

р. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
Серия А № 187 1960

---

О. Э. МЯЕКЮЛА

**НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК  
СОВРЕМЕННЫХ КРУПНОТОННАЖНЫХ ТАНКЕРОВ**

ТАЛЛИН, 1960



Ep. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
Серия А № 187 1960

---

О. Э. МЯЕКЮЛА

**НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК  
СОВРЕМЕННЫХ КРУПНОТОННАЖНЫХ ТАНКЕРОВ**

ТАЛЛИН, 1960

1980 14 187

О. Я. МЕРКЮЛЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОТНО-ТАНКОВЫЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ

Ep. 3640



## ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличивающимся объемом морских перевозок нефти и нефтепродуктов тоннаж мирового танкерного флота увеличился за 1946—1959 гг. в 2,5 раза и составлял в конце указанного периода 37,9 млн. рег. т, т. е. около 30% тоннажа торгового флота [13]. В течение ряда последних лет из спущенных на воду торговых судов около половины по тоннажу (в 1957 г. — 45%, в 1958 г. — 52%, в 1959 г. — 50%) составляли танкеры, причем преимущественно крупнотоннажные, водоизмещением 20 000 т и более. Следовательно, танкеры являются специальным типом транспортного судна, строительству которых уделяется большое внимание. Специфика эксплуатации и род перевозимого груза обуславливают особенности танкеров и их силовых установок.

Целью настоящей работы является получение некоторых основных технико-эксплуатационных показателей силовых установок танкеров водоизмещением 20 000—60 000 т, которые могут быть положены в основу при выявлении оптимального типа силовой установки для отечественных танкеров. Полученные в работе эмпирические зависимости являются обобщением данных по современным танкерам, опубликованных в периодической печати в последние годы. Так как на крупнотоннажных танкерах новой постройки в настоящее время применяются дизельные установки с тихоходными ДВС и паротурбинные с ГТЗА, то здесь ограничиваемся рассмотрением указанных типов силовых установок.

### 1. Скорость хода танкеров и мощность силовой установки

Повышение скорости торговых судов способствует ускорению доставки грузов, а также повышает провозоспособность отдельных судов и флота в целом. Так как грузовые операции на танкерах механизированы, то их

эксплуатационные стоянки являются минимальными. Благодаря этому с увеличением скорости хода провозоспособность танкеров резко возрастает.

При проектировании скорость хода танкера выбирается на основании технико-экономического расчета. Так как исходные данные для этих расчетов (стоимость топлива, первоначальная стоимость судна и его силовой установки, дальность перевозок и пр.) в отдельных странах разные, а оптимальные скорости судов отдельными судовладельцами определяются исходя из неодинаковых принципов (по минимальной себестоимости перевозок, по максимальной прибыли и т. д.), то скорости танкеров одинакового дедвейта получаются разными.

Значения эксплуатационной скорости для некоторых танкеров приводятся на рис. 1 и, как из него видно, находятся в интервале 14—18 узлов. Танкеров с более высокими скоростями для торгового флота в настоящее время не строят. Нижний предел скоростей с увеличением дедвейта повышается и для танкеров дедвейтом 35 000 т и выше составляет 16—17 узлов. С увеличением дедвейта увеличивается также число танкеров с повышенными скоростями.

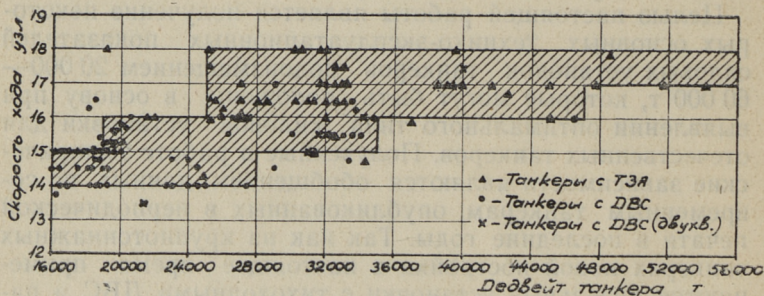


Рис. 1. Эксплуатационная скорость современных танкеров.

Необходимая мощность главной машины судна для обеспечения заданной скорости хода

$$N_e = \alpha \cdot D \text{ э.л.с.} \dots \dots \dots (1),$$

где  $\alpha$  — относительная мощность главной машины в э.л.с./т,

$D$  — водоизмещение судна в полном грузу в тоннах.

Относительная мощность главной машины танкеров с одновальной силовой установкой может быть определена по графикам рис. 2, построенным по данным Бенфорда [6]. При построении графиков дедвейт танкера пересчитан в водоизмещение по эмпирической формуле

$$D = 2000 + 1,24 \cdot DW \text{ т} \dots \dots \dots (2),$$

где  $DW$  — дедвейт танкера в тоннах.

Формула (2) применима для танкеров дедвейтом от 15 000 до 50 000 т.

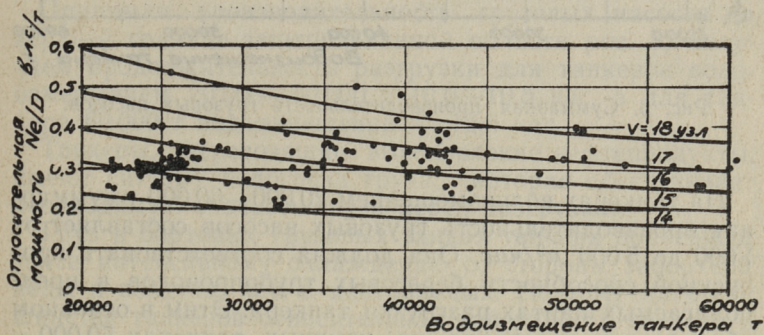


Рис. 2. Относительная мощность силовых установок танкеров.

Точки на рис. 2 дают значения относительной мощности установок некоторых существующих танкеров. Несмотря на разброс точек (из-за различий в обводах корпусов и пропульсивных коэффициентах) графики на рис. 2 достаточно точно отражают действительную зависимость относительной мощности от водоизмещения и могут быть использованы для оценки мощности силовых установок танкеров.

Тенденция строить крупные танкеры более быстроходными в основном объясняется уменьшением относительной мощности главной машины при увеличении водоизмещения судна.

## II. Грузовые средства и подогрев груза

Производительность грузовых насосов некоторых существующих танкеров приводится на рис. 3.

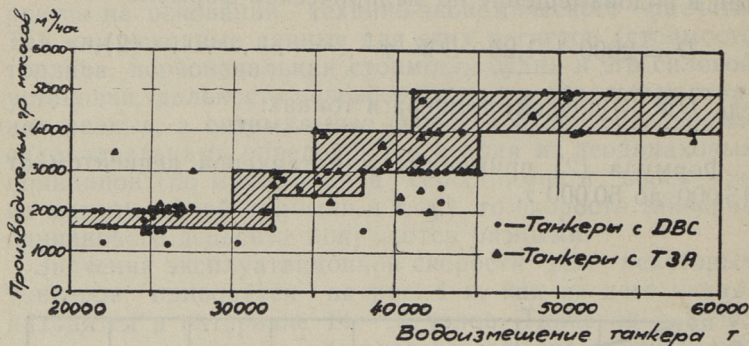


Рис. 3. Суммарная производительность грузовых насосов.

На танкерах водоизмещением 20 000—60 000 т суммарная производительность грузовых насосов составляет от 1 600 до 5 000  $m^3/час$ . Она должна соответствовать пропускной способности береговых трубопроводов в предполагаемых партах разгрузки танкера. Этим в основном объясняется установка на крупных танкерах 50 000—60 000 т водоизмещения грузовых насосов общей производительностью, не превышающей 5 000  $m^3/час$ . Производительность зачистных насосов составляет 5—12% (на отдельных танкерах до 25%) от производительности грузовых насосов.

На танкерах новой постройки имеется тенденция устанавливать грузовые насосы большей производительности. В связи с этим производительность грузовых насосов проектируемых танкеров следует ориентировочно выбрать по верхней границе заштрихованной области рис. 3.

Продолжительность разгрузки танкера, грузовые танки которого заполнены

$$\tau_p = \frac{V_{гт}}{Q_n} \quad \text{час} \quad \dots \quad (3),$$

где  $V_{гт}$  — объем грузовых танков с вычетом 2% объема на расширение в  $m^3$ ,



$Q_n$  — суммарная производительность грузовых насосов в  $м^3/час$ .

Между объемом грузовых танков и водоизмещением танкера существует прямолинейная зависимость, которая выражается эмпирической формулой

$$V_{zm} = 1,067 \cdot D - 1350 \text{ м}^3 \quad \dots \quad (4)$$

Заменяя в формуле (3) объем грузовых танков по формуле (4), получаем

$$\tau_p = \frac{1,067 \cdot D - 1350}{Q_n} \text{ час} , \quad \dots \quad (5)$$

Принимая производительность грузовых насосов по верхней границе заштрихованной области рис. 3, получаем продолжительность разгрузки для танкеров водоизмещением 20 000—50 000 т 10,0—10,5 час, а для танкера 60 000 т водоизмещения — 12,6 час.

Танкеры, перевозящие высоковязкие нефтепродукты, имеют систему подогрева груза, которая обеспечивает необходимую вязкость груза перед разгрузкой.

Груз в бортовых грузовых танках танкера подвержен более интенсивному охлаждению со стороны забортной воды и воздуха, чем в центральных. Поэтому на большинстве танкеров относительная поверхность нагрева в бортовых танках в среднем на 20% больше, чем в центральных.

Общая поверхность нагрева системы подогрева груза может быть определена по средней относительной поверхности нагрева, так как объемы центральных и бортовых грузовых танков примерно равны.

На рис. 4 приводятся средняя относительная и общая поверхности нагрева змеевиков в грузовых танках существующих танкеров.

Указанные данные могут быть аппроксимированы следующими эмпирическими зависимостями.

Относительная поверхность нагрева

$$h_{zm} = 0,028 + \frac{240}{D} \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad \dots \quad (6),$$

а общая поверхность нагрева

$$H_{zm} = 195 + 0,0303 \cdot D \text{ м}^2 \quad \dots \quad (7).$$

Часовой расход пара на подогрев груза

$$G_{зм} = g_{зм} \cdot H_{зм} \text{ кг/час} \dots \dots \dots (8),$$

где  $g_{зм}$  — часовой расход греющего пара, отнесенный на один квадратный метр поверхности нагрева в  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{час}$ .

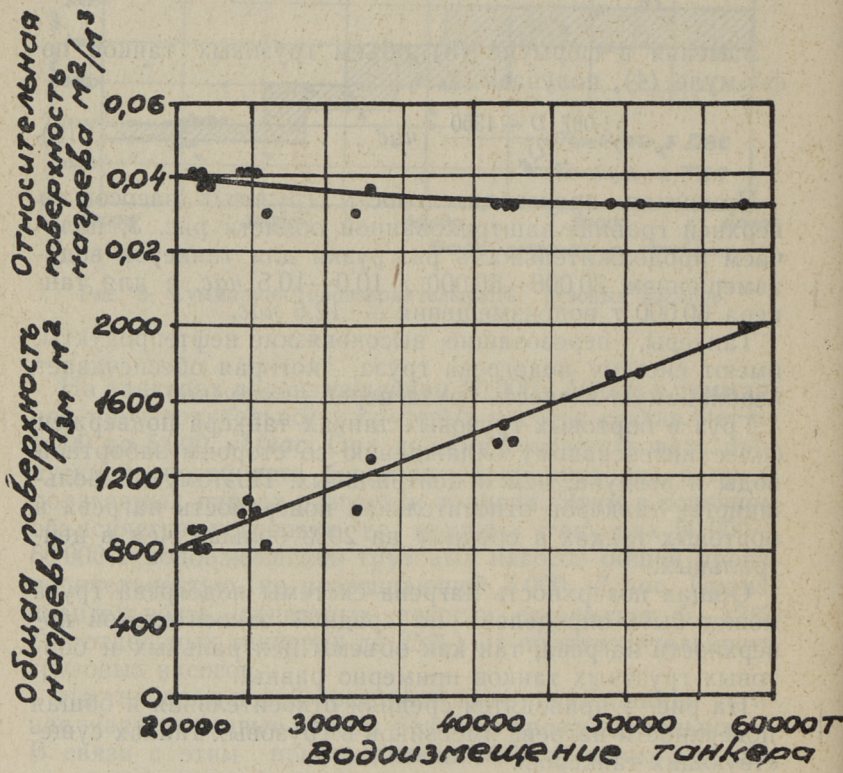


Рис. 4. Поверхность нагрева системы подогрева груза.

Заменяя в формуле (8) поверхность нагрева по формуле (7), получаем

$$G_{зм} = g_{зм} (195 + 0,0303 \cdot D) \text{ кг/час} \dots \dots \dots (9).$$

$g_{зм}$  определяется из уравнения теплового баланса змеевика. Для змеевиков, изготовленных из труб с на-

ружным диаметром 57 мм, при средней температуре нагреваемого груза в 40°C и давлении греющего пара 3 ата  $g_{зм} = 8,8 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ , при давлении пара 7 ата  $g_{зм} = 10,9 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ .

В зависимости от сорта груза и метеорологических условий продолжительность подогрева груза практически равна 24—72 час.

Центробежные грузовые насосы на большинстве танкеров приводятся вспомогательными турбинами. На танкерах с дизельными установками турбины работают насыщенным паром 11—16 ата из вспомогательных котлов, на танкерах с турбозубчатыми агрегатами — слабоперегретым паром из внутрибарабанных пароохладителей. В последнем случае параметры пара в пределах 40 ата/275°C—60 ата/300°C.

Турбины грузовых насосов в большинстве случаев работают на атмосферные конденсаторы.

Потребная мощность для привода насоса

$$N_e^H = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{270 \cdot \eta_n} \text{ э.л.с.} \dots \dots \dots (10),$$

а расход пара на турбину грузового насоса

$$G_n = \frac{632,3 \cdot N_e^H}{\Delta i \cdot \eta_{ет} \cdot \eta_n} \text{ кг/час} \dots \dots \dots (11).$$

В формулах (10) и (11) приняты следующие обозначения:

- $Q$  — производительность насоса в  $\text{м}^3/\text{час}$ ,
- $H$  — создаваемый насосом напор в  $\text{м вод. ст.}$ ,
- $\gamma$  — удельный вес перекачиваемой жидкости в  $\text{т/м}^3$ ,
- $\Delta i$  — адиабатический теплоперепад в турбине в  $\text{ккал/кг}$ ,
- $\eta_n$  — к.п.д. насоса,
- $\eta_{ет}$  — эффективный к.п.д. турбины,
- $\eta_n$  — к.п.д. передачи.

В таблице 1 приводится часовой расход пара на привод грузовых насосов с турбоприводом и на систему подогрева груза, рассчитанный соответственно по формулам (9) и (11). Центробежные насосы с хорошими гидродинамическими характеристиками имеют к.п.д.  $\sim 0,87$ . С учетом поправочного коэффициента 0,86 на к.п.д. [12], зави-

сящего от вязкости перекачиваемой жидкости, в расчете к.п.д. насосов принят 0,75. Напор насосов принят 100 м вод. ст., удельный вес перекачиваемой жидкости 1 т/м<sup>3</sup>, а эффективный к.п.д. турбин определен с учетом мощности и параметров пара.

Таблица 1

Показатель	Водоизмещение танкера т				
	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000
Число $\times$ производительность грузовых насосов м <sup>3</sup> /час	4 $\times$ 500	4 $\times$ 750	4 $\times$ 1000	4 $\times$ 1250	4 $\times$ 1250
Расход пара на грузовые насосы т/час при начальных параметрах пара:					
16 ата, насыщенный	11,9	16,3	20,6	24,4	24,4
40 ата, 275°C	10,0	13,4	16,6	19,9	19,9
Расход пара на подогрев груза т/час при давлении греющего пара:					
3 ата (насыщенный)	7,0	9,7	12,3	15,0	17,6
7 ата (насыщенный)	8,25	12,0	15,3	18,6	22,0

Благодаря более высоким параметрам пара перед турбинами грузовых насосов, часовой расход пара на разгрузку паротурбинных танкеров по сравнению с дизельными меньше. Так как на танкерах с дизельными силовыми установками часовой расход пара на привод грузовых насосов превышает расход пара на систему подогрева груза, то необходимая производительность вспомогательных котлов определяется расходом пара на грузовые насосы. Для снижения производительности вспомогательных котлов в последнее время на дизельных танкерах стали применять центробежные грузовые насосы с приводом от вспомогательных ДВС.

### III. Расход топлива и масла

Расход топлива на рейс складывается из расходов на главные и вспомогательные двигатели, на подогрев груза на ходовом режиме и из расхода при разгрузке танкера на стоянке. Расход топлива на остальные вспомогательные нужды на стоянках танкеров мал.

На дизельных танкерах новой постройки в качестве главных двигателей применяются тихоходные ДВС с турбонаддувом. Они оборудованы для работы на тяжелом топливе. Во время пуска, остановки и маневров двигатели работают на дизельном топливе. Удельный расход дизельного топлива составляет около 0,155 кг/э.л.с. час, а удельный расход тяжелого топлива на 3—5% больше и составляет около 0,163 кг/э.л.с. час. Увеличение удельного расхода вызвано более низкой теплотворной способностью тяжелого топлива и потерями топлива в сепараторах, которые включены в систему тяжелого топлива.

Вследствие эксплуатационного износа и нарушения регулировки к концу межремонтного периода ДВС удельный расход топлива увеличивается на 5% [5], а в среднем во время эксплуатации на 2,5%. Таким образом эксплуатационный удельный расход тяжелого топлива в главных двигателях составляет 0,167 кг/э.л.с. час, дизельного — 0,159 кг/э.л.с. час.

На рис. 5 приводятся данные по установленной мощности электростанций паротурбинных и дизельных танкеров, на которых вспомогательные механизмы в основном электрифицированы.

Установленная мощность дизельгенераторов может быть выражена эмпирической зависимостью

$$N_{\partial z}^{vcm} = 240 + 0,00305 \cdot N_e^{1,25} \text{ кВт} \dots \dots (12).$$

На большинстве танкеров имеется два одинаковых дизельгенератора. Из них на ходу судна работает один, второй резервный. Следовательно, требуемая электрическая мощность на ходовом режиме составляет половину мощности электростанции (кривая 4 на рис. 5). Мощность дизельгенератора на ходовом режиме

$$N_{\partial z} = 120 + 0,001525 \cdot N_e^{1,25} \text{ кВт} \dots \dots (13).$$

Мощность, потребляемая на привод электрогенераторов на ходу судна

$$N_{\partial z} = \frac{1,36 \cdot N_{\partial z}}{\eta_z} \text{ э.л.с.} \dots \dots (14),$$

где  $\eta_z$  — к.п.д. электрогенератора.

Заменяя в формуле (14) электрическую мощность по формуле (13) и принимая к.п.д. электрогенератора 0,9, получаем

$$N_{эг} = 181,5 + 0,0023 \cdot N_e^{1,25} \text{ э.л.с.} \quad (15).$$

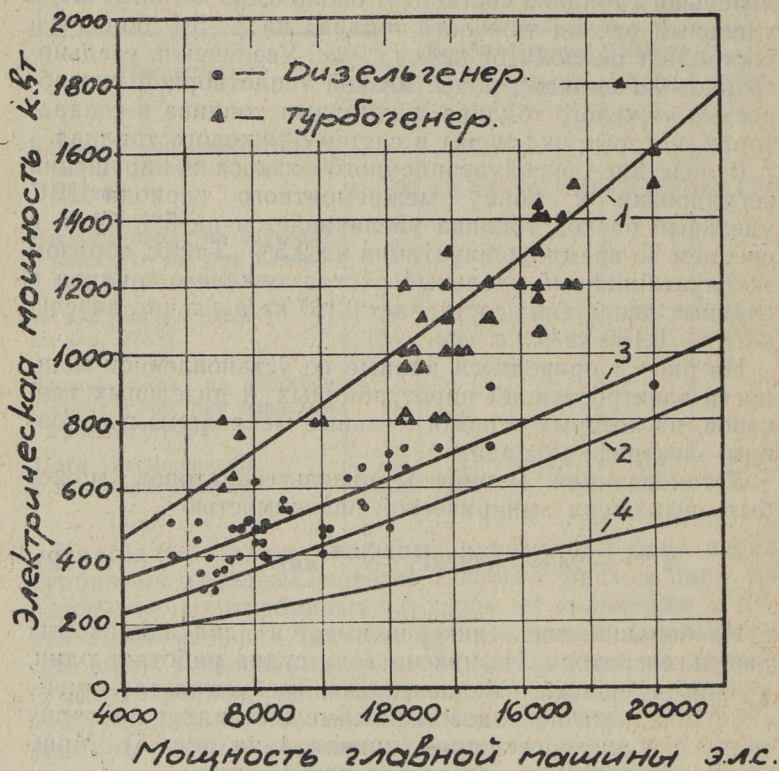


Рис. 5. Мощность электростанций. 1 — Установленная мощность электростанций на танкерах с ТЗА; 2 — потребная мощность электрогенераторов на танкерах с ТЗА на ходовом режиме; 3 — установленная мощность электростанций на танкерах с ДВС; 4 — потребная мощность электрогенераторов на танкерах с ДВС на ходовом режиме.

При мощности главного двигателя 6000 э.л.с. на привод электрогенераторов затрачивается мощность, составляющая 5% от мощности главного двигателя, а при мощности главного двигателя от 16 000 э.л.с. и выше — 3,6%.

Кроме дизельгенераторов на современных крупнотоннажных дизельных танкерах применяются турбогенераторы, которые на ходу судна работают насыщенным паром из утилизационного котла, а на стоянке паром из вспомогательных котлов. Турбины работают на атмосферные конденсаторы.

Расчеты показывают, что вспомогательная турбина, работающая паром 7 ата из утилизационного котла (температура выхлопных газов главного двигателя 310—325°С, температура питательной воды 50°С), может развивать только 1,9% мощности главного двигателя. В реальных условиях часть пара из утилизационного котла идет на подогреватели топлива, на отопление помещений и т. д. Следовательно, за счет утилизации тепла выхлопных газов главного двигателя можно получить меньше половины необходимой электроэнергии. Эффективность турбогенераторов может быть повышена применением пароперегревателей в утилизационных котлах и вакуумных вспомогательных конденсаторов. Это связано с усложнением установок. Основными источниками электроэнергии остаются дизельгенераторы.

Для привода электрогенераторов на судах применяются 4-тактные ДВС, которые работают на дизельном топливе. Удельный расход топлива в них составляет 0,17 кг/э.л.с. час, а с учетом увеличения расхода на 2,5% — 0,175 кг/э.л.с. час.

Средний удельный расход топлива в дизельной установке на ходовом режиме (без подогрева груза), приведенный к мощности главного двигателя

$$b_e^{\partial y} = m \cdot b_m^{z\partial} + \partial \cdot b_{\partial}^{z\partial} + \frac{b_{\partial}^{s\partial} \cdot N_{э2}}{N_e} \text{ кг/э.л.с. час} \quad (16),$$

- где  $b_m^{z\partial}$  — удельный расход тяжелого топлива в главном двигателе в кг/э.л.с. час,  
 $b_{\partial}^{z\partial}$  — удельный расход дизельного топлива в главном двигателе в кг/э.л.с. час,  
 $b_{\partial}^{s\partial}$  — удельный расход дизельного топлива во вспомогательном двигателе в кг/э.л.с. час,  
 $m$  — доля времени работы главного двигателя на тяжелом топливе,  
 $\partial$  — доля времени работы главного двигателя на дизельном топливе.

Заменяя в формуле (16) мощность двигателя дизель-генератора по формуле (15), учитывая вышеприведенные удельные расходы топлива для главных и вспомогательных двигателей и принимая, что главный двигатель 95% времени работает на тяжелом топливе и 5% на дизельном (средние цифры по данным эксплуатации танкеров), т. е.  $m = 0,95$  и  $d = 0,05$ , получаем

$$b_e^{\partial y} = 0,159 + 0,00795 + \frac{31,8 + 0,000403 \cdot N_e^{1,25}}{N_e} \text{ кг/э.л.с. час (17),}$$

где доля тяжелого топлива в удельном расходе на установку

$$b_m = 0,159 \text{ кг/э.л.с. час,}$$

а доля дизельного топлива

$$b_d = 0,00795 + \frac{31,8 + 0,000403 \cdot N_e^{1,25}}{N_e} \text{ кг/э.л.с. час.}$$

Очевидно  $b_e^{\partial y} = b_m + b_d \text{ кг/э.л.с. час . . . . (18).}$

В просиловых установках в качестве топлива применяется мазут, причем топливо сжигается только в топках паровых котлов. В общую систему пар-конденсат включены все главные и паровые вспомогательные механизмы. Электроэнергия на паротурбинных танкерах вырабатывается турбогенераторами, которые также получают пар из главных котлов. Поэтому расход топлива на главные и вспомогательные механизмы нужно рассматривать вместе.

Установленная мощность электростанции паротурбинного танкера может быть выражена эмпирической зависимостью

$$N_{mg}^{ycm} = 240 + 0,0135 \cdot N_e^{1,165} \text{ кВт . . . . (19),}$$

а потребная мощность электрогенератора на ходовом режиме

$$N_{mg} = 120 + 0,00675 \cdot N_e^{1,165} \text{ кВт . . . . (20).}$$

Удельный расход топлива в паросиловой установке на ходовом режиме танкера (без подогрева груза)

$$b_e^{ny} = K \cdot \frac{632,3}{Q_p^n \cdot \eta_y} \text{ кг/э.л.с. час. . . . . (21),}$$



где  $K$  — коэффициент, учитывающий увеличение удельного расхода топлива вследствие эксплуатационного износа механизмов,

$Q_p^H$  — низшая теплотворная способность топлива в ккал/кг,

$\eta_y$  — к.п.д. силовой установки.

В большинстве паросиловых установок новых танкеров применяется перегретый пар давлением 43—46 ата и

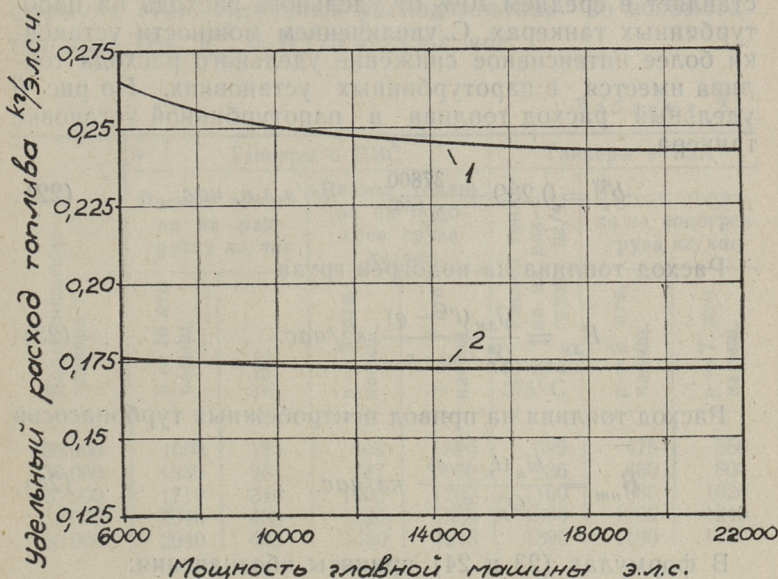


Рис. 6. Удельный расход топлива в силовых установках. 1 — установка с ТЗА; 2 — установка с ДВС.

температурой 450—480°C. Давление в конденсаторе 0,05 ата. На танкерах применяются тепловые схемы с тремя—четырьмя отборами пара от главных турбин. Потребители насыщенного пара (система подогрева груза, подогреватели топлива, система отопления и т. д.) на большинстве паротурбинных танкеров получают пар из паропреобразователя.

На рис. 6 приводится удельный расход топлива в паротурбинных (кривая 1) и дизельных установках (кри-

вая 2) танкеров. Удельный расход топлива для дизельных установок определен по формуле (17), для паротурбинных — по формуле (21), причем низшая теплотворная способность мазута принята 9700 ккал/кг, коэффициент  $K = 1,025$ , а к.п.д. установки определен по опубликованным данным [11] для начальных параметров пара 45 ата и 480°C.

Удельный расход топлива в дизельных установках танкеров, имеющих мощность от 6 000 до 22 000 э.л.с., составляет в среднем 70% от удельного расхода на паротурбинных танкерах. С увеличением мощности установки более интенсивное снижение удельного расхода топлива имеется в паротурбинных установках. По рис. 6 удельный расход топлива в паротурбинной установке танкера

$$b_e^{ny} = 0,239 + \frac{37800}{N_e^{1,635}} \text{ кг/э.л.с. час.} \quad (22).$$

Расход топлива на подогрев груза

$$B_{зм} = \frac{G_{зм} (i'' - q)}{Q_p^n \cdot \eta_k \cdot \eta_{пп}} \text{ кг/час.} \quad (23).$$

Расход топлива на привод центробежных турбонасосов

$$B_{нт} = \frac{G_n (i_n - q)}{Q_p^n \cdot \eta_k} \text{ кг/час.} \quad (24).$$

В формулах (23 и 24) приняты обозначения:

$i''$  — энтальпия пара при входе в систему подогрева груза ккал/кг,

$i_n$  — энтальпия пара перед турбиной грузового насоса в ккал/кг,

$q$  — энтальпия питательной воды котла в ккал/кг,

$\eta_k$  — к.п.д. котла,

$\eta_{пп}$  — к.п.д. паропреобразователя.

В случае применения центробежных грузовых насосов с приводом от вспомогательных ДВС, расход дизельного топлива на разгрузку

$$B_{нд} = N_e^n \cdot b_d^{вд} \text{ кг/час.} \quad (25).$$

В таблице 2 приводится часовой расход топлива на подогрев груза и на привод грузовых насосов, рассчитанный по формулам (23—25). При этом принято  $q = 60$  ккал/кг,  $Q_p^* = 9700$  ккал/кг, для паротурбинных танкеров  $\eta_k = 0,93$ ,  $\eta_{nn} = 0,98$ , для дизельных танкеров  $\eta_k = 0,75$ . Часовой расход пара на подогрев груза и на привод грузовых насосов определены по табл. 1.

Мощность двигателей грузовых насосов определена по формуле (10), удельный расход топлива во вспомогательных ДВС  $b_{\partial}^{сд} = 0,175$  кг/э.л.с. час.

Таблица 2

Водоизмещение танкера $T$	Танкеры с ДВС				Танкеры с ТЗА		
	Расход топлива на разгрузку кг/час		Расход топлива на подогрев груза кг/час		Расход топлива на разгрузку кг/ч. 40 ата, 275°С	Расход топлива на подогрев груза кг/час	
	$p = 16$ ата насыщ.	ДВС	$p = 3$ ата насыщ.	$p = 7$ ата насыщ.		$p = 3$ ата насыщ.	$p = 7$ ата насыщ.
20 000	1000	174	568	680	699	475	550
30 000	1350	261	787	990	936	660	800
40 000	1710	346	1000	1260	1160	835	1020
50 000	2040	435	1220	1535	1390	1020	1240
60 000	2040	435	1430	1815	1390	1190	1470

Из данных табл. 2 видно, что замена паротурбинного привода грузовых насосов приводом от вспомогательных ДВС на дизельных танкерах уменьшает расход топлива на разгрузку в среднем 4,5—5,5 раза. Несмотря на более высокую стоимость дизельного топлива (~50%) по сравнению с мазутом, применение грузовых насосов с приводом от ДВС даст экономию в стоимости топлива на разгрузку более чем в 3 раза.

Часовой расход топлива на подогрев груза с повышением давления греющего пара увеличивается. Однако, при большем давлении греющего пара подогрев осуществляется в более короткие сроки, что приводит к снижению общего расхода топлива на подогрев груза.

Удельный расход масла в дизельной установке, приведенный к мощности главного двигателя

$$b_m^{\partial y} = b_{\text{ц}}^{\partial} + b_c^{\partial} + b_c^{\partial} \cdot \frac{N_{\text{э2}}}{N_e} \text{ г/э.л.с. час} \quad (26),$$

где  $b_{\text{ц}}^{\partial}$  — удельный расход цилиндрического масла в главном двигателе в г/э.л.с. час,

$b_c^{\partial}$  — удельный расход циркуляционного масла в системе главного двигателя в г/э.л.с. час,

$b_c^{\partial}$  — удельный расход циркуляционного масла в системе вспомогательного двигателя в г/э.л.с. час.

Удельный расход цилиндрического масла в крупных судовых дизелях составляет  $\sim 1$  г/э.л.с. час [7], а при применении эмульсионного масла увеличивается на 20—30% [1, 7], т. е. составляет  $\sim 1,3$  г/э.л.с. час. Удельный расход циркуляционного масла главного двигателя составляет  $\sim 1$  г/э.л.с. час, вспомогательных двигателей —  $\sim 5$  г/э.л.с. час [8, 9].

Принимая отношение мощности двигателя электрогенератора к мощности главного двигателя в среднем равным 0,04 (см. рис. 5) и учитывая вышеуказанное, удельный расход масла на дизельных танкерах, имеющих мощность главного двигателя 6 000—22 000 э.л.с. по формуле (26) равняется 2,5 г/э.л.с. час.

Удельный расход масла в паротурбинной установке, отнесенный к мощности ГТЗА

$$b_m^{ny} = b_m^{\partial} + b_m^{m2} \cdot \frac{N_{m2}}{N_e} \text{ г/э.л.с. час} \quad (27),$$

где  $b_m^{\partial}$  — удельный расход масла в ГТЗА в г/э.л.с. час,

$b_m^{m2}$  — удельный расход масла в турбогенераторе в г/э.л.с. час,

$N_{m2}$  — мощность турбины турбогенератора в э.л.с.

Отношение мощности турбины турбогенератора к мощности ГТЗА на танкерах составляет в среднем 0,06. Удельный расход масла в ГТЗА составляет 0,06—0,08 г/э.л.с. час, в турбогенераторах —  $\sim 0,5$  г/э.л.с. час, [3,7]. По формуле (27) удельный расход масла на паротурбинную установку танкера составляет  $\sim 0,1$  г/э.л.с. час.

#### IV. Вес и габариты силовых установок

Вес судовой силовой установки зависит от ее типа и мощности. На танкерах имеются вспомогательные котлы (на теплоходах), паропреобразователи (на парходах), грузовые насосы и пр. оборудование, которое на судах других типов часто отсутствует. С другой стороны при кормовом расположении машинно-котельного отделения длина валопровода уменьшается, и это в какой-то степени компенсирует увеличение веса силовой установки на танкерах.

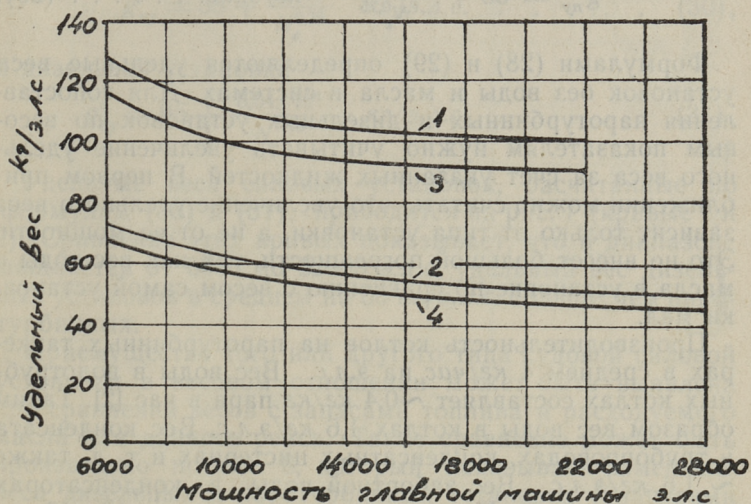


Рис. 7. Удельный вес силовых установок. 1 — установка с ДВС, приготовленная к действию; 2 — установка с ТЗА, приготовленная к действию; 3 — установка с ДВС без воды и масла; 4 — установка с ТЗА без воды и масла.

На рис. 7 приводятся удельные веса комплексных судовых дизельных (по данным ЦНИИМФ'а) и паротурбинных (по данным Чернова [10]) установок в сухом состоянии.

Из рис. 7 видно, что в диапазоне мощностей от 6000 з.л.с. и выше удельный вес дизельных установок превышает удельный вес паротурбинных установок на 43—49 кг/з.л.с. С увеличением мощности удельный вес обоих рассматриваемых типов установок снижается и

при мощностях 16000 э.л.с. и выше, удельный вес дизельных установок примерно в два раза больше, чем паротурбинных.

Удельный вес дизельных установок по кривой 3 рис. 7 выражается зависимостью

$$g_{dy} = 85 + \frac{8,04 \cdot 10^6}{N_e^{1,43}} \text{ кг/э.л.с.} \dots \dots \dots (28),$$

а удельный вес паротурбинных установок по кривой 4 рис. 7 зависимостью.

$$g_{пу} = 33 + \frac{23650}{N_e^{0,75}} \text{ кг/э.л.с.} \dots \dots \dots (29),$$

Формулами (28) и (29) определяются удельные веса установок без воды и масла в системах. Для сопоставления паротурбинных и дизельных установок по весовым показателям нужно учитывать увеличение удельного веса за счет указанных жидкостей. В первом приближении можно считать, что увеличение удельного веса зависит только от типа установки, а не от ее мощности. Это не внесет большой погрешности, так как вес воды и масла в установке по сравнению с весом самой установки мал.

Производительность котлов на паротурбинных танкерах в среднем 4 кг/час на э.л.с. Вес воды в водотрубных котлах составляет ~0,4 кг/кг пара в час [2]. Таким образом вес воды в котлах 1,6 кг/э.л.с. Вес конденсата в трубопроводах, конденсатных цистернах и т. д. также ~1,6 кг/э.л.с. Вес забортной воды в конденсаторах ~0,8 кг/э.л.с. [3]. При кратности циркуляции 10—12 вес масла в системах паротурбинных установок составляет ~0,4 кг/э.л.с. [4]. Так как на судне имеется двойной запас масла, то общее количество масла в паросиловой установке ~0,8 кг/э.л.с. Суммарный вес воды и масла в системах паротурбинных танкеров составляет ~5 кг/э.л.с.

Вес воды в системе охлаждения ДВС ~1 кг/э.л.с., вес масла в циркуляционной системе ~3 кг/э.л.с. [8]. С учетом двойного запаса масла вес его на теплоходе составляет 6 кг/э.л.с. Производительность вспомогательных котлов на дизельных танкерах ориентировочно 1 кг/час. на э.л.с. В случае применения водотрубных вспомогательных котлов (многие танкеры новой постройки) вес воды в них не более 1,5 кг/кг пара в час. Следовательно, вес воды во

вспомогательных котлах 1,5 кг/э.л.с. Принимая такое же количество воды в трубопроводах, цистернах и пр., получаем вес конденсата и котловой воды 3 кг/э.л.с. Суммарный вес воды и масла в системах силовых установок дизельных танкеров ~10 кг/э.л.с.

Удельный вес силовых установок, приготовленных к действию, получается из формул (28) и (29) с учетом увеличения удельного веса соответственно на 5 кг/э.л.с. и 10 кг/э.л.с. Следовательно, удельный вес паротурбинной установки, приготовленной к действию, выражается зависимостью

$$g_{ny}^* = 38 + \frac{23650}{N_e^{0,75}} \text{ кг/э.л.с.} \quad (30),$$

а дизельной установки

$$g_{dy}^* = 95 + \frac{8,04 \cdot 10^6}{N_e^{1,43}} \text{ кг/э.л.с.} \quad (31),$$

Удельные веса силовых установок, рассчитанные по формулам (30) и (31), приводятся на рис. 7 (кривые 1 и 2). Сравнение этих кривых показывает, что в диапазоне мощностей от 6000 до 22000 э.л.с. удельный вес дизельных установок в среднем на 50 кг/э.л.с. больше, чем паротурбинных.

Приемущество того или другого типа судовой силовой установки в весовом отношении может быть выявлена при сравнении весов с запасами топлива и расходуемого масла для данного рейса. Такое сравнение может быть произведено по рис. 8, который показывает изменение веса дизельных и паротурбинных установок с запасами расходных материалов в зависимости от ходового времени. Здесь вес установок определен исходя из удельного веса по формулам (30) и (31), расход топлива — по удельному расходу по формулам (17) и (22) с учетом 15% морского запаса. Для дизельных установок расход масла определен исходя из удельного расхода 2,5 г/э.л.с. час с учетом 15% морского запаса. В паротурбинных установках вес расходуемого масла не учитывается. Расход топлива на подогрев груза и разгрузку на паротурбинных и дизельных танкерах (на которых грузовые насосы приводятся от ДВС) практически одинаковы. Поэтому он здесь не учитывается.

Из-за большего удельного расхода топлива вес паротурбинных установок (с учетом запаса топлива) с удли-

нением ходового времени возрастает быстрее, чем дизельных. Линия АВ на рис. 8, которая проходит через точки пересечения линий 1 и 2, определяет ходовое время, при котором вес дизельных и паротурбинных установок танкеров будет одинаков. Ходовое время равного

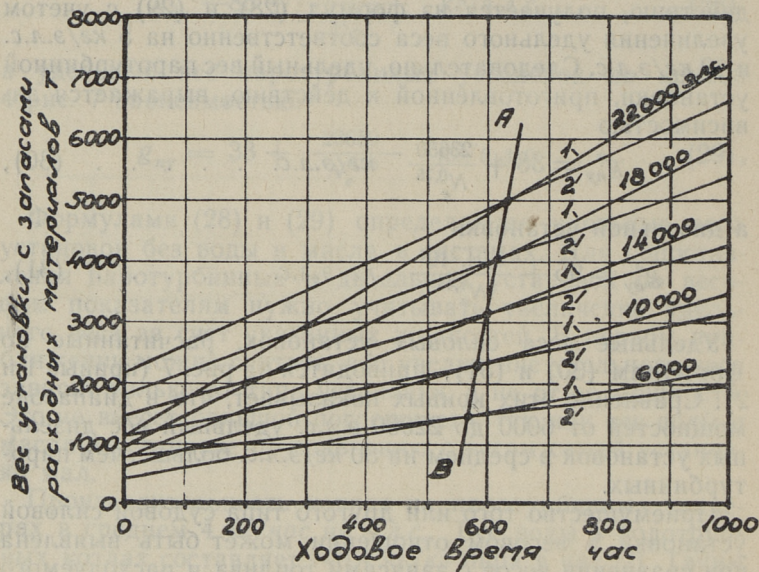


Рис. 8. Вес силовых установок с запасами расходных материалов. 1 — установка с ТЗА; 2 — установка с ДВС.

веса дизельных и паротурбинных установок по рис. 8 выражается

$$\tau^* = 547,5 + 0,00375 \cdot N_e \quad \text{час} \dots \dots \dots (32)$$

и для танкеров с силовыми установками 6000—22000 э.л.с. составляет 570—630 час. Если ходовое время, на которое принят запас топлива и масла, меньше времени, определяемого формулой (32), то вес паротурбинных установок меньше дизельных и наоборот.

Комплекс всего оборудования машинной установки должен вписываться в габариты МКО. Поэтому габариты силовой установки можно характеризовать габаритами МКО.



Насыщенность МКО некоторых существующих танкеров по длине, площади и объему в зависимости от мощности главного двигателя дается на рис. 9. При этом длиной МКО считается расстояние от носовой переборки МКО до ахтерпика, площадью МКО — сумма площадей по настилу МКО и платформ, где расположено обо-

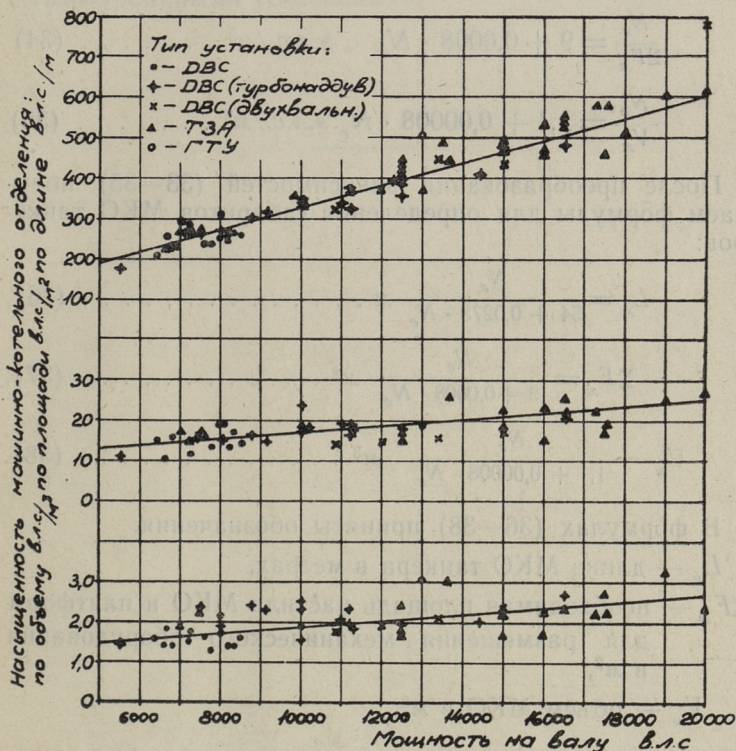


Рис. 9. Насыщенность машинно-котельных отделений танкеров.

рудование МКО. В объем МКО входит кубатура от настила МКО до верхней палубы (с вычетом объема цистерн основного запаса топлива) и кубатура машинной и котельной шахт до палубы юта.

Из рис. 9 видно, что с увеличением мощности главного двигателя насыщенность МКО увеличивается, причем

она одинакова для танкеров с различными типами силовых установок. Насыщенность МКО по длине, площади и объему при мощности главного двигателя 5000—20000 э.л.с. выражается соответственно

$$\frac{N_e}{L_m} = 54 + 0,0273 \cdot N_e \quad \text{э.л.с./м} \dots \dots \dots (33)$$

$$\frac{N_e}{\Sigma F_m} = 9 + 0,0008 \cdot N_e \quad \text{э.л.с./м}^2 \dots \dots \dots (34)$$

$$\frac{N_e}{V_m} = 1,1 + 0,00008 \cdot N_e \quad \text{э.л.с./м}^3 \dots \dots \dots (35)$$

После преобразования зависимостей (33—35) получаем формулы для определения габаритов МКО танкеров:

$$L_m = \frac{N_e}{54 + 0,0273 \cdot N_e} \quad \text{м} \dots \dots \dots (36),$$

$$\Sigma F_m = \frac{N_e}{9 + 0,0008 \cdot N_e} \quad \text{м}^2 \dots \dots \dots (37),$$

$$V_m = \frac{N_e}{1,1 + 0,00008 \cdot N_e} \quad \text{м}^3 \dots \dots \dots (38).$$

В формулах (36—38) приняты обозначения:

$L_m$  — длина МКО танкера в метрах,

$\Sigma F_m$  — необходимая площадь настила МКО и платформ для размещения механического оборудования в  $\text{м}^2$ ,

$V_m$  — объем МКО в  $\text{м}^3$ .

### З а к л ю ч е н и е

В работе рассматривались силовые установки, технические показатели которых соответствуют уровню судового машиностроения на сегодняшний день. Дальнейшее развитие силовых установок танкеров может быть осуществлено улучшением показателей применяемых в настоящее время типов установок, а также внедрением новых типов силовых установок на танкерах. Из последних

наиболее перспективными представляются газотурбинные установки, по которым имеются первые обнадеживающие данные эксплуатации на других типах судов. Приведенные выше показатели по грузовым насосам и системам подогрева груза, а также по насыщенности машинных отделений могут быть перенесены на танкеры с газотурбинными установками.

Содержание

1. Введение ..... 1

2. Газотурбинные установки на судах ..... 2

3. Газотурбинные установки на судах ..... 3

4. Газотурбинные установки на судах ..... 4

5. Газотурбинные установки на судах ..... 5

6. Газотурбинные установки на судах ..... 6

7. Газотурбинные установки на судах ..... 7

8. Газотурбинные установки на судах ..... 8

9. Газотурбинные установки на судах ..... 9

10. Газотурбинные установки на судах ..... 10

11. Газотурбинные установки на судах ..... 11

12. Газотурбинные установки на судах ..... 12

13. Газотурбинные установки на судах ..... 13

14. Газотурбинные установки на судах ..... 14

15. Газотурбинные установки на судах ..... 15

16. Газотурбинные установки на судах ..... 16

17. Газотурбинные установки на судах ..... 17

18. Газотурбинные установки на судах ..... 18

19. Газотурбинные установки на судах ..... 19

20. Газотурбинные установки на судах ..... 20

21. Газотурбинные установки на судах ..... 21

22. Газотурбинные установки на судах ..... 22

23. Газотурбинные установки на судах ..... 23

24. Газотурбинные установки на судах ..... 24

25. Газотурбинные установки на судах ..... 25

26. Газотурбинные установки на судах ..... 26

27. Газотурбинные установки на судах ..... 27

28. Газотурбинные установки на судах ..... 28

29. Газотурбинные установки на судах ..... 29

30. Газотурбинные установки на судах ..... 30

31. Газотурбинные установки на судах ..... 31

32. Газотурбинные установки на судах ..... 32

33. Газотурбинные установки на судах ..... 33

34. Газотурбинные установки на судах ..... 34

35. Газотурбинные установки на судах ..... 35

36. Газотурбинные установки на судах ..... 36

37. Газотурбинные установки на судах ..... 37

38. Газотурбинные установки на судах ..... 38

39. Газотурбинные установки на судах ..... 39

40. Газотурбинные установки на судах ..... 40

41. Газотурбинные установки на судах ..... 41

42. Газотурбинные установки на судах ..... 42

43. Газотурбинные установки на судах ..... 43

44. Газотурбинные установки на судах ..... 44

45. Газотурбинные установки на судах ..... 45

46. Газотурбинные установки на судах ..... 46

47. Газотурбинные установки на судах ..... 47

48. Газотурбинные установки на судах ..... 48

49. Газотурбинные установки на судах ..... 49

50. Газотурбинные установки на судах ..... 50

51. Газотурбинные установки на судах ..... 51

52. Газотурбинные установки на судах ..... 52

53. Газотурбинные установки на судах ..... 53

54. Газотурбинные установки на судах ..... 54

55. Газотурбинные установки на судах ..... 55

56. Газотурбинные установки на судах ..... 56

57. Газотурбинные установки на судах ..... 57

58. Газотурбинные установки на судах ..... 58

59. Газотурбинные установки на судах ..... 59

60. Газотурбинные установки на судах ..... 60

61. Газотурбинные установки на судах ..... 61

62. Газотурбинные установки на судах ..... 62

63. Газотурбинные установки на судах ..... 63

64. Газотурбинные установки на судах ..... 64

65. Газотурбинные установки на судах ..... 65

66. Газотурбинные установки на судах ..... 66

67. Газотурбинные установки на судах ..... 67

68. Газотурбинные установки на судах ..... 68

69. Газотурбинные установки на судах ..... 69

70. Газотурбинные установки на судах ..... 70

71. Газотурбинные установки на судах ..... 71

72. Газотурбинные установки на судах ..... 72

73. Газотурбинные установки на судах ..... 73

74. Газотурбинные установки на судах ..... 74

75. Газотурбинные установки на судах ..... 75

76. Газотурбинные установки на судах ..... 76

77. Газотурбинные установки на судах ..... 77

78. Газотурбинные установки на судах ..... 78

79. Газотурбинные установки на судах ..... 79

80. Газотурбинные установки на судах ..... 80

81. Газотурбинные установки на судах ..... 81

82. Газотурбинные установки на судах ..... 82

83. Газотурбинные установки на судах ..... 83

84. Газотурбинные установки на судах ..... 84

85. Газотурбинные установки на судах ..... 85

86. Газотурбинные установки на судах ..... 86

87. Газотурбинные установки на судах ..... 87

88. Газотурбинные установки на судах ..... 88

89. Газотурбинные установки на судах ..... 89

90. Газотурбинные установки на судах ..... 90

91. Газотурбинные установки на судах ..... 91

92. Газотурбинные установки на судах ..... 92

93. Газотурбинные установки на судах ..... 93

94. Газотурбинные установки на судах ..... 94

95. Газотурбинные установки на судах ..... 95

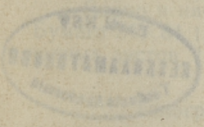
96. Газотурбинные установки на судах ..... 96

97. Газотурбинные установки на судах ..... 97

98. Газотурбинные установки на судах ..... 98

99. Газотурбинные установки на судах ..... 99

100. Газотурбинные установки на судах ..... 100



## Литература

1. Боткин П. П., Сомов В. А. Применение тяжелых топлив в судовых дизелях. Судпромгиз, 1959.
2. Лубочкин В. И. Морские паровые котлы. Морской транспорт, 1958.
3. Моисеев А. А. Судовые паровые турбины. Морской транспорт, 1958.
4. Наумов Б. А. Судовые трубопроводы. Судпромгиз, 1950.
5. Привалов К. К вопросу о выборе типа судового двигателя. Морской флот № 4, 1957.
6. Сборник рефератов по иностранному судостроению № 42. Судпромгиз, 1958. Влияние экономических факторов на определение оптимальных размерений танкера.
7. Танатар Д. Б. Современные мощные судовые дизели. Морской транспорт, 1958.
8. Тарабрин И. В. Смазка судовых поршневых двигателей. Морской транспорт, 1956.
9. Хмельников П. С. Основы теплотехники и судовые энергетические установки. Судпромгиз, 1959.
10. Чернов А. Д. Строительная стоимость паротурбинных установок транспортных судов. Судостроение № 5, 1958.
11. Чернов А. Д., Поздеев А. В., Васильев Л. Г. Паротурбинные установки морских транспортных судов, Судпромгиз, 1958.
12. Kreuzsch W. C., Feck A. Konstruktionmerkmale der Hauptladeöl — Kreispumpen. Hansa Nr. 16/17, 1957.
13. Судостроение 1957—1960 гг.
14. Schiff und Hafen 1954—1960.
15. The Motor Ship 1951—1960.



О. Э. Мяекула

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
СИЛОВЫХ УСТАНОВОК СОВРЕМЕННЫХ КРУПНО-  
ТОННАЖНЫХ ТАНКЕРОВ

Таллинский Политехнический Институт

Редактор П. И. Ансон

Технический редактор и корректор Я. Мыттус

Сдано в набор 11 I 1961. Подписано к печати 10 III 1961.

Бумага 54×84 1/16. Печатных листов 1,75. По формату 60×92 пе-  
чатных листов 1,44. Учетно-издательских листов 1,10. Тираж 600 экз.  
МВ-00464. Заказ № 242.

Типография «Коммунист», Таллин, ул. Пикк, 2.

Цена 8 коп.





Цена 8 коп.

112