

СУДОВЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ



1. Необходимость применения судовых КЭУ.
2. Классификация КЭУ.
3. КЭУ с механической связью.
4. КЭУ с термодинамической связью.

ЛИТЕРАТУРА:

Болдырев О.Н. Судовые энергетические установки. Часть III. Комбинированные и ядерные энергетические установки. Учебное пособие. Северодвинск: Севмашвтуз, 2007. – 178 с.

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Стремление сочетать достоинства различных типов установок и как можно полнее использовать энергию сгорания топлива стимулировало создание комплексных установок, включающих в себя разнородные двигатели.

Такие установки получили название **комбинированных энергетических установок (КЭУ)**.

В КЭУ можно получить такие сочетания характеристик, причем достаточно простыми средствами, которые недостижимы в каждом отдельно взятом типе энергетической установки.

Применение КЭУ также стимулируется стремлением сочетать высокую экономичность установки на малых, средних и полных ходах, а также как можно более полно использовать тепловую, а в ряде случаев и динамическую энергию выпускных газов. В определенных случаях применение КЭУ позволяет существенно снизить полную массу энергетической установки судна.

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Комбинированная энергетическая установка - установка, в которой энергия для движения судна и работы других судовых потребителей (или только для движения судна) вырабатывается в двух и более различных тепловых двигателях.

Два класса КЭУ:

- комбинированные установки с механической связью;**
- комбинированные установки с термодинамической связью.**

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

КЭУ с механической связью называются такие установки, в которых все составные части независимы одна от другой в термодинамическом отношении, и передают крутящий момент на общий движитель через общую передачу, либо независимо друг от друга каждая на свой движитель.

В этом случае всю энергетическую установку судна разбивают на две части: маршевую часть, используемую для работы на режимах малых (экономичных) ходов, и форсажную или ускорительную часть, работающую на режимах повышенных ходов, вплоть до полного. При этом на режимах повышенных ходов маршевая часть установки может работать как совместно с форсажной, так и полностью выключаться из работы.

В качестве маршевой части КЭУ могут использоваться любые типы двигателей: дизельный или газотурбинный двигатели, либо паровые турбины. В качестве форсажной части установки целесообразно применять ГТД.

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

КЭУ с термодинамической связью – установки, составные части которых работают по единому термодинамическому циклу. В таких КЭУ доминирующая часть установки обязательно работает на гребной винт, а вторая часть может работать:

- на выработку механической энергии (гребной винт отдельный, или связанный с доминирующей установкой через передачу);
- на обеспечение каких-либо термодинамических процессов в общем цикле комбинированной установки (например, турбонаддувочные агрегаты дизелей и главных котлов);
- на выработку электроэнергии (в утилизационных турбогенераторах);
- на выработку тепловой энергии (в котлах-утилизаторах или различного рода теплообменниках).

Использование КЭУ с механической связью

Использование КЭУ с механической связью возможно при совместной или отдельной работе маршевой и форсажной частей установки.

Важной характеристикой для этого типа КЭУ является соотношение мощностей маршевой и форсажной частей.

Основной задачей форсажной части установки является обеспечение прироста мощности, необходимого для развития судном заданной скорости хода.

Степень форсажа

Распределение мощности между форсажной и маршевой частями установки удобно характеризовать степенью форсажа – x_{ϕ} , определяемой как отношение прироста мощности от добавления мощности форсажной части установки к полной мощности КЭУ:

$$x_{\phi} = \frac{N_{\text{КЭУ}} - N_{\text{МУ}}}{N_{\text{КЭУ}}} = 1 - \mu_{\text{КЭУ}}$$

где:

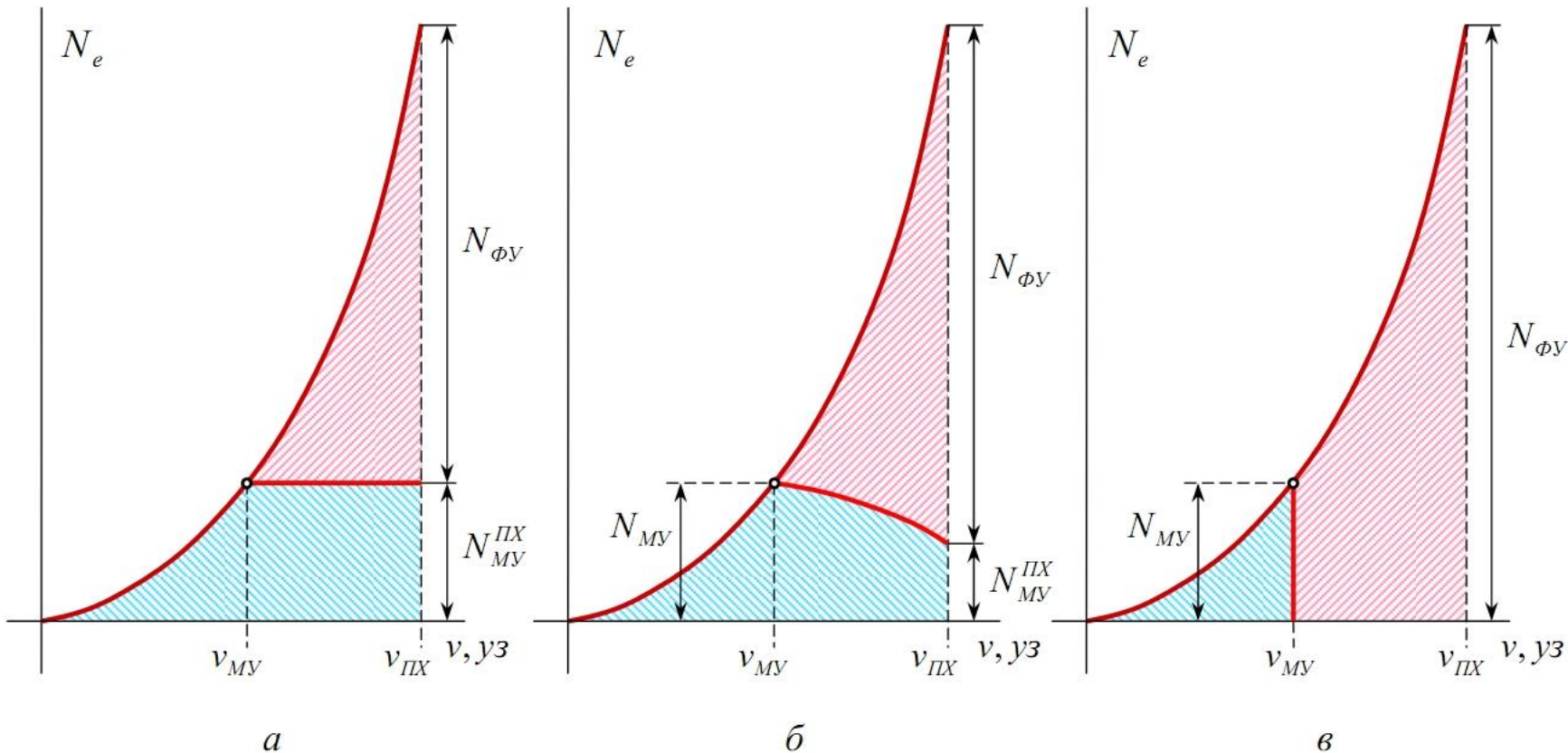
$N_{\text{КЭУ}}$ – полная мощность КЭУ;

$N_{\text{МУ}}$ – полная мощность маршевой части установки (до ввода в действие форсажной части);

$\mu_{\text{КЭУ}} = \frac{N_{\text{МУ}}}{N_{\text{КЭУ}}}$ – коэффициент нагрузки КЭУ при полной мощности маршевой части установки.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРШЕВОЙ И ФОРСАЖНОЙ ЧАСТЕЙ КЭУ

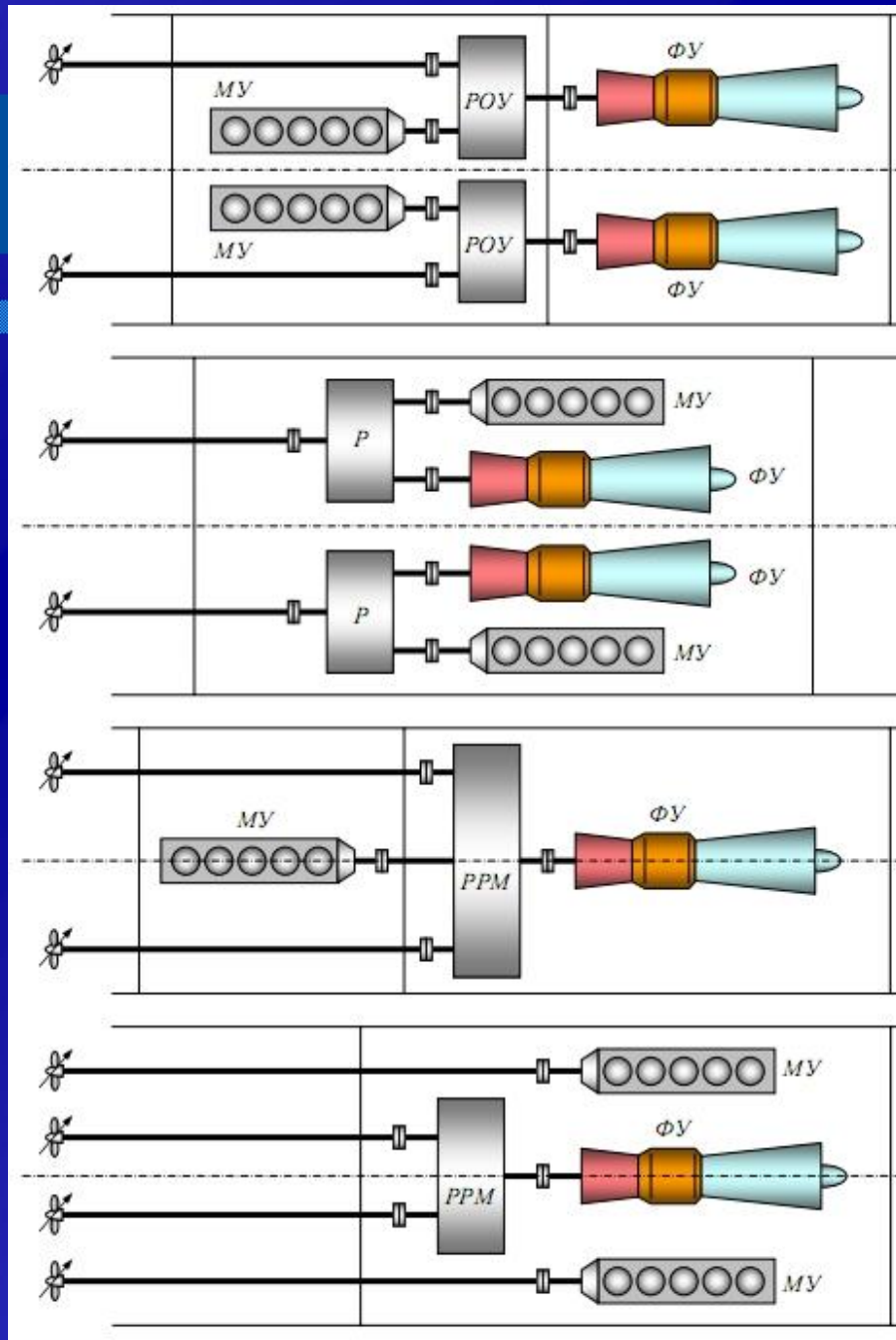
Возможные варианты использования маршевой и форсажной частей и распределения мощности между ними



ДИЗЕЛЬ-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

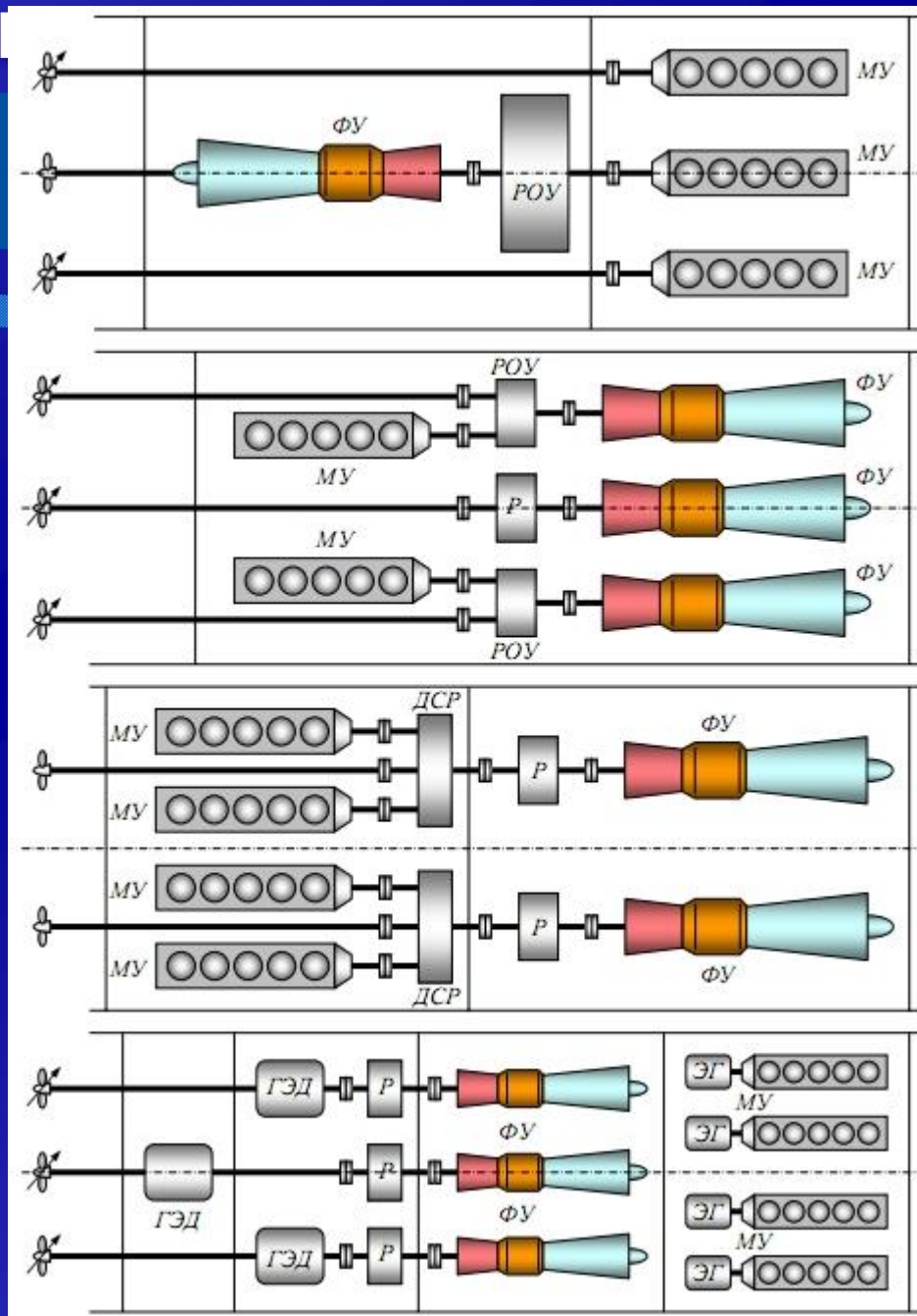
Компоновочные схемы дизель-газотурбинных КЭУ с механической связью

МУ – маршевая установка; *ФУ* – форсажная установка; *РФУ* – редуктор с обгонным устройством и разобщительными синхронизирующими муфтами; *Р* – редуктор; *РРМ* – редуктор – разделитель мощности; *ДСР* – двухскоростной суммирующий редуктор; *ЭГ* – электрогенератор; *ГЭД* – гребной электродвигатель.



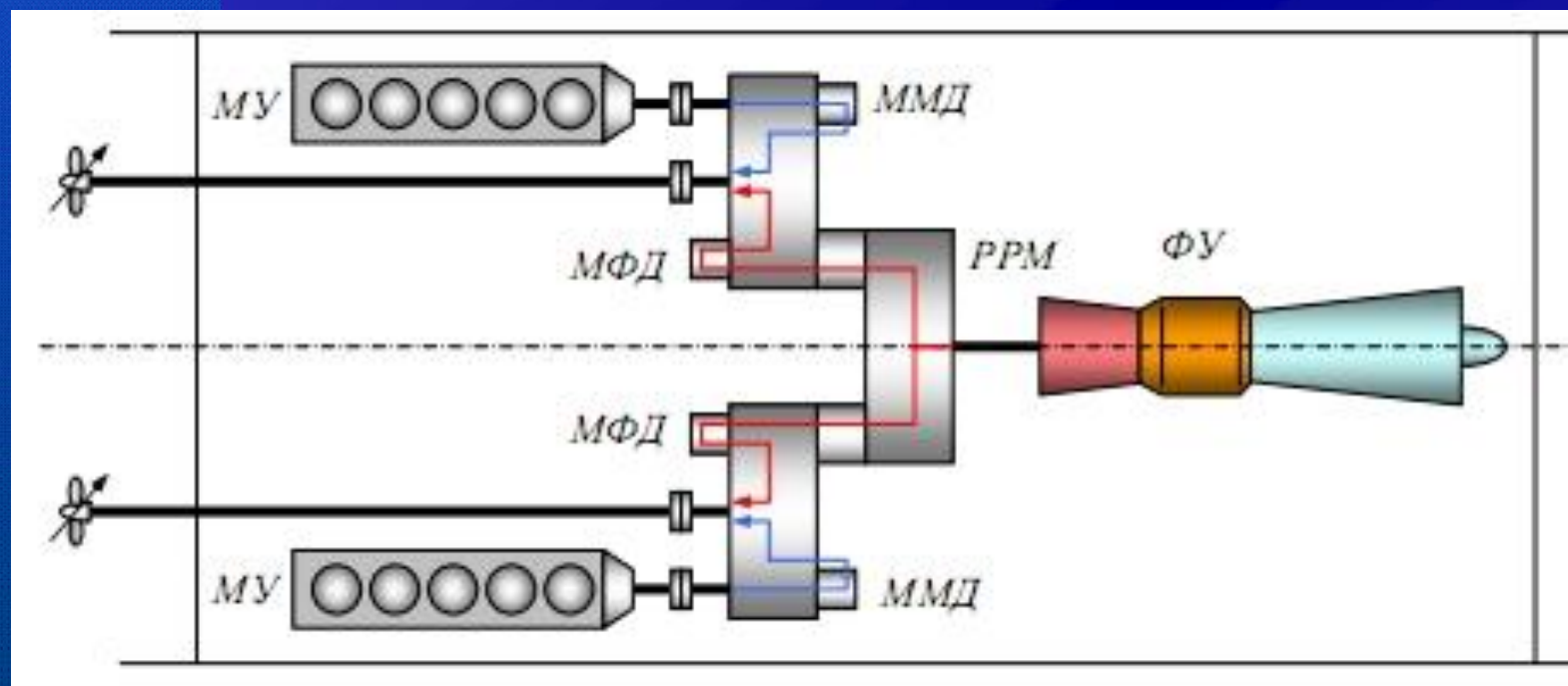
ДИЗЕЛЬ-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

Компоновочные схемы дизель-газотурбинных КЭУ с механической связью



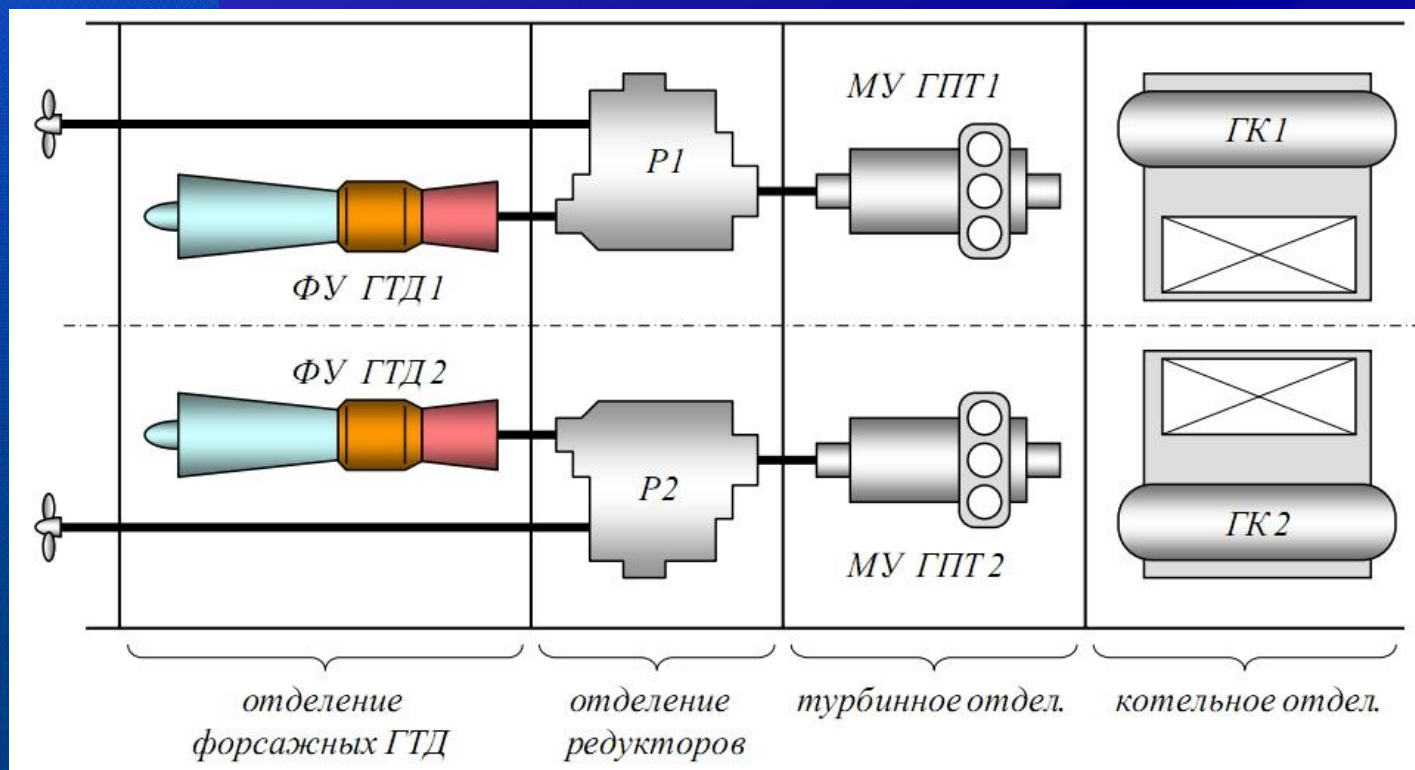
МУ – маршевая установка; ФУ – форсажная установка; РОУ – редуктор с обгонным устройством и разобщительными синхронизирующими муфтами; Р – редуктор; РРМ – редуктор – разделитель мощности; ДСР – двухскоростной суммирующий редуктор; ЭГ – электрогенератор; ГЭД – гребной электродвигатель.

ДГУ С ОДНИМ ФОРСАЖНЫМ ГТД И ЕДИНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ



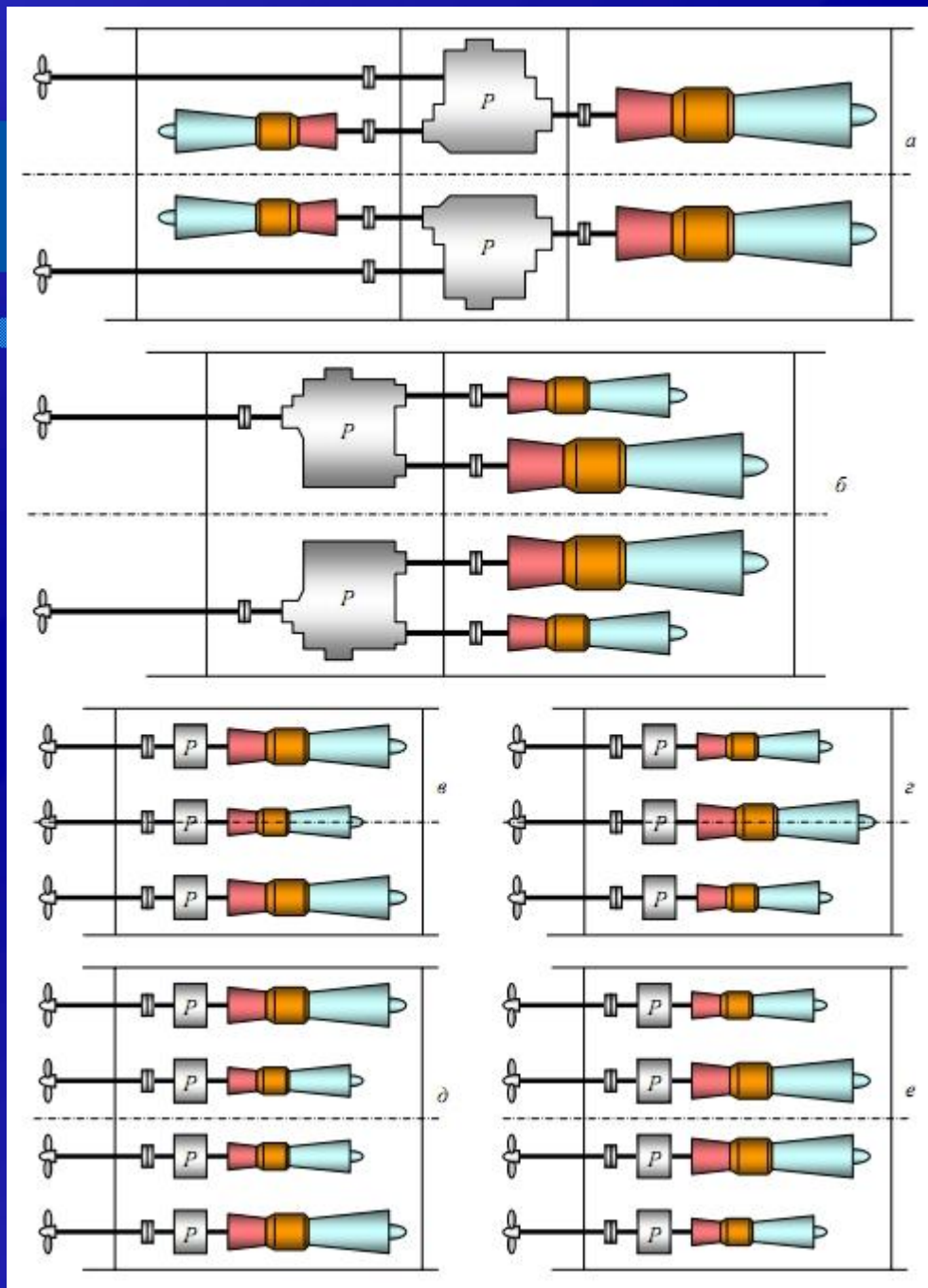
МУ – маршевая установка; *ФУ* – форсажная установка; *РРМ* – редуктор – разделитель мощности; *ММД* – автоматические муфты маршевых двигателей; *МФД* – автоматические муфты форсажного двигателя.
—→ – передача мощности от *МУ*; —→ – передача мощности от *ФУ*.

ПГУ С МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ



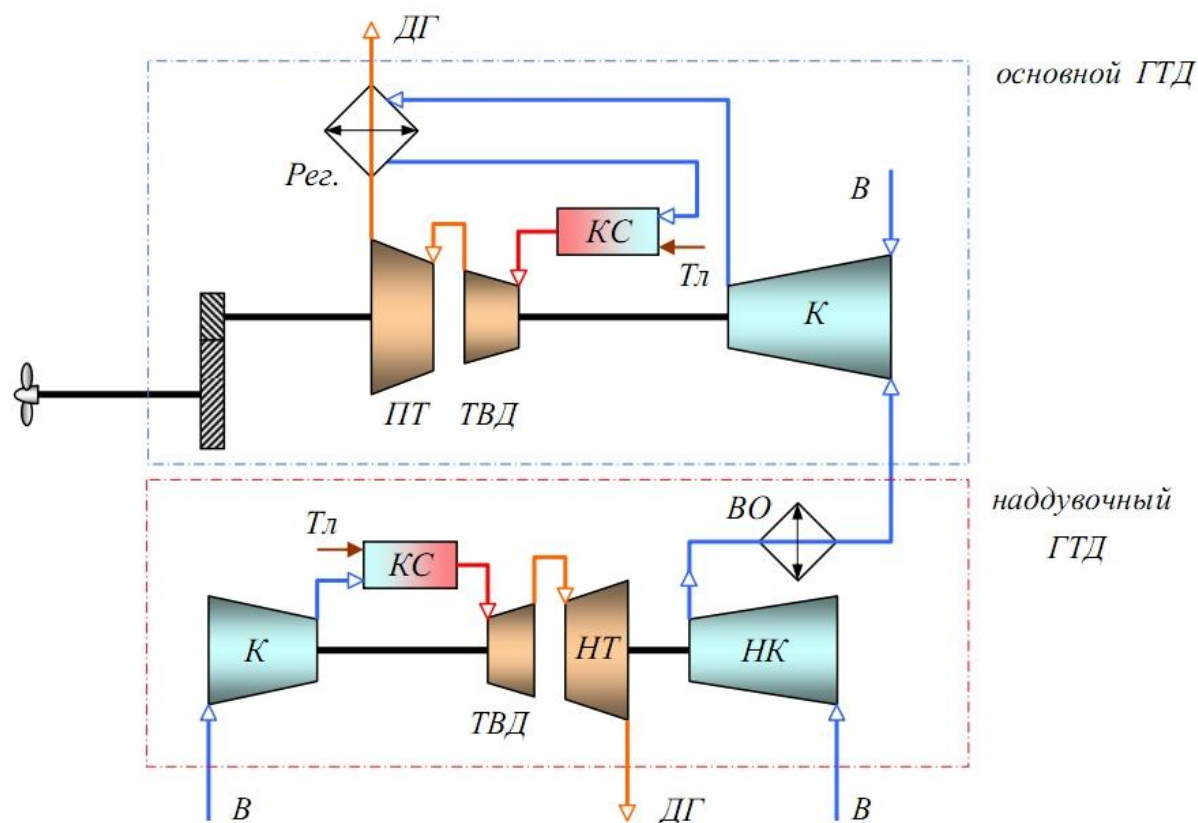
$ГК$ – главный котел; $ГПТ$ – главная паровая турбина (маршевая часть установки);
 P – редуктор; $ГТД$ – газотурбинный двигатель (форсажная часть установки).

ГАЗО-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ



а, б – для двухвальных судов с работой МУ и ФУ на общий винт (установки ГИГР, ГТР);
в, г – для трехвальных судов с работой МУ и ФУ на отдельные винты (ГИГВ, ГТВ);
д, е – для четырехвальных судов с работой МУ и ФУ на отдельные винты (ГИГВ, ГТВ).

ГАЗО-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ОТКЛЮЧАЕМЫМ НАДДУВОМ



К – компрессоры ГТД; *КС* – камеры сгорания; *НК* – наддувочный компрессор;
ТВД – турбины высокого давления; *НТ* – наддувочная турбина;
ПТ – пропульсивная турбина; *Рег.* – регенератор; *ВО* – воздухоохладитель;
В – забор воздуха из атмосферы; *ДГ* – выброс отработавших газов;
Тл – подача топлива.

КЭУ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

В основе работы всех КЭУ с термодинамической связью лежит принцип максимально возможного использования теплоты отработавших газов главного двигателя.

Так как теплота отработавших газов в тепловом балансе любого типа двигателя является самой большой по величине потерей, то вернув часть теплоты газов обратно в общий термодинамический цикл КЭУ, можно полезно использовать эту теплоту и одновременно снизить величину потерь с уходящими газами.

Вернуть часть теплоты газов в цикл КЭУ возможно с помощью использования утилизационных паровых котлов или утилизационных газовых турбин.

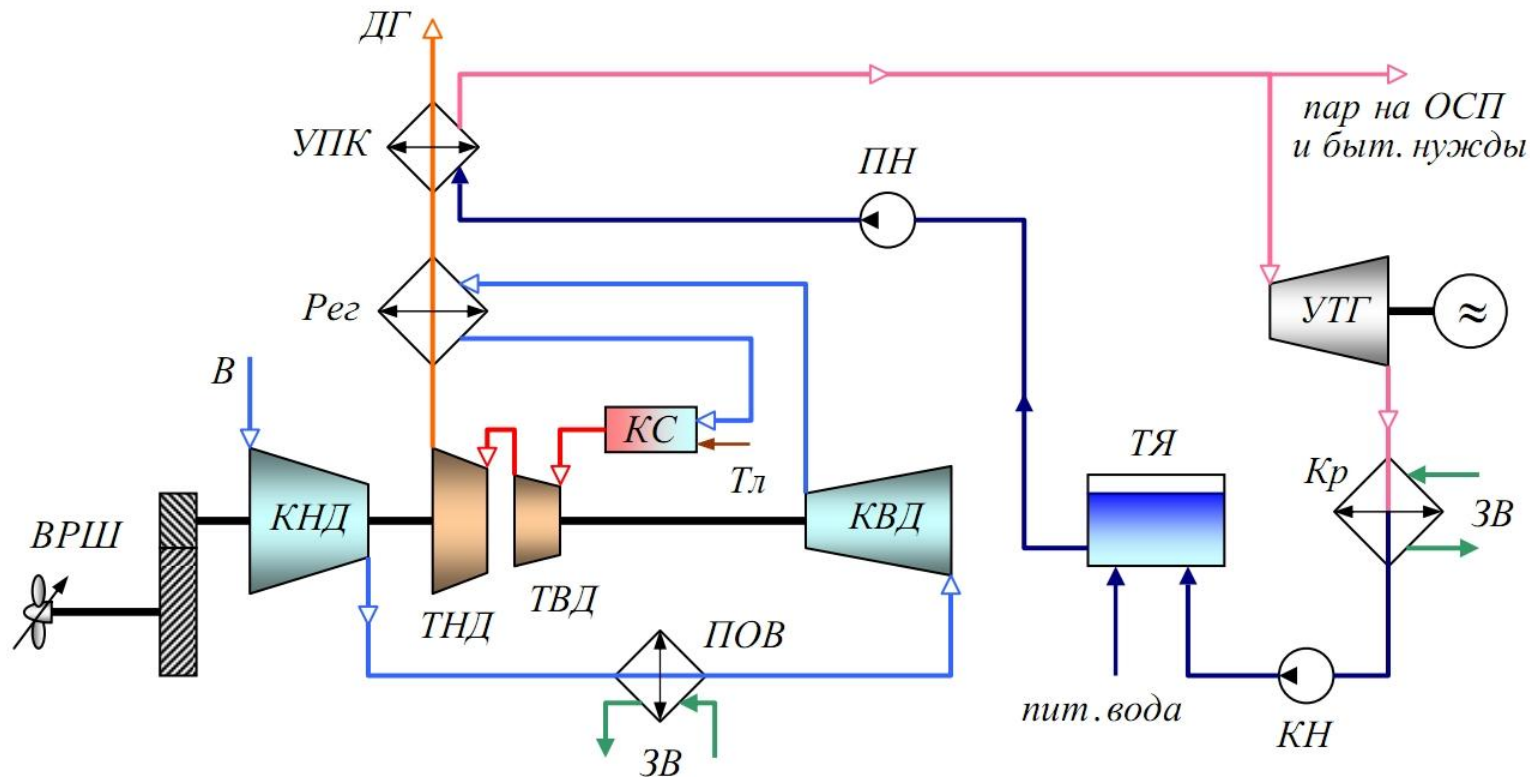
КЭУ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

В первом случае речь идет о комбинированных установках с паровой (или паротурбинной) утилизационной частью, в которых теплота отработавших газов используется для испарения питательной воды и выработки из нее пара заданных параметров, с последующим использованием этого пара в утилизационных пропульсивных паровых турбинах, утилизационных турбогенераторах, или для бытовых нужд судна.

Во втором случае речь идет об использовании энергии отработавших газов в утилизационной газовой турбине, которая может осуществлять передачу мощности на двигатель судна, а также являться приводным двигателем утилизационных газотурбогенераторов, вырабатывающих электроэнергию, или наддувочных агрегатов главных дизельных двигателей и паровых котлов.

ГАЗО-ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

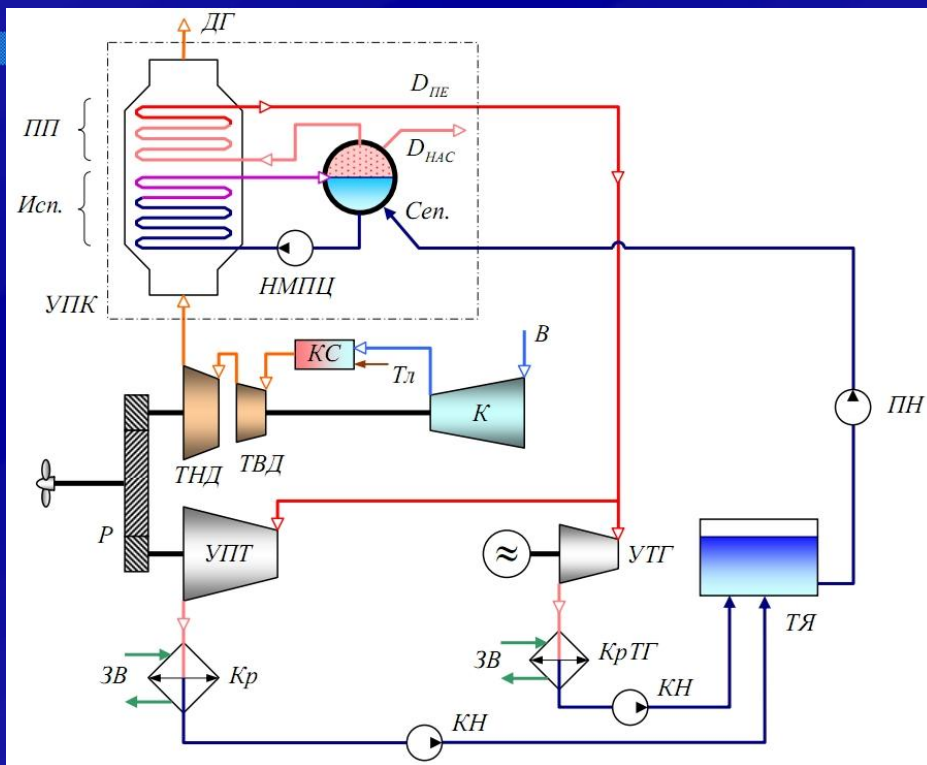
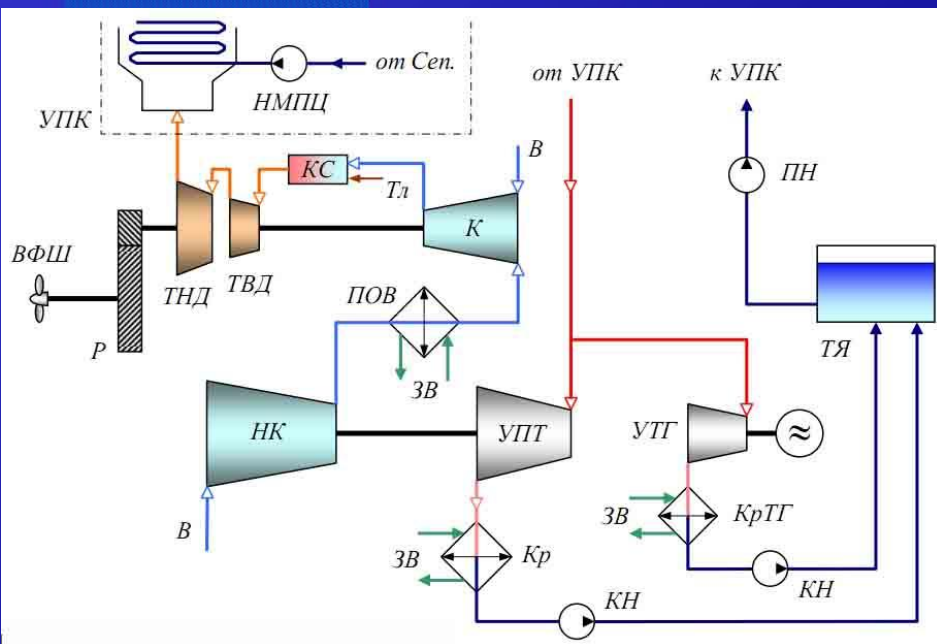
ГПТУ с непрямочным регенеративным ГТД и использованием энергии пара для выработки электроэнергии в УТГ



B – забор воздуха из атмосферы; *T_л* – подача топлива; *ЗВ* – охлаждающая заборная вода; *ДГ* – выброс дымовых газов; *КНД* – компрессор низкого давления; *ПОВ* – промежуточный охладитель воздуха; *КВД* – компрессор высокого давления; *Рег* – регенератор; *КС* – камера сгорания; *УПК* – утилизационный паровой котел; *УТГ* – утилизационный турбогенератор; *ОСП* – общесудовые потребители пара; *Кр* – конденсатор УТГ; *КН* – конденсатный насос; *ТЯ* – теплый ящик; *ПН* – питательный насос.

ГАЗО-ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

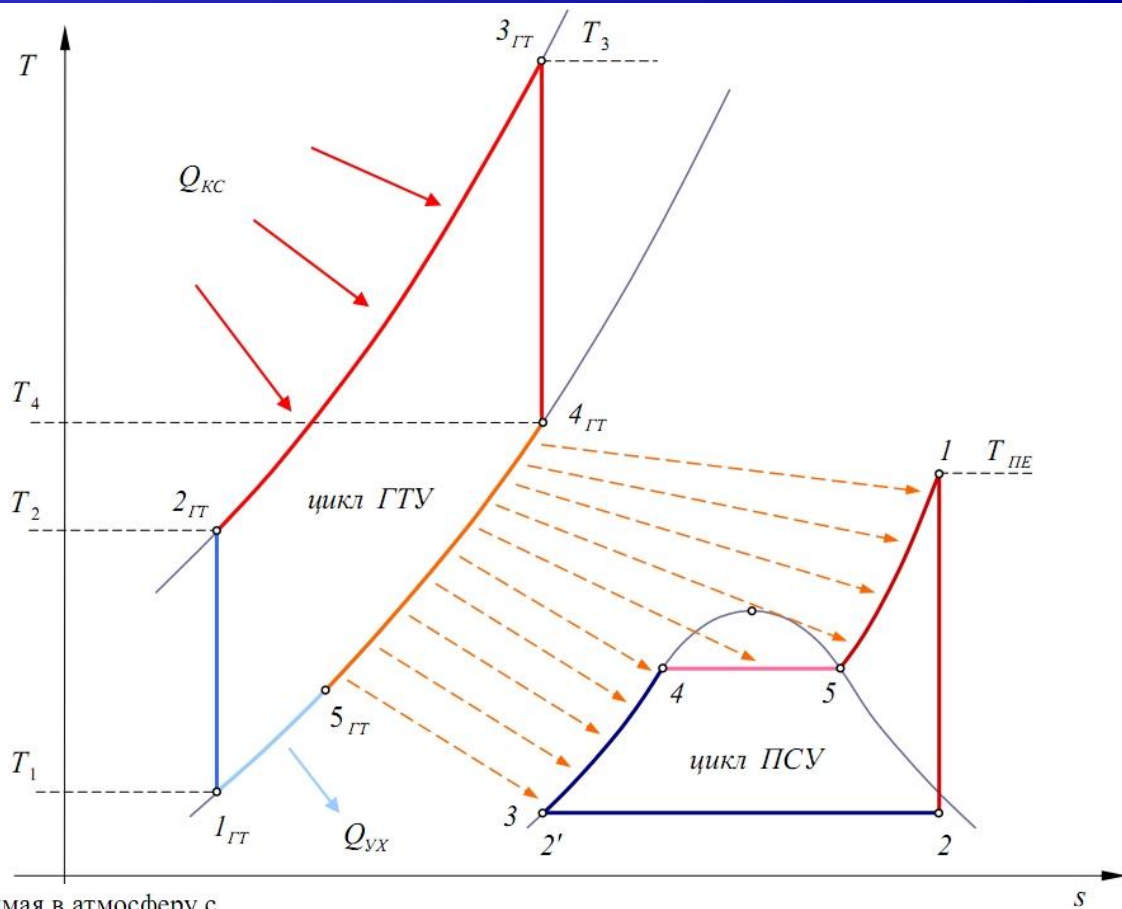
ГПТУ с непрямоточным регенеративным ГТД и использованием энергии пара для выработки электроэнергии в УТГ



УПК – утилизирующий паровой котел; Исп. – испарительная секция УПК; ПП – пароперегревательная секция УПК; Сеп. – сепаратор УПК; Р – редуктор; НМПЦ – насос многократной принудительной циркуляции; К – компрессор ГТД; КС – камера сгорания ГТД; ТВД – турбина высокого давления; ТНД – турбина низкого давления; УПТ – утилизирующая паровая турбина; УТГ – утилизирующий турбогенератор; Кр – конденсатор УПТ; КрТГ – конденсатор УТГ; ТЯ – теплый ящик; КН – конденсатный насос; ПН – питательный насос; НК – наддувочный компрессор; ПОВ – промежуточный охладитель воздуха; $D_{пг}$ – отбор перегретого пара из УТГ; $D_{нас}$ – отбор насыщенного пара из УТГ на бытовые нужды судна; ДГ – дымовые газы; ЗВ – забортная охлаждающая вода; В – подача воздуха; Т – подача топлива.

а – с пропульсивной паровой турбиной;
б – фрагмент варианта схемы ПГТУ с отключаемым наддувом.

СОВМЕЩЕННЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ КОМБИНИРОВАННОЙ ГПТУ

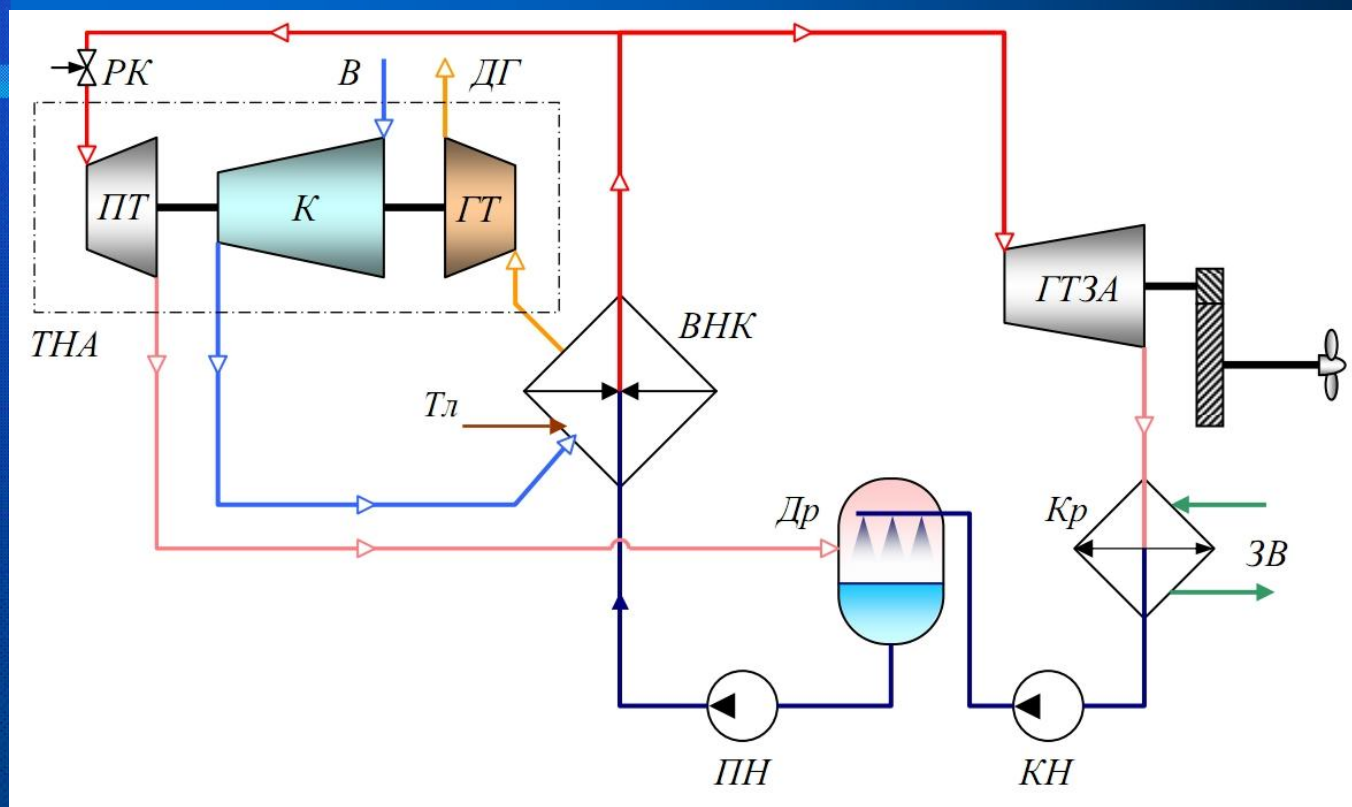


$Q_{КС}$ – теплота, подведенная в КС ГТД; $Q_{ВХ}$ – теплота, отводимая в атмосферу с выхлопными газами; $T_{ПЕ}$ – температура перегретого пара.

- $1_{ГТ} - 2_{ГТ}$ – адиабатное сжатие воздуха в компрессоре ГТД;
- $2_{ГТ} - 3_{ГТ}$ – изобарный подвод теплоты в камере сгорания ГТД;
- $3_{ГТ} - 4_{ГТ}$ – адиабатное расширение газа в газовой турбине;
- $4_{ГТ} - 5_{ГТ}$ – изобарный отвод теплоты отработавших газов в УПК на подогрев питательной воды, ее испарение и перегрев пара;
- $5_{ГТ} - 1_{ГТ}$ – отвод теплоты от отработавших газов в атмосферу (условный замыкающий процесс для цикла ГТУ);
- $3 - 4$ – подогрев питательной воды в УПК до температуры кипения;
- $4 - 5$ – парообразование в испарительной части УПК;
- $5 - 1$ – изобарный перегрев пара в пароперегревателе УПК;
- $1 - 2$ – адиабатное расширение пара в утилизационной паровой турбине и в утилизационном турбогенераторе;
- $2 - 2'$ – конденсация пара в конденсаторах УПТ и УТГ;
- $2' - 3$ – сжатие питательной воды в конденсатном и питательном насосах.

ПАРО-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

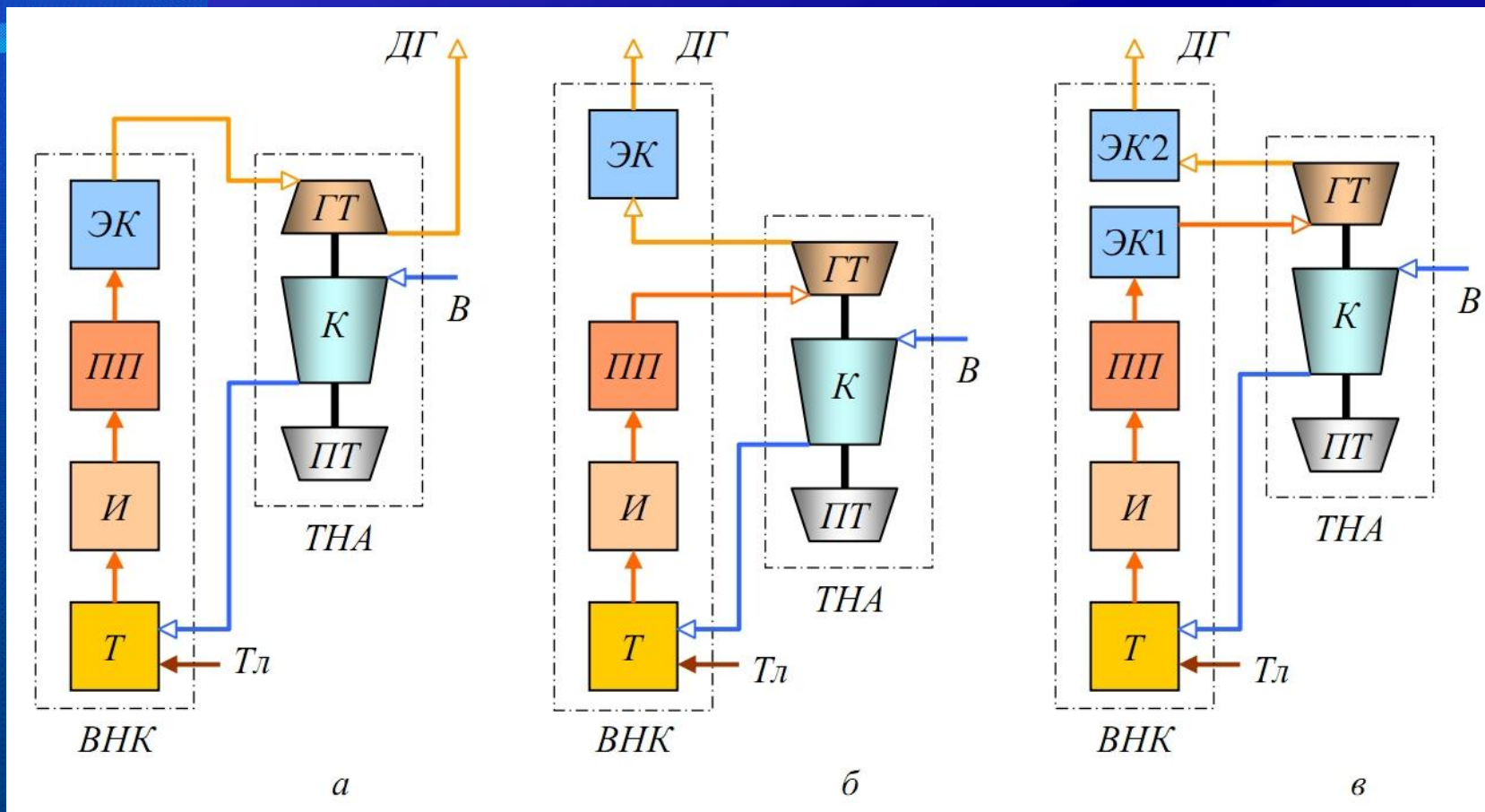
ПГУ с высоконапорным паровым котлом



ВНК – высоконапорный котел; *ТНА* – турбонаддувочный агрегат главного котла; *ГТ* – газовая турбина ТНА; *К* – компрессор ТНА; *ПТ* – дополнительная паровая турбина ТНА; *РК* – регулирующий клапан ТНА; *ГТЗА* – главный турбозубчатый агрегат; *Кр* – главный конденсатор; *КН* – конденсатный насос; *Тл* – подача топлива; *Др* – водоподогреватель (деаэратор); *ПН* – питательный насос; *В* – подача воздуха из атмосферы; *ДГ* – дымовые газы; *ЗВ* – охлаждающая забортная вода.

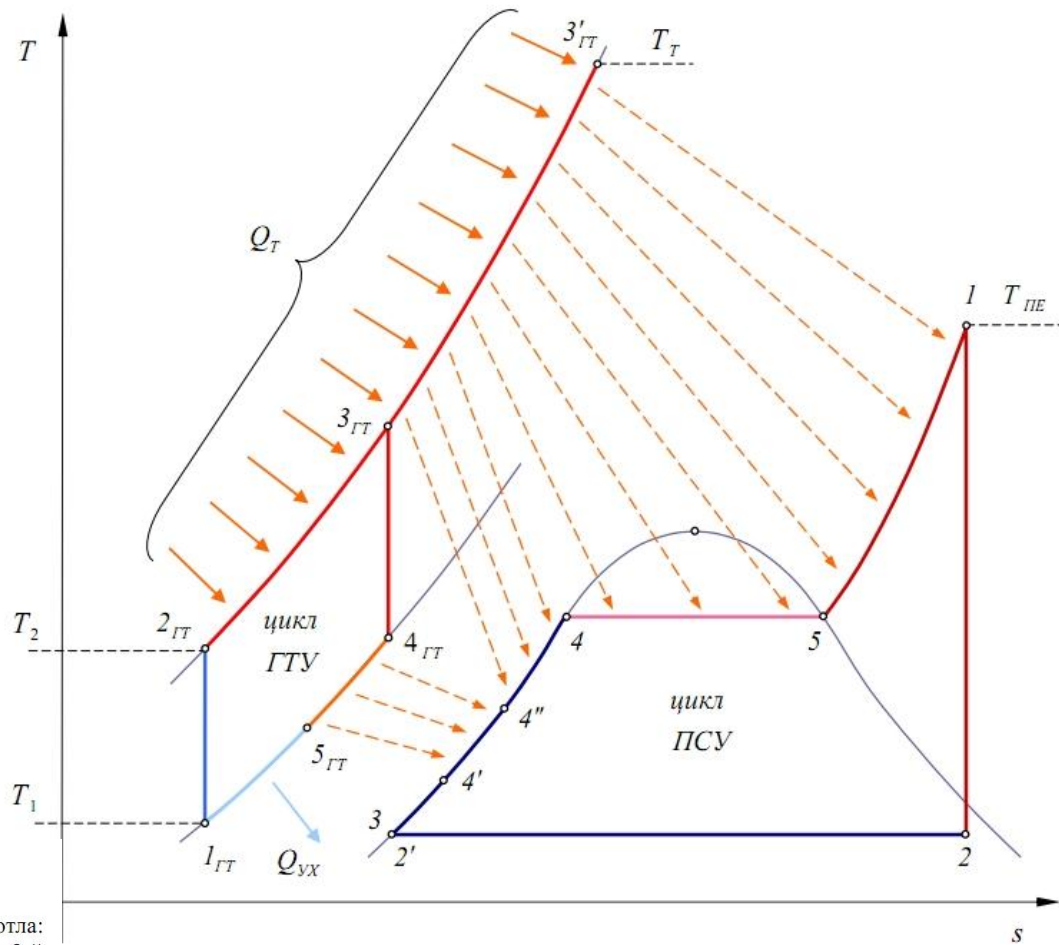
ПАРО-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

Варианты размещения газовой турбины турбо-наддувочного агрегата (ТНА) главного котла в воздушно-газовом тракте высоконапорного котла (ВНК)



T – топка котла; $И$ – испарительная поверхность нагрева; $ПП$ – пароперегреватель; $ЭК$ – экономайзер; $В$ – подача воздуха; T_l – подача топлива; $ДГ$ – дымовые газы.

ПАРО-ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ



- $1_{ГТ} - 2_{ГТ}$ — адиабатное сжатие воздуха в компрессоре ТНА;
- $2_{ГТ} - 3'_{ГТ}$ — изобарный подвод теплоты в топке ВНК;
- $3'_{ГТ} - 3_{ГТ}$ — передача теплоты нагреваемым средам в поверхностях нагрева котла: пару — в пароперегревателе, питательной воде — в испарителе и 2-й секции экономайзера;
- $3_{ГТ} - 4_{ГТ}$ — адиабатное расширение газа в газовой турбине ТНА;
- $4_{ГТ} - 5_{ГТ}$ — передача теплоты газов нагреваемой воде в 1-й секции экономайзера котла;
- $5_{ГТ} - 1_{ГТ}$ — отвод теплоты отработавших газов в атмосферу (условный замыкающий процесс);
- $3 - 4'$ — подогрев питательной воды в водоподогревателе;
- $4' - 4''$ — подогрев питательной воды в 1-й секции экономайзера;
- $4'' - 4$ — подогрев питательной воды во 2-й секции экономайзера и в испарительной части котла до температуры кипения;
- $4 - 5$ — парообразование в испарительной части ВНК;
- $5 - 1$ — изобарный перегрев пара в пароперегревателе ВНК;
- $1 - 2$ — адиабатное расширение пара в главной паровой турбине;
- $2 - 2'$ — конденсация отработавшего пара в главном конденсаторе;
- $2' - 3$ — сжатие питательной воды в конденсатном и питательном насосах.