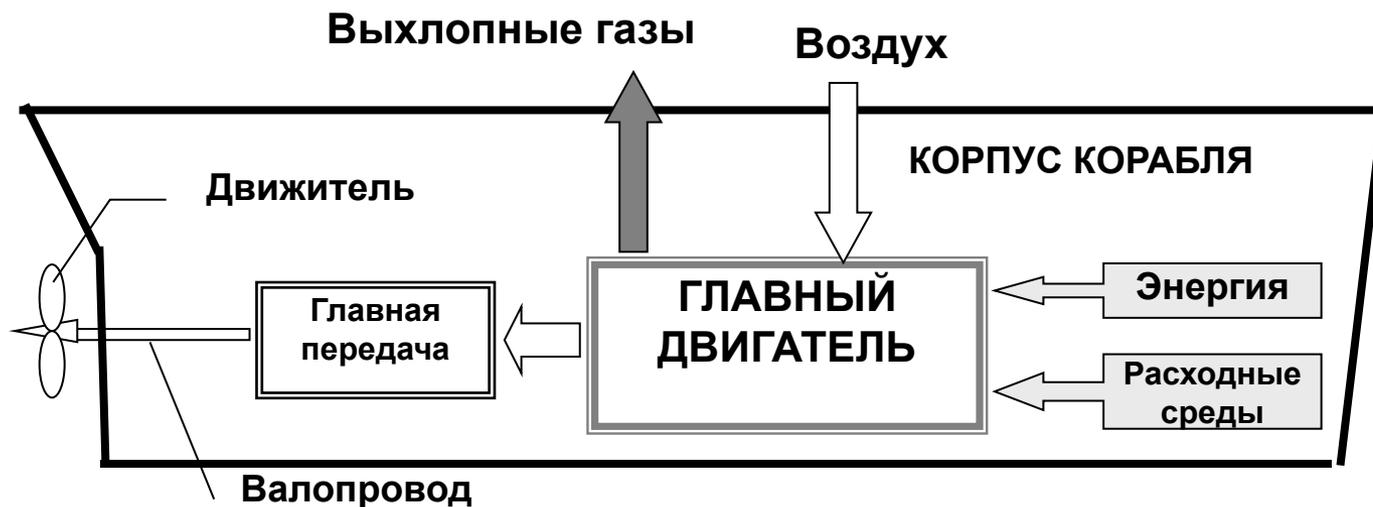


# Подсистемы системы «Корабль»

## Подсистема «Движение»

Пропульсивный комплекс является одной из наиболее сложных подсистем корабля и служит предметом изучения целого ряда отраслей кораблестроительной науки.

Пропульсивный комплекс (ПК) обеспечивает движение надводного корабля.



Простейшая принципиальная схема пропульсивного комплекса судна

## **Пропульсивный комплекс (ПК) можно классифицировать по:**

**по роду топлива (виду подводимой энергии):** работающие на органическом (нефть, газ, уголь, синтетические топлива и т. п.) и неорганическом (ядерном, водородном);

**по типу главного двигателя (ГД):** дизельные, паротурбинные, газотурбинные, комбинированные;

**по способу передачи мощности к движителям:** с прямой (непосредственной), механической (редукторной), гидравлической, электрической и комбинированной передачей;

**по числу валопроводов:** одновальные и многовальные;

**по числу ГД, работающих на один вал:** одномашинные и многомашинные;

**по способу обеспечения реверса судна:** с реверсивным ГД; с нереверсивным ГД и реверсредуктором или реверсивной муфтой; с нереверсивным ГД и обеспечением заднего хода с помощью винта регулируемого шага (ВРШ);

**по типу движителя:** с гребными винтами в различных модификациях, водометом, крыльчатым движителем.

**Характеристики пропульсивного комплекса** описываются следующими группами параметров:

**Параметры мощности:**

- суммарная мощность главных двигателей  $N_{\Sigma}$ ;

**Параметры экономичности и энергоэффективности:**

- удельный расход топлива на единицу мощности в час —  $g_T$  (т/(кВт·ч) или т/(л.с.·ч));
- удельный расход смазочного масла на единицу мощности в час —  $g_M$  (т/(кВт·ч) или т/(л.с.·ч));
- общий коэффициент полезного действия пропульсивного комплекса (двигатель — движитель — корпус судна)

**Массовые параметры:**

- «сухая» масса пропульсивного комплекса или его элементов, т. е. вес без воды, масла и топлива —  $G_{ПК}$  (для некоторых типов пропульсивных комплексов в эту массу будет включаться и масса источников энергии);
- удельная масса пропульсивного комплекса или его элементов —  $g_{ПК} = G_{ПК} / N_{\Sigma}$ .

**Геометрические параметры:**

- габаритные длина, ширина и высота главного двигателя —  $L_{ГД}, B_{ГД}, H_{ГД}$ ;
- габаритные длина, ширина и высота главной передачи —  $L_{П}, B_{П}, H_{П}$ ;
- длина валопровода —  $l_B$ ;
- объем машинного отделения —  $W_{МО}$ ;
- площадь машинного отделения по трюму —  $S_{МО}$ ;
- длина машинного отделения —  $L_{МО}$ .

## Дизельные установки

Пропульсивные комплексы (ПК) с дизелями в качестве главных двигателей являются наиболее распространенными на гражданских судах и занимают значительную долю среди пропульсивных комплексов боевых водоизмещающих кораблей.

В свою очередь, по типу главного двигателя дизельные пропульсивные комплексы делятся на комплексы:

- с малооборотными дизелями (МОД),
- со среднеоборотными дизелями (СОД),
- с высокооборотными дизелями (ВОД).

## Характеристики судовых ДВС

Характеристика	Тип дизеля в составе пропульсивного комплекса		
	Малооборотные двухтактные ДВС	Среднеоборотные двух- и четырехтактные ДВС	Высокооборотные двух- и четырехтактные ДВС
Диаметр цилиндра, мм	260...980	240...570	76...230
Частота вращения, об/мин	54...250	250...1000	1000...4000
Число цилиндров: однорядных ДВС двухрядных V- образных звездообразных	4...12 — —	3...10 12...20 —	4...6 8...20 42...52
Цилиндровая мощность, кВт	280...5720	40...1400	9,5...127
Удельный расход, г/(кВт·ч): топлива масла	161...179 0,7...1,1	170...224 3,3...3,7	210...230 2,0...4,5
Сорт топлива	Тяжелое	Тяжелое	Легкое

## Пропульсивные комплексы с малооборотными дизелями

В установках с МОД валопровод непосредственно соединяется с фланцем вала отбора мощности двигателя.

Установки с МОД наиболее широко применяют на крупных морских судах. Они обладают большой агрегатной мощностью, высокой экономичностью, большим ресурсом и могут работать на тяжелом топливе. Их недостаток — большая масса и габариты главного двигателя.

Пропульсивные комплексы на основе МОД используются на крупных контейнеровозах, рудовозах, танкерах, т. е. на тех судах, где требуется высокая мощность в одном агрегате при невозможности или нецелесообразности использовать для перевозки груза пространство над машинным отделением.



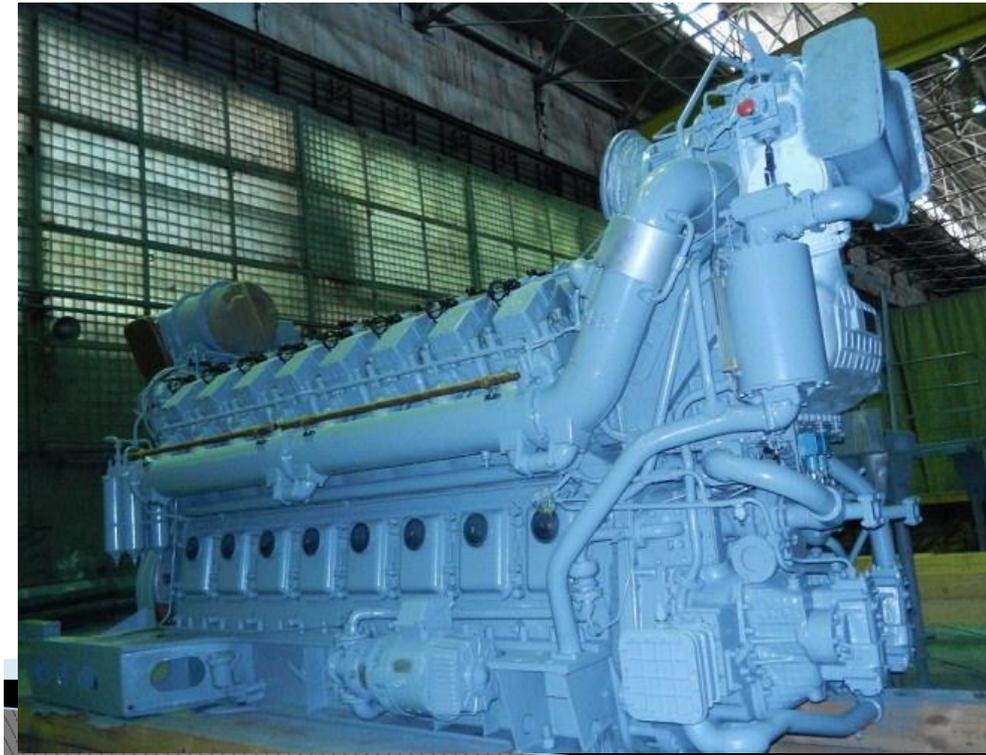
**Дизель Wartsila-Sulzer RT – flex96C мощностью 80080 кВт**

## **Пропульсивные комплексы со среднеоборотными дизелями**

В гражданском и военном флоте все большее распространение получают суда и корабли с пропульсивными комплексами на основе среднеоборотных дизелей (СОД). Мощность таких установок приближается к мощности установок с малооборотными дизелями. Часто установки со среднеоборотными дизелями являются многомашинными.

Положительными качествами дизельных многомашинных установок считаются широкие возможности расположения дизелей в машинных отделениях, высокая экономичность при работе на промежуточных режимах и надежность работы. Уменьшение массы установки и габаритов машинного отделения позволяет увеличить вес полезной нагрузки.

К недостаткам установок с СОД можно отнести большое количество цилиндров, требующих обслуживания при проведении плановых осмотров и ремонтов, несколько увеличенный расход смазочных масел, повышенную шумность и необходимость наличия редуктора.



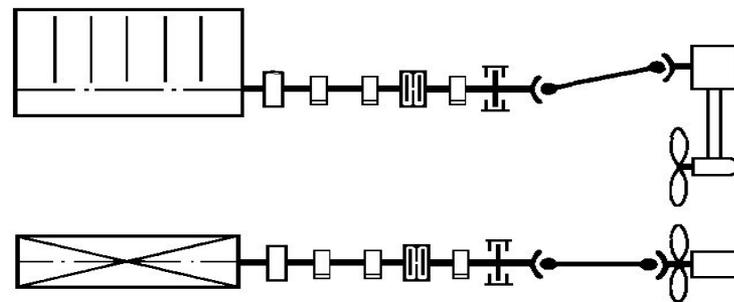
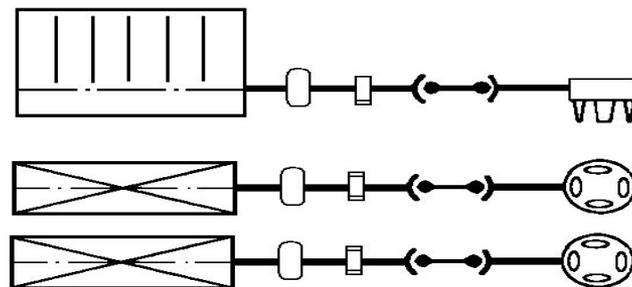
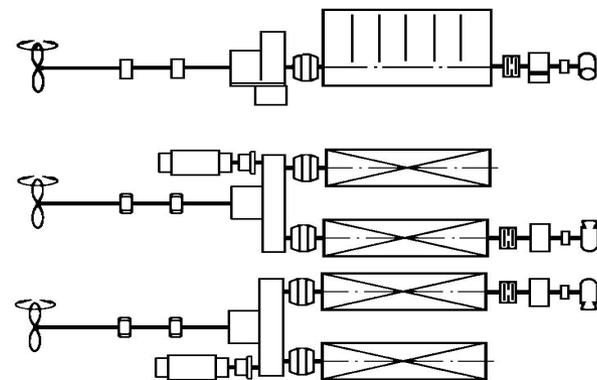
Среднеоборотные дизели 1А-9ДГ

В силу компактности среднеоборотных дизелей, машинное отделение с таким пропульсивным комплексом может располагаться практически в любом месте по длине судна.

Машинное отделение с СОД, как правило, по высоте занимает пространство между двумя палубами.

Длина машинного отделения зависит от количества главных двигателей, работающих на один вал, и числа валов. Возможные схемы передачи мощности на винты отличаются большим разнообразием.

Среднеоборотные дизели часто используются как приводы для работы нетрадиционных движителей, например, колонок различного типа, крыльчатых движителей.

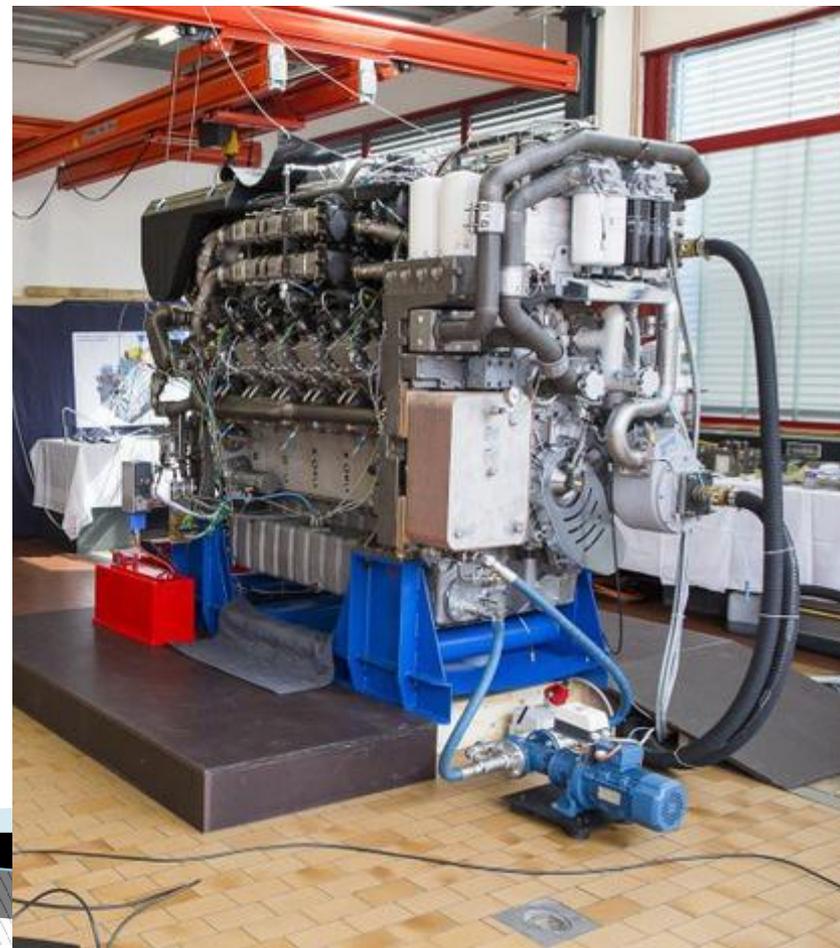


**Варианты использования СОД в пропульсивном комплексе**

## **Пропульсивные комплексы с высокооборотными дизелями**

Установки с высокооборотными дизелями (ВОД) обладают компактностью и малым удельным весом. Создание ВОД с большой агрегатной мощностью требует применения сложных многоцилиндровых конструкций с V-, W- и звездообразным расположением цилиндров. Двигатели таких установок используют легкое дизельное топливо

Возможные сферы применения — боевые торпедные, ракетные, ракетно-артиллерийские и десантные корабли и катера; патрульные, таможенные и пограничные катера, катера береговой охраны; рейдовые тральщики и пожарные суда; представительские правительственные, разъездные и прогулочные катера.



**Новый 12-цилиндровый  
V-образный судовой  
высокооборотный  
дизельный двигатель**

Высокооборотные дизели отличают, в сравнении с МОД и СОД, лучшие массовые и стоимостные показатели, однако они имеют большие удельные расходы топлива и масла, меньший ресурс работы и повышенный уровень шума. Большинство ВОД может работать только на легких сортах топлива, вследствие чего, а также из-за повышенного уровня шума, они не нашли широкого применения на судах.

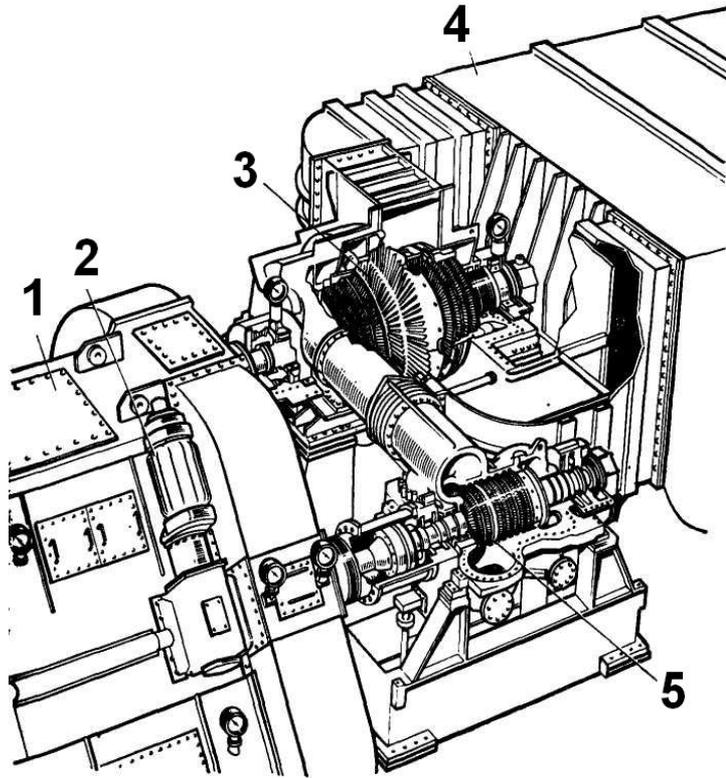
Высокооборотные дизели используются на судах с динамическими принципами поддержания (СПК и СВП), рыболовных сейнерах, судах

речного флота, портовых буксирах, судах снабжения, катерах. Их можно использовать с механическими, гидравлическими, гидромеханическими или электрическими передачами.



**Высокооборотный судовой двигатель.**

## Паротурбинные установки



Паровая турбина в качестве двигателя может использоваться в составе котлотурбинной (КТУ) или ядерной энергетических установок (ЯЭУ).

Котлотурбинная установка состоит из главного турбозубчатого агрегата (ГТЗА) и главных котлоагрегатов (ГКА).

ГТЗА — это паровая турбина с понижающим редуктором.

Котлотурбинные установки в настоящее время, за редким исключением, не используются на судах гражданского флота и не имеют перспективы для боевых кораблей. Это вызвано их малой экономичностью. Высокие удельные расходы топлива для КТУ не компенсируются меньшей ценой тяжелого топлива.

### Устройство двухкорпусной турбины (ГТЗА)

1 — зубчатый редуктор; 2 — валоповоротное устройство; 3 — турбина низкого давления; 4 — конденсатор; 5 — турбина высокого давления

Паровая турбина как двигатель гражданских судов остается востребованной только в пропульсивных комплексах судов для перевозки сжиженного газа при криогенной температуре. Часть испарившегося газа, которую не удается подвергнуть вторичному сжижению, направляется в качестве топлива в главные котлы.

Возврат КТУ в качестве основы судовых пропульсивных комплексов возможен при дальнейшем возрастании цен на нефть. В этом случае возможно при благоприятной экономической конъюнктуре использование котлоагрегатов на угольном отоплении.

Паровые турбины служат главными двигателями, если основой подсистемы «Энергия» на корабле являются ядерные реакторы. В этом случае котлоагрегаты на органическом топливе используются как резервные источники энергии.

Для водоизмещающих кораблей ГТЗА в составе ЯУ используются во флотах ведущих морских держав на самых крупных кораблях — крейсерах и авианосцах.



**Паротурбинная установка MTD 40 skoda**

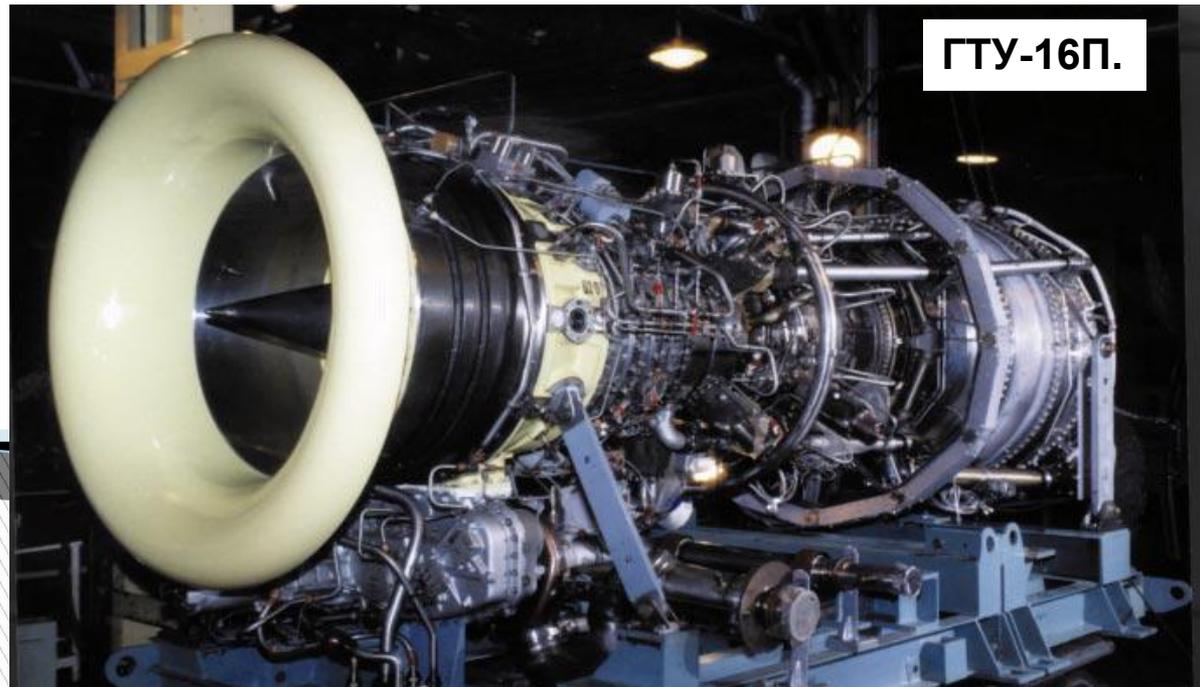
## Газотурбинные установки

Основными преимуществами газотурбинной установки являются компактность, малая масса, возможность полной автоматизации, простота в обслуживании, быстрота запуска.

Пропульсивные комплексы на основе газотурбинных установок (ГТУ) в гражданском флоте используются на быстроходных пассажирских судах и паромах, а также на судах с динамическими принципами поддержания и судах нетрадиционных гидродинамических схем.

На боевых надводных кораблях ГТУ авиационного типа являются основным типом двигателя. Повышение экономичности газовой турбины достигается за счет утилизации теплоты уходящих газов. Возможно применение нескольких способов утилизации этой теплоты.

Первый подход состоит в регенерации, т. е. подогреве уходящими газами воздуха, поступающего в газовую турбину. Повышение температуры воздуха, подаваемого в камеру сгорания, уменьшает количество топлива, которое требуется сжигать в камере для получения заданной температуры газа при выходе из камеры.



Повышение экономичности газовых турбин возможно за счет использования бросового тепла для выработки электроэнергии. Например, при помощи эффективного термоэлектрического преобразователя на основе полупроводников

Специалисты считают перспективным применение керамических или новых жаропрочных конструкционных материалов, а также новых термодинамических схем. Так, исследование схемы с промежуточным охлаждением воздуха и регенерацией тепла уходящих газов позволит получить экономию топлива в 20 % на номинальном режиме и более 35 % на режимах менее 30 % от номинального.

Пропульсивные комплексы на базе ГТУ, как правило, бывают многовальными и многомашинными. Многовальность объясняется основной сферой использования этих двигателей: для боевых кораблей надежность и боевая устойчивость пропульсивного комплекса является важнейшим требованием. Многомашинность вызвана характерным для ГТУ резким падением экономичности двигателя при уменьшении нагрузки.

## Установки электродвижения

Использование гребных электрических двигателей (ГЭД) в качестве базы пропульсивного комплекса объясняется следующими преимуществами этого типа двигателей:

- возможно использование нереверсивных тепловых двигателей с высокой частотой вращения в качестве генераторов, что уменьшает суммарный вес подсистем «Движение» и «Энергия»;
- допускается простое электрическое соединение генераторов, что позволяет получить большую мощность при ограниченной мощности каждого главного агрегата с тепловым двигателем;
- возможность выбрать оптимальную частоту вращения и диаметр судового движителя, а также уменьшить длину соединительных валов за счет отсутствия непосредственного соединения вала теплового двигателя с гребным валом;
- повышенная надежность и живучесть благодаря возможности переключения генераторов и в аварийных ситуациях для сохранения хода судна;
- высокие маневренные качества, простота в управлении;
- высокая экономичность на малых и средних ходах, а также при частых остановках судна;
- возможность получения требуемых механических характеристик ГЭД, удовлетворяющих разнообразным условиям плавания.
- возможность питания судовой сети и отдельных крупных потребителей от главных генераторов;
- устранение передачи вибрации гребного винта и ударов тепловым двигателям, а также снижение вибрации благодаря синхронному вращению ГЭД;
- возможность применения агрегатного метода ремонта, что сокращает время стоянки судна в ремонте.

К недостаткам пропульсивных комплексов с электродвигателями можно отнести:

- меньший коэффициент полезного действия (КПД) вследствие потерь энергии в генераторах и ГЭД. Общий КПД передачи от теплового двигателя к гребному винту снижается на 4–8 % по сравнению с КПД при непосредственном соединении. Исключение составляют гребные установки переменного тока большой мощности и установки со сверхпроводящими электромашинами;
- значительные потребные объемы при больших мощностях;
- применение электродвижения требует увеличения обслуживающего персонала;
- электрические пропульсивные комплексы требуют несколько больших эксплуатационных расходов.



**Гребной индукторный  
Электродвигатель ИД-2000/200.**

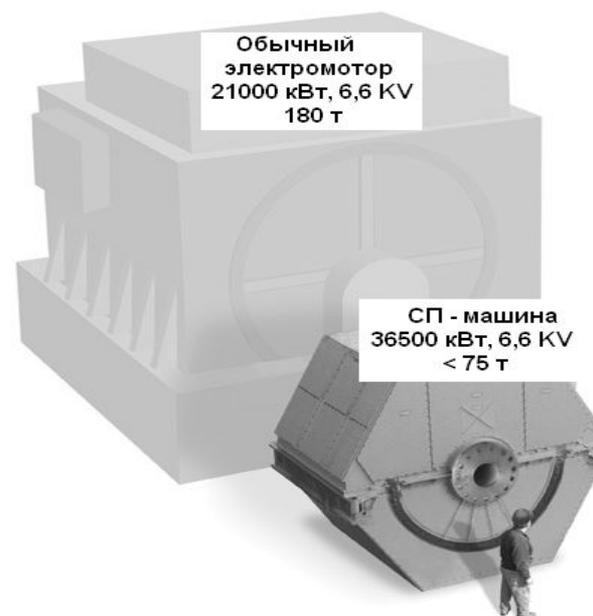
Гребные электродвигатели по роду тока главной цепи классифицируются как ГЭД постоянного или переменного тока.

Гребные электродвигатели постоянного тока применяют на судах с тяжелыми условиями плавания, где необходимы частые и быстрые реверсы и плавное изменение скорости в широком диапазоне, а также возможны частые и глубокие изменения момента сопротивления (на ледоколах, транспортных судах ледового плавания, буксирах и т. п.).

Гребные электродвигатели переменного тока (синхронные или асинхронные), применяются на транспортных, пассажирских, рефрижераторных и рыболовных судах, для которых большое значение имеет экономичность пропульсивного комплекса.

Гребные электродвигатели, как правило, являются машинами малосерийного или индивидуального изготовления.

Перспективы электрических пропульсивных комплексов связаны с использованием высокотемпературной сверхпроводимостью. Габариты и вес электродвигателей со сверхпроводящими обмотками (СП-двигатель), как показывают расчеты, уменьшаются в 2,0...2,5 раза, а коэффициент полезного действия пропульсивного комплекса оказывается равен КПД ПК с механическими передачами.



**Сравнение обычного и сверхпроводящего гребного электродвигателя**

## Комбинированные установки

Стремление к экономии топлива вызвало появление комбинированных пропульсивных комплексов. В них выделяются отдельные группы двигателей разных типов или с разными типами передач мощности к движителям.

Для кораблей, у которых имеется несколько основных режимов движения, целесообразно делить пропульсивный комплекс на маршевую и форсажную части. Если данные части представлены разными типами двигателей, то такой пропульсивный комплекс называют комбинированным.

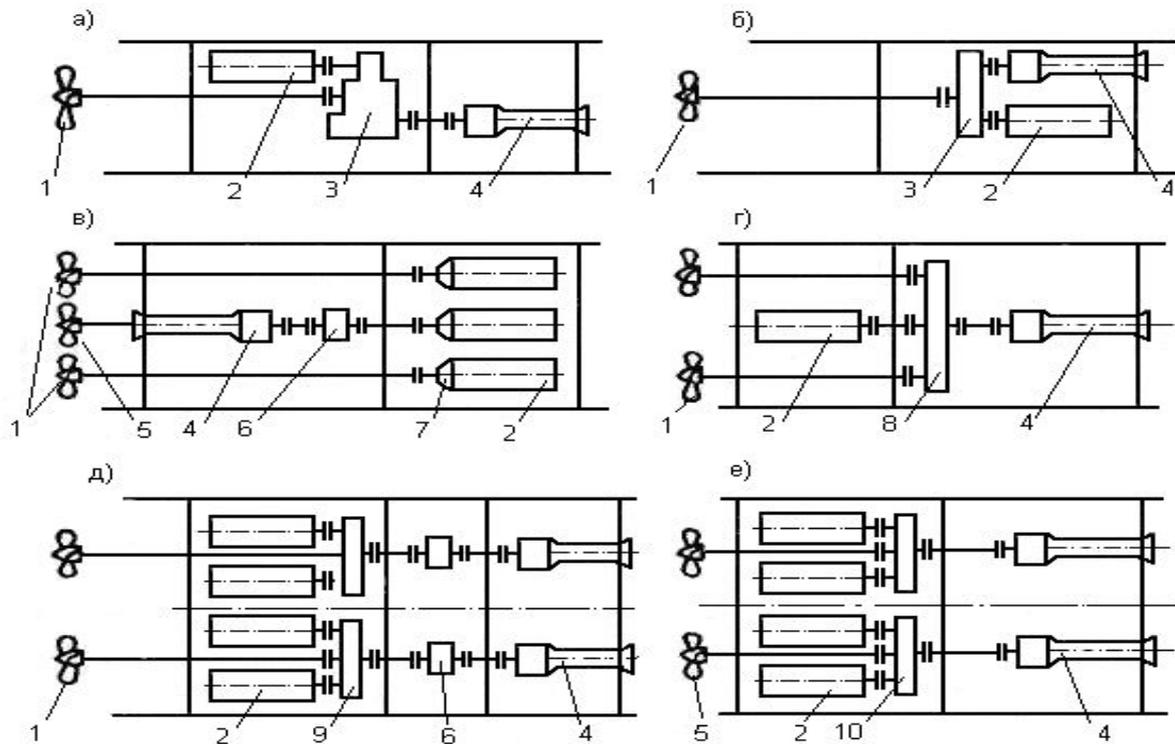
Основными типами комбинированных пропульсивных комплексов можно назвать следующие:

- с маршевыми дизелями и форсажными газовыми турбинами;
- с маршевой паротурбинной и форсажными газовыми турбинами;
- газотурбоэлектрический;
- дизель-электрический.

Пропульсивный комплекс с маршевыми дизелями и форсажными газовыми турбинами (ДГТУ) наиболее часто применяется на боевых кораблях. Различные схемы ДГТУ представлены на рисунке ниже.

Дизели и газовые турбины могут работать как совместно, во всем диапазоне скоростей (схема, обозначаемая английской аббревиатурой CODAG — COmbination Diesel And Gas turbine), так и отдельно на маршевом и форсажных режимах (схема, обозначаемая английской аббревиатурой CODOG — COmbination Diesel Or Gas turbine).

Схема CODOG применяется, когда мощность маршевых двигателей не превышает 20 % полной мощности пропульсивного комплекса. Для схемы CODAG доля маршевых двигателей в общей мощности составляет 30...60 % .



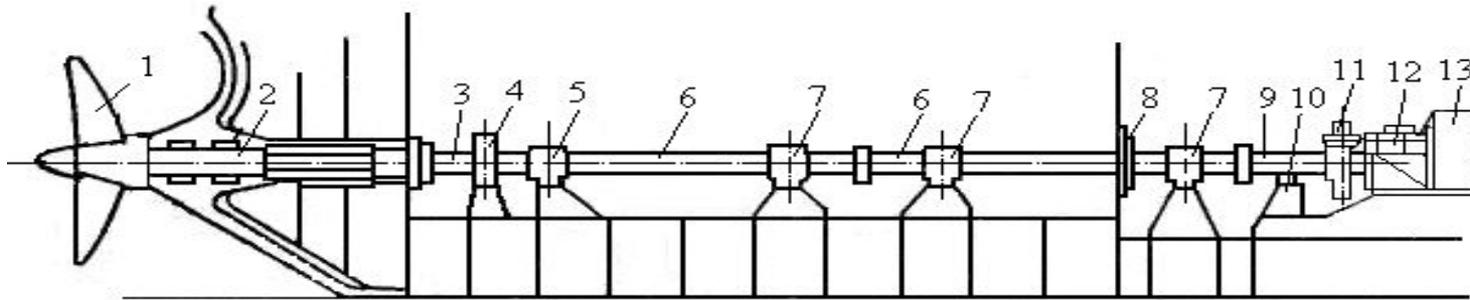
**Различные варианты схем ДГТУ:** а, б — с суммирующим редуктором и работой дизелей и ГТД на общий ВРШ; в — с работой каждого двигателя на свой ВРШ или ВФШ; г — с разделением мощности двигателя на два потока; д — с промежуточным редуктором для ГТД; е — без промежуточного редуктора для ГТД

1 — ВРШ; 2 — дизель; 3 — редуктор с разобщительными синхронизируемыми муфтами с обгонным устройством; 4 — ГТД; 5 — ВФШ; 6 — редуктор; 7 — реверс-редуктор дизеля; 8 — редуктор — разделитель мощности; 9 — двухскоростной суммирующий редуктор для дизелей; 10 — общий суммирующий редуктор с двухскоростной передачей для дизелей

## Характеристики главных передач

Под главными передачами понимаются устройства передачи энергии двигателя к движителю.

**Прямая передача**, по существу, представляет собой линию вала, передающую вращательный момент от двигателя к движителю. Она применяется в пропульсивных комплексах с малооборотными дизелями, когда частота вращения гребного винта находится в пределах до 350 об/мин.



### Линия вала при прямой передаче на винт

1 — гребной винт; 2 — дейдвудное устройство; 3 — гребной вал; 4 — тормозное устройство; 5; 7 — кормовой и промежуточные опорные подшипники; 6 — промежуточный вал; 8 — переборочное уплотнение; 9 — проставочный вал; 10 — монтажный подшипник; 11 — валоповоротное устройство; 12 — главный упорный подшипник; 13 — главный двигатель

Прямая передача, по существу, является составной частью всех прочих передач мощности от двигателя к движителю.

**Редукторные передачи** имеют коэффициент полезного действия 0,98...0,99 для одноступенчатых передач и 0,96...0,97 для двухступенчатых.



Редукторные передачи для дизелей передают мощность до 25000кВт. Передаточные числа лежат в диапазоне 2...4.

Характеристики механических передач для газотурбинных установок. Диапазон передаточных чисел  $i = 9,8...28,2$ , диапазон мощностей  $N = 4400...33000$  кВт.

**Гидравлическая передача** представляет совокупность гидравлических механизмов, с помощью которых энергия вращения ведущего вала (вала двигателя) передается ведомому валу (валопроводу с движителем).

**Схема передачи мощности  
пропульсивного комплекса типа  
CODOG фирмы General Electric**