Современная судовая газотурбинная установка

**СОДЕРЖАНИЕ:**

ВВЕДЕНИЕ---------------------------------------------------------------------------2

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГТУ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ------2

1.1 Состав ГТУ

 1.1.1.ГТУ в составе судовой энергетической установки.-----------------3

1.1.2 Газотурбинный двигатель------------------------------------------------4

 1.1.3 Передача---------------------------------------------------------------------7

 1.1.4 Общая компоновка ГТУ--------------------------------------------------8

 1.1.4.1 Судовые ГТУ промышленного типа---------------------------12

 1.1.4.2 Судовые ГТУ легкого типа--------------------------------------13

1.2 Редукторы -----------------------------------------------------------------------16

1.3 Средства реверса----------------------------------------------------------------17

 1.3.1 Газовый реверс -------------------------------------------------------------17

 1.3.2 Реверсивные передачи-----------------------------------------------------19

 1.3.3 Винт регулируемого шага-------------------------------------------------21

1.4. Средства и посты управления------------------------------------------------21

1.5. Преимущества комбинированной установки-----------------------------23

Заключение----------------------------------------------------------------------------24

**ВВЕДЕНИЕ.**

Современная судовая газотурбинная установка (ГТУ) успешно конкурирует с аналогичными по назначению паротурбин­ными и дизельными. От последних она выгодно отличается ком­пактностью и малой удельной массой, маневренностью и высокой ремонтопригодностью, лучшей приспособленностью к автоматиза­ции и дистанционному управлению.

Газотурбинная установка может использоваться как всережимная и в сочетании с дизельными и паротурбинными.

При эксплуатации ГТУ чувствительна к качеству подготовки топлива и масла, к изменению внешних условий (температура, чи­стота и давление атмосферного воздуха), ее надежность, как ни у какой другой установки зависит от точности выполнения всех эксплуатационных инструкций, а также от своевременности и правильности решений, принимаемых обслуживающим персо­налом в непредусмотренных инструкциями ситуациях.

Опыт эксплуатации судовых ГТУ показал, что от инженера-ме­ханика требуется не только знание и пунктуальное выполнение требований эксплуатационной документации, но и понимание фи­зических, химических и других процессов, протекающих в рабо­тающих двигателях. Кроме того, при длительных плаваниях ин­женеру-механику часто необходим справочный материал, связан­ный с эксплуатацией ГТУ и отсутствующий в имеющейся на судне документации.

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГТУ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ.**

Судовая энергетическая установка (СЭУ) служит для сообще­ния хода судну, а также для обеспечения всех судовых потребите­лей необходимыми видами энергии (тепловой, электрической и пр.).

Судовые энергетические установки классифицируются как по роду используемого топлива (с органическим и ядерным топли­вом), так и по типу двигателя—двигатели внутреннего сгорания (ДВС), паротурбинные установки (ПТУ) и газотурбинные (ГТУ), а также комбинированные, состоящие из двигателей различных типов.

Судовые ГТУ от других типов выгодно отличаются целым ря­дом показателей: малыми габаритами и удельной массой, более высокой маневренностью, высокой ремонтопригодностью, лучшей приспособленностью к автоматизации и дистанционному управле­нию. Одновременно ГТУ несколько уступают ДВС по экономич­ности и требуют более тщательного ухода, как во время работы, так и при бездействии.

1.1. Состав ГТУ

* + 1. ГТУ в составе судовой энергетической установки.

В соответствии с назначением СЭУ весь комплекс ее механиз­мов и систем условно делят на четыре группы:

— главную установку, предназначенную для обеспечения дви­жения судна:

— вспомогательную, обеспечивающую потребности судна в различных видах энергии на стоянке, при подготовке главной установки к действию и бытовые потребности судна;

— электроэнергетическую, обеспечивающую судно различными видами электроэнергии;

— механизмы и системы общесудового назначения. Газотурбинная установка может быть главной или се состав­ной частью, может быть приводом электрических генераторов, различных механизмов общесудового назначения. В последних двух случаях ГТУ называют вспомога­тельной.

Судовая энергетическая установка состоит из одного или нескольких комплексов двигатель-движитель, каждый из которых включает движитель, валопровод и одну главную установку. Главная установка в свою очередь состоит из одного или нескольких однотипных (в КУ, возможно, и разнотипных) двигателей и общей для них передачи, подводящей энергию к движителю через линию вала. Если двигатели главной установки газотурбинные, и она обеспечивает ход и маневрирование судна, ее называют газотурбинной всережимной. В комбинированной установке газотурбинная, как правило, является ускорительной (форсажной), обеспечивающей судну приращение скорости переднего хода.

* + 1. Газотурбинный двигатель.

Газотурбинный двигатель—тепловая машина, предназначенная, для преобразования энергии сгорания топлива в механическую работу на валу двигателя. Основными элементами ГТД являются компрессор, камера сгорания и газовая турбина.

 Т 3

 Р2

 2

 Р1 4

 0 1 S

Рис.1.1. Теоретический простой цикл ГТД.

Наибольшее распространение получили ГТД с непрерывным сгоранием топлива при постоянном давлении. На рис. 1.1 изображен теоретический простой цикл такого ГТД на диаграмме Т-S. Здесь *1—2—* изоэнтропийный (адиабатический) процесс повышения давления воздуха в компрессоре; *2—3—*изобарный подвод теплоты в КС; *3—4 —* изоэнтропийный (адиабатический) процесс расширения газа в турбине; *4—1—*изобарный отвод теплоты в атмосферу. Большая часть работы расширения газа в турбине расходуется на сжатие воздуха в компрессоре, остальная часть производимой турбиной ГТД работы обычно после преобразова­ния передается к потребителю мощности и называется полезной работой.

В так называемых сложных циклах ГТД, где можно получить более высокий КПД, или большую полезную работу, предусматри­вается либо промежуточное охлаждение воздуха (например, между компрессорами или их ступенями), либо вторичный подо­грев газов (в дополнительных КС между турбинами), либо реге­нерация, т.е. использование теплоты выходящих из турбин газов для предварительного подогрева сжатого воздуха, либо любое возможное сочетание названных средств. Двигатели, выполненные по сложному циклу, имеют большие массы и габариты по сравнению с ГТД простого цикла, менее маневренны, менее надежны, весьма сложны.

Существенный недостаток ГТД простого цикла-относительно низкая экономичность-может быть устранен согласованным уве­личением степени повышения давления воздуха Лк в компрессоре ГТД и температуры газа Тоз на входе в первую турбину ГТД (на выходе газа из КС), что наглядно подтверждается зависимостью КПД ГТУ от Лк при различных отношениях Тоз/То: здесь Тоз-абсолютная температура газа на выходе из КС в полных па­раметрах; То-абсолютная температура воздуха на входе в ГТУ.

Максимальное значение КПД при реально достижимой в настоя­щее время температуре Тоз=1000°С имеет место при Лк=16-21. Данную Лк можно осуществить в многоступенчатом осевом ком­прессоре; при этом в составе ГТД могут быть два последовательно установленных компрессора, каждый из которых приводится от отдельной турбины, или один компрессор, устойчивость режимов работы которого повышается вследствие применения поворотных лопаток спрямляющих аппаратов на ряде первых ступеней. При этом возможно применение дополнительных устройств, обеспечивающих устойчивость работы компрессоров, особенно на переходных режимах: лент перепуска воздуха, антипомпажных клапанов и т.д.

 Топливо Газ

**ТВД**

## КС

**ТВ**

ТНД

**КВД**

К**К**

**ВД**

 **Т**

ВВВоздух

Рис.1.2. Принципиальная схема двухкомпрессорного ГТД со свободной турбиной винта.

Принципиальная схема двухкомпрессорного ГТД приведена на рис.1.2. На ней показаны компрессора и турбины, их количество, взаимное расположение и силовая связь.

 Собственно газовыми тур­бинами являются ТВД, ТНД. ТВ*;* совокупность КНД,ТНД*,* и со­единяющего их вала образует турбокомпрессорный блок низкого давления (ТКНД); совокупность КВД, ТВД и соединяющих их конструкций—турбокомпрессорный блок высокого давления (ТКВД): часть ГТД, включающую ТКНД, ТКВД и КС, часто на­зывают генератором газа (ГГ). Таким образом, ГТД можно рассматривать как совокупность генератора газа и пропульсивнои турбины.

* + 1. Передача

Оптимальные условия работы гребного винта и пропульспвной турбины ГТД обеспечиваются обычно при различных частотах вращения. Для достижения приемлемых экономичности, масс и га­баритов частота вращения ротора пропульсивной турбины должна быть значительно выше, чем гребного винта. Снижение частоты вращения осуществляется в передаче при обязательном требова­нии минимальных потерь мощности. Передача может выполнять и другие функции, в частности «собирать» мощности нескольких двигателей на один движитель, «раздавать» мощность теплового двигателя на несколько движителей, разобщать двигатели от дви­жителей, осуществлять реверс и т. д.

Различают передачи механические, гидравлические, электри­ческие. Последняя может работать на переменном и постоянном токе. В первом случае потери энергии в передаче составляют 6— 14%, во втором—11—19%. Для электропередач характерны большие массы и габариты: так, приходящаяся на 1 кВт масса электропередачи составляет 7—22 кг. Несомненны преимущества электропередач:

— возможность использования нереверсивного главного дви­гателя;

— удобство управления установкой;

— уменьшение длины гребных валов;

— отсутствие жесткой связи между главным двигателем и вин­том и т. д.

Чисто гидравлическая передача имеет относительно малый КПД: 95—96 и 85—88 % — соответственно гидромуфты и гидро­трансформатора переднего хода, 70—75 % —гидротрансформатора заднего хода. По этой причине их предпочитают применять в со­четании с механической передачей. Механическая (обычно зубча­тая) передача имеет высокий КПД (до 98—99 % ) и находит пре­имущественное применение на судах .

* + 1. Общая компоновка ГТУ.

На судах применяют ГТУ двух основных типов: с ГТД про­мышленного (тяжелого) типа; с ГТД авиационного (легкого) типа. Компоновочные схемы этих ГТУ могут существенно отли­чаться. Для ГТУ второго типа характерно выполнение ГТД в рамном или безрамном варианте, с трубчатым основанием, в звукоизолирующем кожухе. Максимально возможная часть си­стем, обеспечивающих работу ГТД, смонтирована на нем или в его раме; основные вспомогательные механизмы (например, ос­новные топливный и масляный насосы) навешены на ГТД и при­водятся от блока его вращения, в наименьшей степени изменяю­щего частоту вращения при переходе ГТД с режима на режим.

На редукторе ГТУ также смонтированы обеспечивающие его работу системы и механизмы (например, навесные маслонасосы). Связь ГТД с редуктором осуществляется посредством рессор.

Системы ГТУ включают комплексы разнообразных техниче­ских средств, при помощи которых могут быть осуществлены все эксплуатационные режимы работы установки, а также ее техни­ческое обслуживание. Условно их можно разделить на две группы. Первая группа—это комплексы технических средств, которые по­зволяют управлять установкой, т. е. задавать и поддерживать не­обходимые режимы се работы и изменять эти режимы при необхо­димости. К ним относятся системы:

- управления, воздействующая на подачу топлива в КС, на системы пуска и реверса и другие системы, обеспечивающие под­держание и изменение режима работы;

- пуска, с помощью которой ГТУ вводится в действие;

- реверса, обеспечивающая изменение направления упора, со­здаваемого гребным винтом или другим движителем.

Ко второй группе относятся следующие системы, обеспечиваю­щие оптимальные условия для работы ГТУ:

- топливная, состоящая из технических средств, размещенных на ГТД, а также вне двигателя;

-масляная с техническими средствами на ГТД, передаче (ре­дукторе) и вне их;

-охлаждения забортной водой, размещенная обычно вне ГТУ и предназначенная для охлаждения масла ГТУ в маслоохлади­телях;

- сжатого воздуха, технические средства которой размещены как на ГТУ, так и вне установки;

- промывки проточной части;

- антиобледенительная (система обогрева входного устрой­ства ГТД) и ряд других.

Кроме того, работа ГТД на судне обеспечивается воздухоприемным и газовыпускным устройствами, системой теплоизоляции ГТД. Основные характеристики судов с ГТУ приведены в табл. 1.1, а показатели ГТУ - в табл. 1.2 (по отечественным и иностранным литературным источникам).

***Таблица 1. 1.* Основные характеристики судов с ГТУ.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | “Парижская коммуна" | “Айрон монарх" | “Лусайн” | “Шеврон орегон" |
| Тип судна | Сухогруз | Ролкер | Метановоз | Танкер |
| Год введения в эксплуа­тацию | 1968 | 1973—1974 | 1974 | 1975—1977 |
| Изготовитель Дедвейт, т | СССР 16 185 | Австралия 15450 | Норвегия 20900 | США 35560 |
| Водоизмещение, т | 22225 | — | — | 45396 |
| Эксплуатационная ско­рость, уз | 18,2 | 20 | 19,7 | 15 |
| Число гребных валов | 1 | 1 | 1 | 1 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| “Сивен принс" | “Адмирал Каллэгэн” | “Евролай- нер” | “Финджет” | “Капитан Смирнов" |
| Паром | Ролкер | Контейне-ровоз | Паром | Ролкер |
| 1975 | 1967 | 1971 | 1977 | 1978 |
| Австралия | ФРГ | ФРГ | Финляндия | СССР |
| 5550 | — | 23 100 | 23000 | — |
| — | 24000 | 32000 | — | 36000 |
| 18 | 26 | 26 | 30,5 | 25 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

***Таблица 1.2* Основные характеристики ГТУ**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | «Парижская коммуна" | „Айрон монарх" | „Лусайн" | .Шеврон Орегон" |  |
| Тип установки | Промышлен-ная | Промышлен-ная­ | Промыш­лен-ная | Промышлен-ная |  |
|  | ГТУ-20 |  |  |  |  |
| Цикл работы установки | Регенератив-ный+охлажде-ние  | Регенера­тивный | Регенера­тивный | Регенера-­тивный ­ |  |
| Тип передачи | Механическая­ | Механическая­ | Механиче­ская | Электриче­ская |  |
| Частота вращения греб­ного винта, об/мин | 103 | 125 | 125 | 100 |  |
| Способ реверса | ВРШ | ВРШ | ВРШ | ВРШ |  |
| Мощность ГТД, кВт: |  |  |  |  |  |
| максимальная | — | 13950 | 14 700 |  |  |
| номинальная | 8700 | 12850 | — | 9200 |  |
| Топливо | Дизельноетяжелое | Тяжелое | Дизельное | Дизельное |  |
| Удельный расход топ­лива г/(кВт\*ч) | 320—324 | 272 | — | 269 |  |
| Удельная масса агре­гата, кг/кВт | 27,2 | — | — | — |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | “Сивей принс" | “Адмирал Каллэгэн" | „Евролайнер" | „Финджэт" | “Капитан Смирнов" |
|  | Промышленная | Авиацион­ная | Авиацион­ная | Авиационная­ | Комбиниро-ванная­ |
|  | Регенератив-ный | Простой | Простой | Простой | Простой |
|  | Электрическая­ | Механическая­ | Механиче­ская | Механиче­ская | Механиче­ская |
|  | 200 | 145—135 | 135 | 170 | 130—128 |
|  | ВРШ | Реверс-редук-тор­ | ВРШ | ВРШ | Газовый |
|  | — | 2Х18400 | 2Х22000 |  | 2Х18400 |
|  | 8900 | 2Х15300 | 2Х20000 | 2Х27500 | 2Х17300 |
|  | Дизельное | Дизельное | Дизельное | Дизельное | Дизельное |
|  | — | 293—312 | — | 272 | 238 |
|  |  | 11,4 | — | —— | 8,09 |

1.1.4.1. Судовые ГТУ промышленного типа.

Примером названных установок может служить ГТУ-20 судна «Парижская коммуна». Она состоит из двух одинаковых устано­вок ГТУ-10, работающих через общий редуктор на один ВРШ. Особенностью ГТУ-20 является блокированная ТНД, что потребовало установки ВРШ.

Установки промышленного типа МS-1000, МS-3000, МS-5000, МS-7000 и их модификации фирмы «Дженерал электрик» конвер­тированы в судовые из стационарных ГТУ. Все они работают но открытому циклу с регенерацией теплоты уходящих газов для по­догрева воздуха.

 Особенностью ГТУ М5-3012К является привод генератора пе­ременного тока от ТНД и постоянная частота их вращения. Глав­ный электродвигатель (ГЭД) переменного тока с постоянной ча­стотой вращения приводит в действие ВРШ. Установка М5-3012К со всеми обслуживающими механизмами и системами располо­жена на верхней палубе судна, а ГЭД — в машинном отделении. Некоторые данные о судовых ГТД промышленного типа приве­дены в табл. 1.3.

***Таблица1.3.* Характеристики судовых ГТД типа МS.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| Характеристика | МS-1002R | МS-3002R | МS-50002R | МS-7000 |
|  |  |  |  |  |
| Мощность, кВт | 2 940- | 5500- | 16200- | 33000- |
|  | 3680 | 8800 | 22000 | 44000 |
| Номинальная мощность, кВт | 3300 | 8100 | 20700 | 40500 |
| Температура газа перед ТВД на номи- |  | 1198 | 1 198 | 1 173 |
|  нальном режиме, К |  |  |  |  |
| Удельный расход топ. | 272 | 269 | 266 | 274 |
| лива, г/(кВт-ч) |  |  |  |  |
| Частота вращения, |  |  |  |  |
| об/мин: |  |  |  |  |
| ТВД | — | 6900 | 5100 | — |
| ТВ (ТНД) | 10290 | 6500 | 4670 | 3020 |
| Расход воздуха, кг/сек | — | 46,5 | 113 | 216 |
| Степень повышения давления *Лк* |  | 6,7 | 8,2 | 8,1 |
| Сухая масса ГТД, т: |  |  |  |  |
| с регенератором | 70 | 111 | 200 | 455 |
| с редуктором | — | 179 | 315 | — |
| Габариты (без редук- |  |  |  |  |
| тора), мм: |  |  |  |  |
| длина | 7200 | 9600 | 14700 | 18500 |
| ширина |  4900 | 5200 | 8400 | 12000 |
| высота (с регенератором) | 6500 | 9100 | 10200 | 13400 |
| Расчетная температуря То, °С | 21 | 21 | 21 |  - |

1.1.4.2. Судовые ГТУ легкого типа.

На судах такие ГТУ нашли применение в следующем исполнении:

- с одним компрессором и одной турбиной (блокированная, рис. 1.6, *а);*

*-*с одним турбокомпрессором и свободной ТВ (рис. 1.6, б);

— с двумя турбокомпрессорами и свободной ТВ (см. рис. 1.2). Были проведены большие работы по конвертированию авиаци­онных ГТД для использования их на судах: в СССР — ГТУ М-25.

В США были созданы ГТД типов: LМ-100, LМ-300, LМ-1500, LМ-2500, LМ-5000, FТ-4А, FТ-4А12, FТ-4С-2 и др.; в Англия - типов «Олимп», «Тайн», «Гном» и др. Некоторые данные о судовых ГТД авиационного типа приведены в табл. 1.4.

***Табл.1.4.* Характеристики зарубежных судовых ГТД.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | LМ-1500 | LМ-2500 | FТ-4А-2 | FТ-4А-12 | “Олимп"ТМ1 | “Олимп"ТМ3  | “Тайн” | “Гном"GN |
| Фирма (страна) | „Джене­рал элек­трик"(США) | „Джене­рал элек­трик"(США) | „Пратт энд Уитни” (США) | „Пратт энд Уитни" (США) | „Ролс-Ройс» (Англия) | „Ролс-Ройс» (Англия) | „Ролс-Ройс» (Англия) | „Ролс-Ройс» (Англия) |
| Мощность, кВт: |  |  |  |  |  |  |  |  |
| максимальная | 10300 | 18768 | 18768 | 20600 | 17660 | 20000 | 3310 | 883 |
| номинальная | 9200 | 16340 | 15456 | 17958 | 14270 | 15890 | 2 650 | 750 |
| Удельный расход топ­ | 345—357 | 240—253 | 308-321 | 314—321 | 307—319 | 296—312 | 308-332 | 382 -401 |
| топлива,г/(кВт-ч) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Температура возд. °С °С наружного | 38 | 38 | — | — | 15 | 15 | 15 | — |
| Степень повыш.давл.возд. | 12 | 17 | 12 | 12 | 10,3 | — | 11,5 | 8,3 |
| Температура газа перед | 1213— | 1373 | 1116 | — | 1150 | 1280 | 1240 | 1170 |
| перед ТВД, К | 1115 |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход воздуха, кг/с | 69,4 | 69,3 | — | — | — | — | 20 | 5,6 |
| Число ступеней: |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КНД | — | — | 8 | — | 5 | 7 | 6 | -- |
| КВД | 17 | 16 | 7 | — | 7 | 7 | У | 10 |
| ТВД | 3 | 2 | 1 | — | 1 | 1 | — | 2 |
| ТНД | — |  | 2 | — | 1 | 1 | — | » |
| ТВ | 1 | 6 | 2 | — | 1 | 1 | — | — |
| Масса ГТД, кг | 3400 | 3 850 | 6440 | 6440 | 24850 | 20850 | 860 | 160 |
| Габариты, мм: |  |  |  |  |  |  |  |  |
| длина | 5700 | 6780 | 7920 | 7900 | 6780 | — | 4 .350 | 1 800 |
| ширина | 2130 | 2130 | 1 455 | 1430 | 3 330 | 2440 | 1 625 | 500 |
| высота | 2440 | 2130 | 2182 | 2157 | 2800 | 3000 | 1 727 | 550 |

1.2. Редукторы

Редукторы обладают рядом преимуществ перед другими ти­пами передач: меньшие масса и габариты, более высокий КПД, простота устройства, сравнительно меньшая стоимость, большая долговечность, высокая безотказность и т. д. По назначению раз­личают редукторы главные и вспомогательные; по конструкции — переборные, планетарные и комбинированные, по направлению вращения—реверсивные и нереверсивные; по виду зубчатых ко­лес—цилиндрические и конические; по числу зубчатых пар— одно- и многоступенчатые; по расположению осей валов—горизон­тальные и вертикальные; по типу передач — цепные, гнездовые и с раздвоением мощности.

Примером двухступенчатого редуктора с раздвоением мощно­сти является редуктор главного газотурбинного агрегата М-25 су­дов типа «Атлантика». В 1-й ступени мощность ГТД через шестерню *Z1* передается на две шестерни Z2. На 2-й ступени от каждой шестерни Z3, приводимой от Z2, мощность передается на две шестерни Z4, от них—на главное колесо редуктора Z5 и да­лее—на ВФШ.

Редуктор установки М-25—переборный, реверсивный, с ци­линдрическими зубчатыми колесами, с горизонтальным располо­жением валов; редуктор установки ГТУ-20—также переборный, с цилиндрическими зубчатыми колесами, двухступенчатый, с го­ризонтальным расположением валов, но нереверсивный, с цепным типом передачи. Редуктор судовой ГТУ средней мощно­сти с ГТД GТРЕ-990 выполнен планетарным.

Планетарные редукторы в основном устанавливаются на КВП и СПК. Для комбинированных установок наиболее характерны редук­торы, собирающие мощности от нескольких двигателей, в том чи­сле и разнотипных и разной мощности, а также раздающие мощность двигателей различным не­скольким потребителям. Для этих же установок характерны операции

подключения и отключения двигателей с помощью гид­равлических и специальных механических разобщительных муфт. Наиболее простой, но достаточно распространенной муфтой такого назначения является автоматическая механическая с обгон­ным устройством .В редукторах широко используются так называемые самосин­хронизирующие муфты, конструкция которых представляет собой сочетание фрикционной и зубчатой муфт. Первая служит для син­хронизации валов и создания тем самым условий для включения зубчатой муфты, которая способна продолжительное время пере­давать основной крутящий момент.

1.3. Средства реверса

Упор винта на переднем ходу называют положительным, на заднем—отрицательным. Отрицательный упор применяют в экс­плуатации для движения судна задним ходом, торможения и остановки судна, идущего передним ходом, для стаскивания судна с мели и т. п.

Реверсом называют маневр, связанный с изменением направ­ления упора, создаваемого гребным винтом. Осуществляют реверс с помощью одного из трех элементов пропульспвного комплекса:

-силовая турбина—передача—движитель, который в этом случае называют реверсивным.

1.3.1. Газовый реверс.

При использовании реверсивной силовой турбины реверс на­зывают газовым, а ГТД—реверсивным. В соответствии с требо­ваниями к проектированию судовых установок мощность на зад­нем ходу должна составлять примерно 40—50 % мощности перед­него хода.

Конструктивно турбина заднего хода может быть выполнена в виде :

а) отдельной турбинной ступени, расположенной на диске, жестко связанном с ротором турбины переднего хода;

б) отдельной турбины, передающей крутящий момент на ре­дуктор через собственный вал (рессору);

в) верхнего (нижнего) яруса лопаток, расположенного над (под) ярусом лопаток одной из ступеней переднего хода.

В конструкциях (а) и (б) существенно возрастают массогабаритные показатели ГТД, возникает необходимость в создании надежных закрытий в газовых каналах, а в случае «б», кроме того, нарушается принцип прямоточности ГТД. В случае применения радиальной реверсивной турбины воз­никают трудности компоновки проточных частей турбин, состоя­щих из нескольких последовательно расположенных центростре­мительных турбин, а также затруднения, связанные с конструк­тивным сочетанием в одной проточной части осевых и радиальных ступеней .

Газовый реверс с использованием двухъярусного облопачивания реверсивной турбины может быть выполнен по схеме, разра-

ботанной и испытанной фирмой «Дженерал электрик» для судо­вых ГТУ промышленного типа третьего поколения (рис. 1.4). На рисунке показаны направления движения газов и положения органов реверсивных устройств ГТУ. Специальные дефлекторы, расположенные за реверсивной ступенью, образуют на переднем ходу канал для прохода отработавших газов из рабочей решетки верхнего яруса в выпускной диффузор, обеспечивая тем самым уменьшение протечек газа в ступень заднего хода и снижение вен­тиляционных потерь. При работе на заднем ходу дефлекторы пе­ремещаются в положение, при котором образуется канал для про­хода отработавших газов из рабочей решетки заднего хода в вы­пускной диффузор.

Существенный недостаток ГТУ с газовым реверсом - потери мощности, достигающие 4—5%, что вызвано увеличенным сопро­тивлением вращению неработающих ступеней рабочего тела, имеющего весьма высокую плотность (например, по сравнению с ПТУ, в которой неработающие ступени располагают в зоне ва­куума).

Рис. 1.4. Схема течения газов в реверсивной турбине с двухъярусным облопачиванием: а—при работе на переднем ходу; б—при работе на заднем ходу.

/—механизм поворота сопловых лопаток; *2*—сопловые лопатки ПХ; *3*—сопловые лопатки ЗХ; *4 —* газовыпускной диффузор; 5—дефлекторы; *6 —* рабочие лопатки ЗХ;

7—рабочие лопатки ПХ; *8*—газовый канал ЗХ; *9*—газовый канал ПХ; *10*—раз­делитель газового потока; *11*— рабочие лопатки предыдущей турбины.

1.3.2. Реверсивные передачи

Конструкция реверсивной передачи позволяет изменить напра­вление вращения выходного (соединенного с винтом) вала пере­дачи при неизменном направлении вращения входного (соединен­ного с ГТД) вала.

Реверсивные передачи могут быть электрическими, гидравличе­скими и механическими. Электрический реверс применяют на су­дах с электродвижением. Его недостатки и достоинства опреде­ляются недостатками и достоинствами электрических машин, при­меняемых на судах для обеспечения хода судна.

Гидрореверсивная передача, изображенная на рис. 1.5, вклю­чает в свой состав гидромуфту и гидротрансформатор. В данной схеме продолжительный передний ход осуществляется передачей крутящего момента от вала 7 на шестерню *4* непосредственно че­рез фрикционную или кулачковую муфту (на рис. 1.5 не пока­зана ), а внутренняя полость гидромуфты может быть либо за­полненной рабочей жидкостью, либо опорожненной. Для перехода на задний ход нужно заполнить рабочей жидкостью гидромуфту,

Рис. 1.11. Принципиальная схема гидрореверсивной передачи.

1 — гидротрансформатор; 2 —неподвижный на­правляющий аппарат ГТ 3 — турбинное колесо ГТ; 4— ведущая шестерня редуктора: 5 — турбин­ное колесо гидромуфты; 6 — насосное колесо гидромуфты; 7 — вал турбины винта; 8 — ведо­мое колесо редуктора.

Рис.1.5.

Принципиальная схема реверсивного редуктора.

1— фрикцион ЗХ; *2 —* колесо ЗХ; *3* — пара­зитная шестерня; *4, 5 —* ведущие шестерни редуктора; *6* — ведомое колесо ПХ; 7 — фрикцион ПХ; *8* — выходной вал редуктора.

разобщить жесткую муфту, заполнить рабочей жидкостью по­лость *В* гидротрансформатора, опорожнить рабочую полость *А* гидромуфты. Недостаток этой передачи—низкий КПД гидро­трансформатора (0,85—0,87).

Механическая реверсивная передача может быть выполнена по схеме, представленной на рис. 1.5. Принцип действия реверсив­ного редуктора основан на применении двойного комплекта веду­щих шестерен и ведомых колес, расположенных между входным и выходным валами редуктора. Так, при движении судна перед­ним ходом крутящий момент от ГТД передается через шестерню 5 колесу *6* и далее — через включенный фрикцион переднего хода 7—на выходной вал редуктора *8.* При движении судна задним ходом крутящий момент от ГТД передается на шестерню *4,* паразитную шестерню *3,* колесо заднего хода *2* и далее через включенный фрикцион заднего хода 1 на выходной вал редук­тора *8.*

1.3.3. Винт регулируемого шага

Реверс посредством ВРШ осуществляется перекладкой лопа­стей винта при помощи механизма изменения шага (МИШ) из по­ложения ПХ в положение ЗХ, или наоборот. Механизм изменения шага расположен в ступице ВРШ, в связи с чем его диаметр по сравнению с ВФШ несколько увеличен. Тяги, воздействующие на МИШ, размещены внутри пустотелого гребного вала и управ­ляются гидроприводами.

1.4. Средства и посты управления

Автоматизация управления ГТУ осуществляется с использова­нием топливной системы ГТД, с помощью которой подается топ­ливо при пуске, изменяется режим работы, выполняется оста­новка. Отключением подачи топлива в КС осуществляется ава­рийная защита ГТД. Конструкцией системы предусматривается, чтобы фактическое изменение подачи топлива в камеру сгорания ГТД не приводило к опасному повышению температуры газа, по­явлению неустойчивых режимов работы и другим негативным по­следствиям. Обслуживающие ГТУ автономные вспомогательные механизмы представляют собой автоматизированные агрегаты, ко­торые могут дистанционно принимать команды на пуск, изменение режима, остановку и которые имеют собственные защитные и про­чие устройства. Кроме механизмов в состав ГТУ входит разнооб­разная автоматическая арматура, например устройства отключе­ния линий всасывания и нагнетания резервных насосов, свечи за­жигания и пусковые форсунки, приводы органов реверса и антипомпажных устройств и так далее.

Система управления ГТУ включает совокупность устройств, дающих командные сигналы на включение и отключение нагрузки части двигателей установки, на разворот лопастей ВРШ и т. п. Управление ГТУ и ее обслуживание невозможно без различных средств контроля параметров и сигнализации о положении орга­нов управления, таких как панели контрольно-измерительных приборов, панели сигнализации в виде мнемосхемы или сигналь­ных ламп, а на высокоавтоматизированных судах—системы цент­рализованного контроля (информационно-измерительные).

Централизованная система управления представляет собой пульт с рукоятками и кнопками, посредством которых осуще­ствляется любой из предусмотренных режимов работы ГТУ и всего силового' комплекса судна. Она может быть электрической, гид­равлической, комбинированной и т. д. На высокоавтоматизированном судне в системе управления могут быть использованы ЭВМ, которые вырабатывают по данным измерений управляющие си­гналы, облегчающие работу оператора .

Автоматические устройства, обеспечивающие управление глав­ной установкой, обычно размещаются в центральном, запасном (аварийном) постах управления, в ходовой рубке судна или на ка­питанском мостике.

Средства управления и контроля скомпонованы в пульты упра­вления, панели сигнализации и КИПов, в блоки управления, раз­мещенные в отдельных шкафах. Одновременное управление из разных постов исключается. Узлы переключения постов управле­ния обычно предусматривают принудительную передачу управле­ния любому посту или произвольное взятие управления «на себя» из любого поста, причем запасной пост получает на это право по разрешающему сигналу из центрального поста.

Запасной пост управления обычно размещается вблизи ГТУ. Количество информации о состоянии ГТУ и всего силового ком­плекса судна неодинаково на разных постах, в частности в ходо­вой рубке информация ограничивается сведениями, необходимыми капитану для принятия решения об использовании ГТУ. Наиболь­ший объем информации поступает в ЦПУ.

1.5. Преимущества комбинированной установки

Комбинированная главная установка включает в свой состав разнотипные главные двигатели, которые могут быть термодина­мически связанными друг с другом или термодинамически неза­висимыми.

Преимущества КУ обычно определяются характером использо­вания судна и его главной установки, а также особенностями главных двигателей различных типов.

Характер использования судов некоторых типов определяет их плавание преимущественно на скоростях, меньших полной. Так, китобойные и рыболовные траулеры, ледоколы, транспорт­ные суда активного ледового плавания не все ходовое время экс­плуатируются на полной скорости, чему препятствует ледовая об­становка или иные решаемые судном задачи.

В связи с примерно кубической зависимостью эффективной мощности установки от скорости водоизмещающего судна и ухуд­шением экономичности ГТУ при отклонении от расчетного режима желательно на скоростях, меньших полной, применять специаль­ный двигатель, относительно маломощный с высокими экономич­ностью и долговечностью. Таким требованиям в наибольшей сте­пени отвечает ДВС, не исключено применение и других типов дви­гателей. Полный ход можно быстро развить с помощью двигателя (установки), который кроме высокой маневренности должен быть весьма мощным с относительно малой долговечностью (что позволяет выполнить его легким и малогабаритным). Такому требованию наиболее полно отвечает ГТУ, которая к тому же относительно проста в обслуживании.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Из рассмотренных выше материалов видно, что судовые газотурбинные установки, обладая определенными преимуществами перед другими типами, в тоже время обладают очень существенным недостатком-низкой экономичностью. В сочетании с малыми массогабаритными показателями, высокой приемистостью, быстрой подготовкой к пуску, высокой степенью готовности к приему нагрузки это предопределило использование газотурбинных двигателей на военных кораблях.

Первые ГТД в качестве опытных начали устанавливать на кораблях советского ВМФ на рубеже 40-50 годов. Однако эти двигатели обладали крайне малым ресурсом и были крайне ненадежны в эксплуатации. Первыми серийными комбинированными дизель-газотурбинными установками были ДГТУ типа Д2 и Д2М. Д2 включали в свой состав 2 ГТД типа Д54 и 2 дизеля М504 и устанавливались на малых противолодочных кораблях проекта 204, Д2М-2 таких же ГТД и 2 дизеля типа 58 и устанавливались на сторожевых кораблях проекта 35. Недостатком этих кораблей была высокая взрывопожароопасность из-за крайне неудачного расположения газотурбинных двигателей в кормовом отсеке. В конце 50-х годов была создана установка типа М2, которая включала в свой состав 2 ГТД, работающих на бортовые валы и дизель, работающий на средний вал на ВРШ. Эта установка была спроектирована для сторожевого корабля проекта 159 и показала высокие эксплуатационные качества. Эти корабли строились более 15 лет и находились в составе флота до середины 90-х годов. Всего было построено около 50 таких кораблей, из них более 20-на экспорт.

В начале 60-х годов был построен первый в мире полностью газотурбинный корабль – большой противолодочный проекта 61 с двухвальной установкой М3. М3 включала в свой состав 4 ГТД типа ДЕ59(по 2 на каждый вал) и 2 реверсивных редуктора с гидромуфтами. Общая мощность установки составляла 72000 л.с., и для своего времени это был настоящий прорыв для газотурбинных установок. В конце 60-х годов были запущены в серию следующие типы установок:

-2-х вальная М5 для большого противолодочного корабля проекта 1134Б, на каждый вал работал 1 маршевый и 2 форсажных ГТД, общая мощность 86000 л.с., впервые в мировой практике применен газовый реверс;

-2-х вальная М7 для сторожевого корабля проекта 1135, на каждый вал работал 1 МД и 1ФД, общая мощность-58000 л.с., газовый реверс. Особенностью этой установки являлось применение маршевой редукторной приставки, специального редуктора, установленного между редукторами маршевых двигателей, который позволял при работе 1МД распределять мощность на оба вала. Установка М7 оказалась настолько конструктивно удачной, что с некоторыми изменениями ее применили на БПК проекта 1155 и СКР проекта 1154, ПСКР проекта 11351, которые на настоящий момент составляют основу противолодочных сил Российского ВМФ.

-3-х вальная комбинированная М8 для малого противолодочного корабля проекта 1124, на бортовые валы работали дизеля типа М507 по 10000 л.с. с реверсивной главной передачей, на средний вал-нереверсивный ГТД ДЕ59 мощностью 18000 л.с. Ход этого корабля достигал 38 узлов. Всего было построено более 80 различных модификаций кораблей этого проекта;

-2-х вальная для ракетного крейсера проекта 1164, на каждый вал работал 1 МД с теплоутилизационным контуром, 2 ФД и паровая турбина, получающая пар от ТУК. Общая мощность – 110000 л.с., на сегодняшний день это самая мощная ГТУ;

-было создано много различных типов облегченных установок для кораблей на воздушной подушке, кораблей на подводных крыльях и кораблей с глиссирующими и полуглиссирующими корпусами. Для данных кораблей газотурбинные установки являются наиболее предпочтительными из-за своих массогабаритных показателей;

-были созданы ГТД чисто авиационного типа для экранопланов;

-были созданы газотурбогенераторы для выработки электроэнергии-типа ГТУ6А-мощностью 600 кВт и ГТУ12,5 мощностью 1250 кВт.

Газовые турбины являются весьма перспективными судовыми двигателями. Главный их недостаток-низкая экономичность успешно преодолевается за счет повышения температуры выходящих газов. Так в двигателе ДС71 удельный расход топлива на 2-ом форсированном режиме составляет 203 г/л.с.\*час,что уже вполне сравнимо с экономичностью дизелей. Несомненно, что в будущем, с появлением новых жаропрочных сплавов, композитных материалов (что позволит значительно повысить ТВГ), газотурбинные установки несколько потеснят традиционные двигатели на судах.

В ВМФ, пограничной службе, особенно на кораблях быстрого реагирования (противолодочные, сторожевые, КВП, СПК), газотурбинные установки на сегодняшний день не имеют альтернативы.

**Список использованных источников:**

1. Вудворд Дж. Морские газотурбинные установки. Пер. с англ. Л., Судостроение, 1979.
2. Горелов В.И. Эксплуатация корабельных газотурбинных установок. М., Воениздат, 1972.
3. Курзон А.Г. Теория судовых паровых и газовых турбин. Л., Судостроение, 1970.
4. Трофимович Г.К., Речистер В.Д., Гильмутдинов А.Г. Справочник по ремонту судовых газотурбинных двигателей. Л., Судостроение, 1980.
5. Справочник инженера-механика судовых газотурбинных установок. Под ред. канд. техн. наук В.Д.Речистер. Л., Судостроение, 1985.