В гражданском судостроении коэффициент электровооруженности судна, т. е. отношение установленной мощности электростанции к грузоподъемности судна, повысился с нескольких сотен Вт/т до 1 кВт/т. Стоимость электрооборудования современного судна составляет около 25 % стоимости всего судового оборудования, а для судов с электродвижением этот коэффициент достигает 60 %. В среднем стоимость электрооборудования гражданского судна составляет 9–22 % общей стоимости судна.

Судовые электростанции, предназначенные для генерирования и распределения электроэнергии, могут быть классифицированы по следующим признакам:

1. **По назначению** электростанции подразделяются на основные, аварийные и специальные.
2. **По роду тока** судовые электростанции разделяются на электростанции постоянного и переменного тока. Преобладающее большинство судовых электростанций выполняется на переменном токе с использованием трехфазных синхронных генераторов. Это объясняется большей надежностью машин переменного тока, особенно электродвигателей, простотой схем управления и обслуживания.
3. **По типу первичных двигателей** генераторных агрегатов судовые электростанции в основном разделяются на электростанции с дизель-генераторами и турбогенераторами. В последнее время находят применение также газотурбогенераторы. Если отбор мощности осуществляется от главных двигателей, то говорят о валогенераторе.
4. **По способу управления** различают неавтоматизированные, полуавтоматизированные и автоматизированные электростанции.

Электростанции подразделяются на:

Основная электростанция предназначена для обеспечения электроэнергией всех судовых потребителей.

Аварийная электростанция, обычно в виде одного дизель-генератора, питает сети освещения, сигнализации, радиостанции и некоторые другие системы в случае выхода из строя основной электростанции. Аварийные электростанции устанавливаются в помещениях, расположенных выше палубы переборок с непосредственным выходом на открытую палубу. Генераторные агрегаты аварийных электростанций обычно запускаются автоматически. Пусковым импульсом является недопустимое понижение или исчезновение напряжения на шинах главного распределительного щита (ГРЩ). Время запуска и принятие нагрузки не должно превышать 10 с.

Для небольших судов в качестве аварийной электростанции может быть использована аккумуляторная батарея.

Специальные электростанции предназначены для питания каких-либо специальных потребителей.

Наиболее распространены дизель-генераторные (ДГ) судовые электростанции. В качестве первичных двигателей используются средне- и высокооборотные дизели.

Паротурбогенераторы (ПТГ) как источники тока используются на судах с атомными энергетическими установками, паротурбинными, газотурбинными и дизельными пропульсивными комплексами.

На судах с ЯЭУ и паровыми турбинами паровые турбогенераторы питаются паром от главных паровых магистралей на ходовых режимах, а от вспомогательных котлов на стояночных режимах. На судах с дизельным и газотурбинным пропульсивными комплексами паровые турбогенераторы используются в составе утилизационных установок и, как правило, питаются паром от утилизационных или комбинированных котлов.

Основные преимущества ПТГ перед ДГ заключаются в большем ресурсе работы (до 100 тыс. ч), меньших затратах на ремонт и меньших расходах масла. ПТГ обладают повышенной надежностью по сравнению с ДГ.

К их недостаткам следует отнести: значительное время, необходимое для подготовки и пуска ПТГ (25...50 мин); длительное время остановки (15...30 мин); повышенные требования к квалификации обслуживающего персонала и ремонтных бригад.



**Главные ПТГ атомного ледокола
«Ямал»**

**Каждая из главных турбин обслуживает
3 генератора постоянного тока**

Газотурбогенераторы (ГТГ) имеют большую шумность и меньшую экономичность, чем ДГ и ПТГ, однако их отличают лучшие весогабаритные показатели.

Газотурбогенератор ГТГ-100К специального назначения используется в энергетических установках десантных кораблей на воздушной подушке в качестве автономного источника энергии.

К недостаткам ГТГ следует отнести плохую работу на тяжелых сортах топлива и сильное влияние тяжелого топлива на ресурс газовой турбины.



Газотурбогенератор ГТГ-100К

Валогенераторы (ВГ). Использование на судах валогенераторов целесообразно по нескольким причинам: возможности стабилизации нагрузки двигателей при переменной нагрузке электрической сети, а также специфических режимов работы главных двигателей с недогрузкой для некоторых типов судов (рыболовные траулеры, буксиры, суда ледового плавания). Наиболее широко валогенераторы применяются в ДУ рыболовных траулеров.



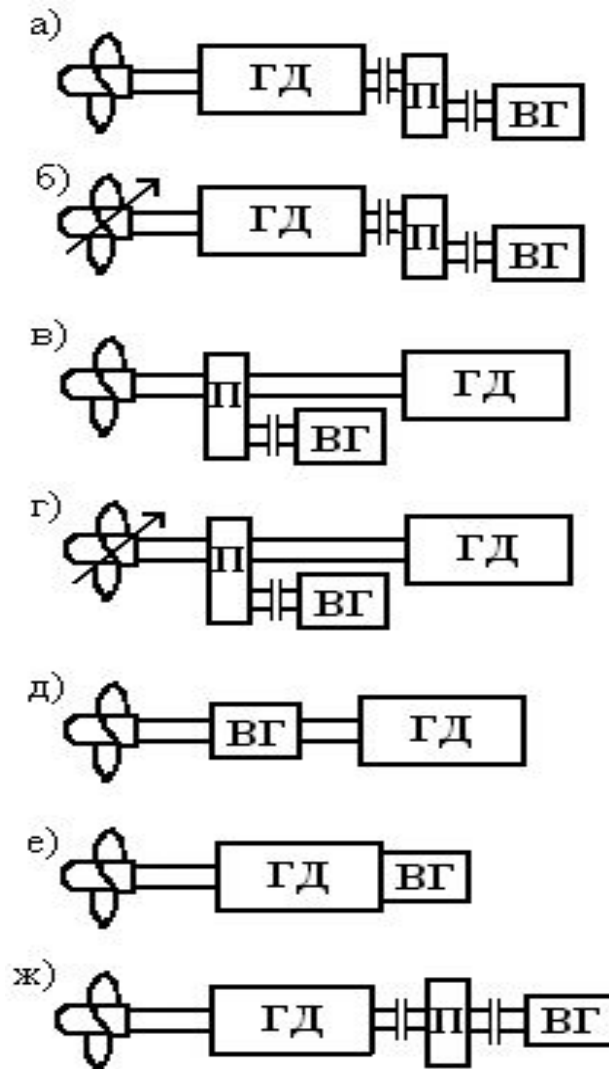
Валогенератор

Выбор типа ВГ зависит от конструкции движителя, передаваемой мощности, частоты вращения вала отбора мощности главного двигателя и др.

На судах с ВФШ применяют преобразователи частоты, вращающиеся (предельная мощность 400...500 кВт) или статические (начиная с мощности 500...600 кВт).

Традиционно отбор мощности на ВГ производят от редуктора или непосредственно от гребного вала через повышающую передачу. Установка ВГ относительно главного двигателя зависит от наличия свободного места в машинном отделении. При размещении ВГ у носового торца главного двигателя применяют планетарный редуктор, что позволяет уменьшить влияние на ВГ крутильных колебаний валопровода. Передаточное отношение должно обеспечить для ВГ частоту вращения 1200...1800 об/мин, что позволяет использовать генератор меньшей массы и стоимости.

Варианты компоновки ВГ показаны на рисунке.



Варианты компоновки валогенераторов
 П — зубчатая передача; а, б — П и ВГ с ВФШ и ВРШ соответственно; в, г — П на промежуточном валу и ВГ с ВФШ и ВРШ соответственно; д — ВГ установлен на промежуточном валу; е — ВГ установлен на носовом торце ГД; ж — планетарная передача с переменным передаточным числом, установленная на носовом торце ГД

Перспективные типы генераторов энергии

Перспективным генератором электроэнергии для судовых нужд является топливный элемент или электрохимический генератор.

Это устройство служит для непосредственного преобразования тепловой энергии в электрическую.

Существует несколько типов топливных элементов.

Щелочные топливные элементы потребляют водород и чистый кислород. Они являются самыми эффективными из топливных элементов.

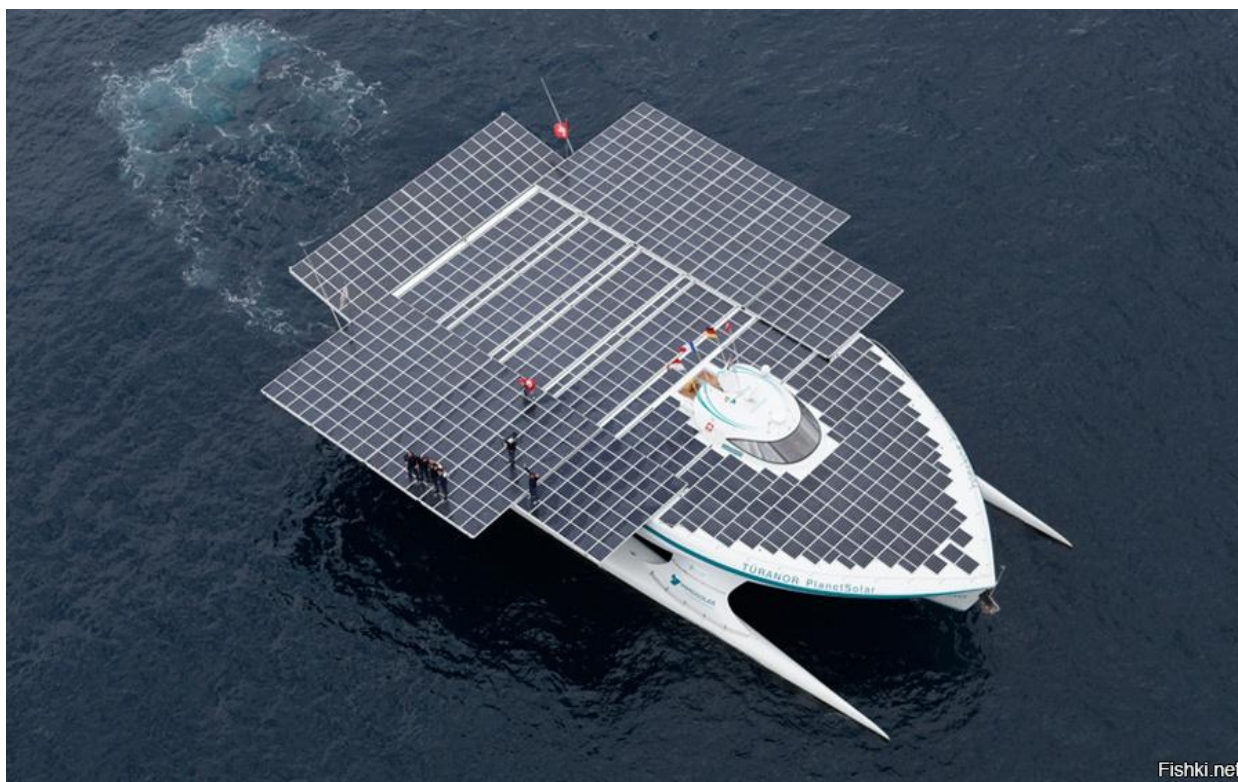
Ещё один фактор в пользу применения топливных элементов на флоте — возможность распределения силовой установки по всему корпусу корабля. Это делает судно менее уязвимым, чем обычный корабль, где вся ходовая часть сосредоточена в машинном отделении.



Энергетическая установка Siemens на базе твердооксидных топливных элементов

В качестве дополнительных источников энергии на судах могут использоваться солнечные батареи и ветрогенераторные установки.

«Turanor Planet Solar» — крупнейшее на сегодняшний день в мире судно на солнечных батареях. Размеры солнечного корабля следующие: длина — 31 м, ширина — 15 м, высота над ватерлинией — 6,1 м. Верхняя палуба Turanor площадью 536 м² полностью покрыта панелями солнечных батарей (38000 шт.) При КПД 18,6 % батареи позволяют вырабатывать до 93 кВт. Солнечное электричество приводит в движение два мотора мощностью 26,6 л.с.



«Turanor Planet Solar» — судно, использующее только энергию Солнца

Ветрогенераторные установки используются в основном как вспомогательные на малых судах и яхтах. Осуществимые на судне размеры винта ветрогенератора не позволяют достигнуть значительной мощности, поэтому энергию, полученную с помощью ветрогенераторов, необходимо аккумулировать в аккумуляторной батарее путем ее подзарядки. Схема такого использования ветрогенератора показана на рисунке ниже.



Ветрогенератор на яхте

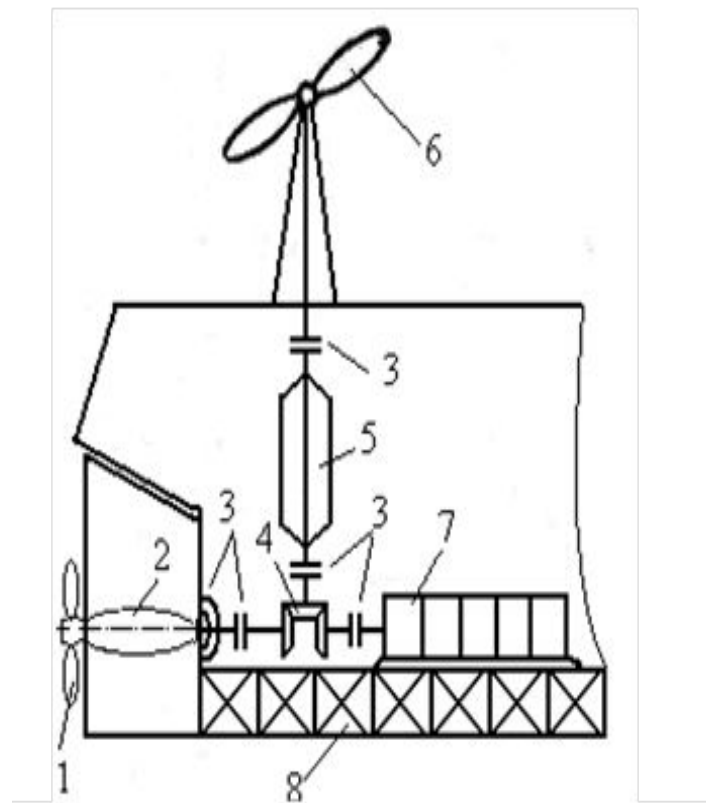


Схема использования ветрогенератора

1 — гребной винт; 2 — гребной вал; 3 — муфты;
4 — редуктор; 5 — мотор-генератор; 6 —
ветрогенератор; 7 — вспомогательный дизель; 8 —
электроаккумуляторы



Судно Windlifter с ветрогенератором

КОРАБЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Средствами передачи тепловой энергии на судне являются паровые магистрали с различными параметрами давления и температуры, а электрической энергии — кабельные сети, рассчитанные на различные параметры тока.

Паровые магистрали имеют немногочисленных потребителей и локализуются, как правило, в машинно-котельных отделениях.

Напротив, электрические сети распределены по всему кораблю и требуют увязки с проектными решениями по другим подсистемам.

Различают следующие судовые электросети:

- **силовую** — для питания электроприводов судовых механизмов МКО, механизмов судовых устройств систем и пр.;
- **осветительную** — для питания основного освещения помещений и открытых палуб, сигнально-отличительных фонарей, подсветки телеграфов, навигационных и других приборов;
- **аварийного освещения** — для питания осветительных цепей, которые должны работать в аварийном режиме (питание сигнально-отличительных фонарей, освещение коридоров, проходов, постов управления, шлюпочных палуб и мест посадки в шлюпки);
- **слабого тока** — для питания цепей телефонов, телеграфов, пожарной сигнализации и пр.;
- **переносного освещения** — для питания через штепсельные соединения переносных ламп;
- **электронавигационных приборов** — для питания гирокомпаса, эхолота, электромеханического лага и пр.

От источников электроэнергии — генераторов — ток поступает на главный распределительный щит (ГРЩ), который является центральным пунктом распределения электроэнергии.



Главный судовой распределительный щит

Для проектанта корабля важен выбор схемы распределения электроэнергии. Все электропередачи, входящие в электрическую сеть, подразделяются на **фидеры и магистрали**.

Фидером называется кабельная линия, включенная между двумя любыми распределительными щитами (РЩ) или между РЩ и приемником либо источником электроэнергии.

Магистралью называется кабельная линия передачи электроэнергии, к которой на всем ее протяжении подключаются РЩ или магистральные коробки, а отдельные приемники электроэнергии получают электроэнергию от этих РЩ и магистральных коробок.

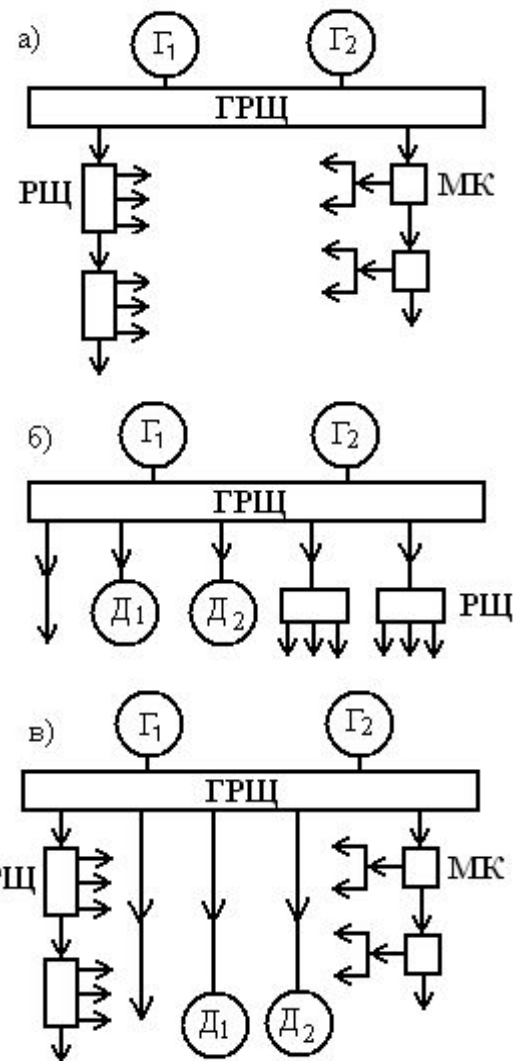
Существуют магистральная, фидерная (радиальная) и смешанная (магистрально-фидерная) системы распределения электроэнергии.

При магистральной системе (рис. а)

питание (генераторы Γ_1 и Γ_2) подается от ГРЩ к потребителям через магистральные коробки (МК) и распределительные щиты (РЩ), объединенные одной магистралью. РЩ, устанавливаемые в определенных частях судна — в носу, в корме, в средней части, — питают групповые распределительные щиты и распределительные щитки отдельных потребителей.

При фидерной (радиальной) системе (рис. б)

питание каждого распределительного щита, а также некоторых ответственных и мощных потребителей (D_1 и D_2) осуществляется от ГРЩ по отдельным фидерам. Эта система более надежна, чем магистральная, так как при повреждении фидера отключается только один распределительный щит или один ответственный потребитель. При повреждении магистрали в первой схеме прекращается питание всей группы распределительных щитов. Кроме того, при фидерной системе можно непосредственно на ГРЩ включать и выключать потребителей.

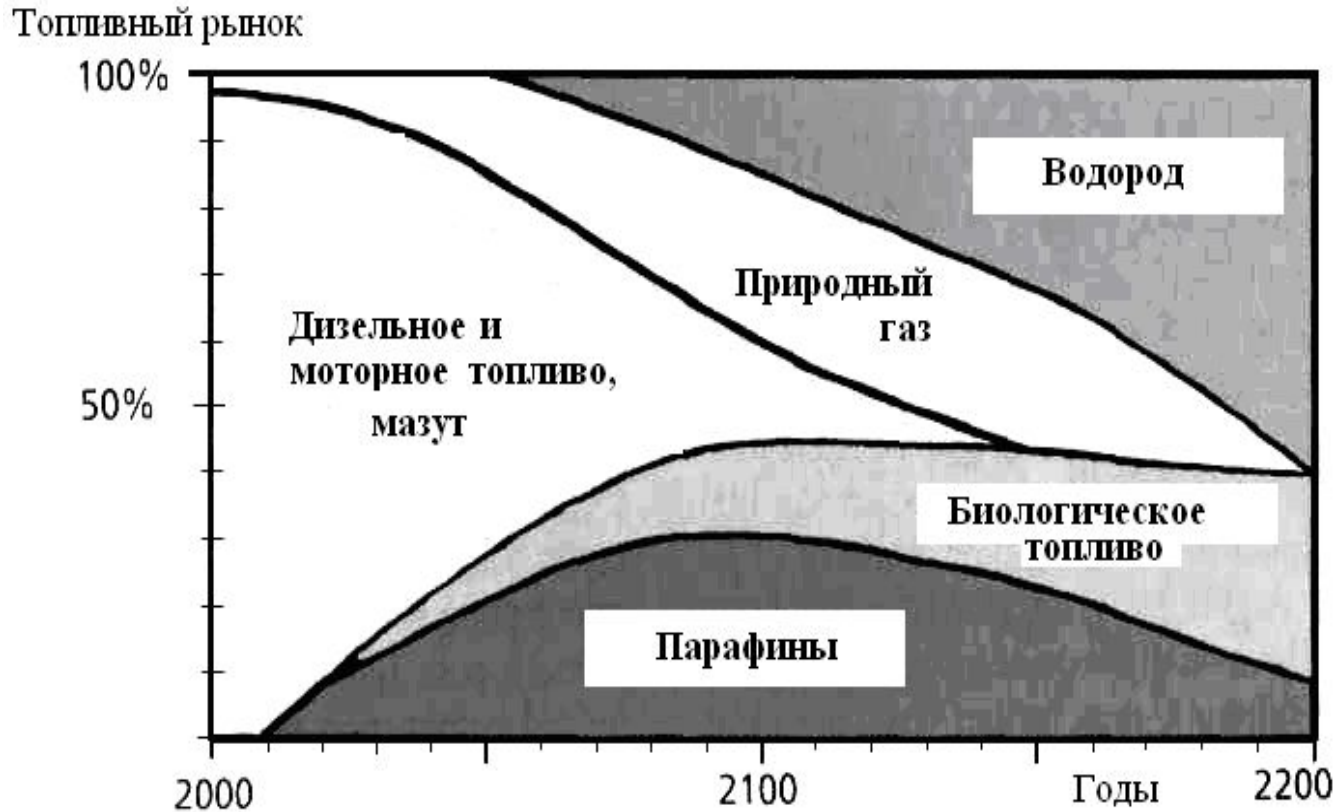


**Различные системы
распределения электроэнергии
а — магистральная;
б — фидерная (радиальная);
в — смешанная**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАПАСЫ

Первичным ресурсом энергии на корабле является топливо. Топливо может быть органическим (нефть, газ, уголь, синтетические топлива и т. п.) и неорганическим (ядерное, водородное).

Существует прогноз развития топливного рынка для морского транспорта. Результат этого прогноза показан на рисунке ниже.



Прогноз структуры рынка топлива для судов

К топливам, продуктам нефтепереработки, относятся:

- дизельное топливо, применяемое для быстроходных дизелей и газотурбинных двигателей авиационного типа. Самое дорогое из нефтяных топлив. В быстроходных дизелях применяется как основное; в средне- и малооборотных дизелях, а также газотурбинных двигателях — при запуске, работе на частичных режимах и маневрировании;
- моторное топливо — для средне- и малооборотных дизелей;
- флотский мазут — для средне- и малооборотных дизелей;
- топочный мазут — для паровых котлов;
- газотурбинное топливо — для газовых турбин, а также для средне- и малооборотных дизелей.