

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАСПИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И  
ИНЖИНИРИНГА им. Ш.ЕСЕНОВА**

**ИНСТИТУТ МОРСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА «МОРСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»**

**ОМИРЗАК А.А.**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЭУ**

**Методическое указания по изучению практических занятия  
для студентов специальности 050715 - «Морская техника и технологии»**

Ақтау – 2010

УДК. 621.797.

Составитель: Омирзак А.А., магистр машиностроения. Методические указания по изучению практических заданий по курсу «Проектирование СЭУ» для студентов специальности 050715 – «Морская техника и технологии». – Актау: КГУТиИ, 2010, с.35

Рецензент: к.т.н. Вахромеев О.С.

В настоящем методическом указание дается рекомендации и советы по изучению отдельных разделов, тем программы курса «Проектирование СЭУ», вопросы для самопроверки.

Рекомендовано к изданию решением Учебно-методическим советом Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова.

© КГУТиИ им. Ш. Есенова, 2010г.

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>Практическая работа № 1</b> .....	5
<b>Практическая работа № 2</b> .....	8
<b>Практическая работа № 3</b> .....	14
<b>Практическая работа № 4</b> .....	18
<b>Практическая работа № 5</b> .....	22
<b>Практическая работа № 6</b> .....	25
<b>Практическая работа № 7</b> .....	29
<b>Основная литература</b> .....	34

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основным содержанием проектирования судовой энергетической установки является нахождение его оптимального варианта и выполнение необходимых расчетов элементов для оценки технико-экономических показателей. Судовая энергетическая установка должна обеспечивать все режимы плавания. К установкам судов транспортного флота может предъявляться требования обеспечения полной скорости судна во время плавания при различных погодных условиях и различном состоянии корпуса.

При проектировании СЭУ необходимо добиваться, возможно, меньших габаритов и массы, как отдельных элементов, так и установки в целом.

Компактность установок обусловлено стремлением увеличить вместимость грузовых трюмов и производительность технологического оборудования при номинальных основных размерениях судна и т.д.

Удовлетворить одновременно все требования, предъявляемые к проектируемой СЭУ, практически невозможно. Поэтому для каждого типа судна выделяют наиболее важные из них, которое должно быть выполнены в первую очередь.

Одно из основных задач проектирования является правильный выбор типа главного двигателя.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

**Тема:** «Расчет элементов движительного комплекса при выборе главных двигателей»

**Цель работы:** Изучение методики расчета элементов движительного комплекса при выборе главных двигателей

**Содержание работы:** Определение расчетным методом расчетной скорости движителей, упора комплекса винт-насадка, определение соответствующей мощности для каждого диаметра винта

Исходными данными для расчета являются: главные размерения, коэффициенты полноты, кривая буксировочного сопротивления  $R=R(v)$ , скорость хода  $v$  и число движителей  $x$ .

Для буксиров задается также сила тяги на гаке при расчетной скорости, буксировки, для толкачей - сила толкания при заданной скорости толкания.

В начале расчета определяются коэффициенты взаимодействия движителя и корпуса. Они вычисляются по приближенным формулам.

Для открытых винтов коэффициент попутного потока  $\Psi$  и коэффициент засасывания  $t$  рассчитываются по выражениям:

а) для винтов в диаметральной плоскости судна ( $x=1$ )

$$\Psi = 0,11 + 0,16\delta \sqrt{\frac{\sqrt[3]{V}}{D_{\max}}} - \Delta\Psi;$$
$$t = 0,6\Psi(1 + 0,67\Psi);$$

б) для бортовых винтов ( $x=2$ )

$$\Psi = 0,11 + 0,08\delta^2 \sqrt{\frac{\sqrt[3]{V}}{D_{\max}}} - \Delta\Psi;$$
$$t = 0,8\Psi(1 + 0,25\Psi).$$

Поправка  $\Delta\Psi = 0,3 \cdot \delta \cdot (Fr - 0,2)$  вводится для учета влияния волнообразования при  $Fr > 0,2$ . При  $Fr \leq 0,2$  поправка  $\Delta\Psi = 0$ .

Для винтов в направляющей насадке коэффициент попутного потока  $\Psi_f$  и коэффициент засасывания  $t'$  вычисляются следующим образом:

$$\Psi_f = t' = 0,65\Psi,$$

где  $\Psi$ -коэффициент попутного потока для открытых винтов.

Для всех типов судов, кроме буксиров и толкачей, расчетная скорость движителей  $v_p$  и  $v_e$  и необходимый упор  $P$  или  $P_k$  рассчитываются по формулам:

а) открытый винт: скорость винта  $v_p = v \cdot (1 - \Psi)$ , где  $v$ —заданная скорость хода судна,

$$P = \frac{R}{x(1-t)};$$

м/с; упор винта  $P$ , кН,

б) винт в насадке: скорость комплекса винт-насадка  $v_e = v \cdot (1 - \Psi_f)$ , где

$$P_k = \frac{R}{x(1-t')}.$$

$v$  - заданная скорость хода судна, м/с; упор винта  $P_k$ , кН,

Входящее в выражение для упора значение сопротивления движению определяется по графику  $R=R(v)$  (см. рис. 3.1) при заданной скорости судна  $v$ .

Для буксиров и толкачей при заданной силе тяги или толкания упор комплекса

$$P_k = \frac{R + Z}{x(1 - t')}$$

винт-насадка определяется по формуле, где  $Z$  - сила тяги или толкания, кН, при заданной скорости буксировки или толкания  $v$ ;  $R$  - сопротивление движению буксира (толкача), кН, определяемое по графику заданной скорости  $R=R(v)$  (см. рис. 3.1).

Выбирается ряд значений диаметра гребных винтов, возможных для установки на судне. Максимальный диаметр  $D_{max}$  указывается в задании на работу.

На этом этапе расчета, когда рассматривается наиболее широкий диапазон диаметров, минимальный диаметр винта для судов внутреннего плавания может составлять  $D_{min}=0,5T$ . Для судов смешанного плавания минимальный диаметр может составлять  $D_{min}=0,35T$ . В пределах между  $D_{min}$  и  $D_{max}$  следует взять пять промежуточных значений через приблизительно одинаковые интервалы. Значения диаметров  $D$ , принимаемые в метрах, округляются до одного знака после запятой.

Для каждого диаметра винта определяется соответствующая мощность  $N_e$ , которую должен развивать двигатель для обеспечения заданной скорости хода судна, и оптимальная частота вращения гребного вала  $n$ . Вычисление производится по форме табл. 1.1. При этом используется корпусная расчетная диаграмма (или ее аппроксимация полиномами), построенная в координатах  $K_1-\lambda_p$  (открытый винт) или  $K_K-\lambda_e$  (винт в насадке). При вычислении  $N_e$  необходимо учитывать потери в валопроводе и в редукторе (если он устанавливается). Ориентировочное значение КПД валопровода  $\eta_v=0,96$  и редуктора  $\eta_r=0,975$  (если редуктор не устанавливается, то принимают  $\eta_r=1$ ).

Таблица 1.1

Расчет элементов винта (винта в насадке) при выборе двигателя

Расчетные величины, формулы и единицы измерения.	Диаметр винта			
	$D_{min}$			$D_{max}$
$K'_{d(k)} = Dv_{p(e)} \sqrt{\frac{\rho}{P_{(k)}}}$				
$\lambda_{p(e)} = f(K'_{d(k)})$				
<i>Продолжение таблицы 1.1</i>				
$\eta_{p(k)} = f(K'_{d(k)})$				
$n = \frac{v_{p(e)}}{\lambda_{p(e)} D}, 1/c$				
$N_p = \frac{P_{(k)} v_{p(e)}}{\eta_{p(k)}}, кВт$				
$N_e = \frac{N_p}{\eta_v \eta_r}, кВт$				

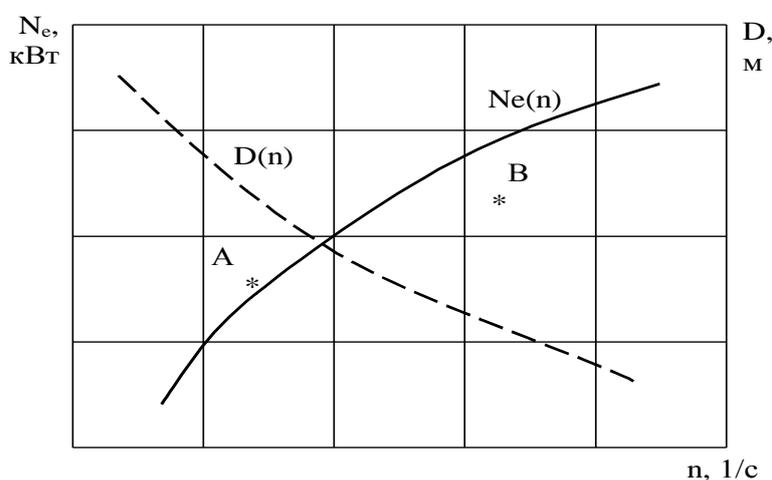
Вместо корпусных диаграмм для определения относительной поступи и коэффициента полезного действия могут быть использованы данные

математической обработки расчетных диаграмм различных серий. На этом этапе можно взять четырехлопастной винт с дисковым отношением 0,55.

Результаты расчета табл. 1.1 представляются на графике (рис. 1.1) в виде кривой зависимости  $N_e(n)$ . Эта кривая показывает изменение минимально необходимой мощности двигателя, обеспечивающей заданную скорость хода судна, в зависимости от частоты вращения винта.

На графике строится также кривая зависимости  $D(n)$ , которая дает возможность оценить взаимосвязь величин диаметра винта, соответствующей ему оптимальной частоты вращения, а также потребной мощности двигателя. Так, при максимальных значениях диаметра требуются минимальная частота вращения и мощность. Уменьшению диаметра соответствует увеличение оптимальной частоты вращения и мощности.

Характеристики двигателей (мощность и частота вращения гребного вала) выбираются из каталогов, исходя из полученного диапазона мощности и частоты вращения. Каждый принятый к рассмотрению двигатель обозначается точкой на графике рис. 1.1.



**Рис. 1.1 К выбору главного двигателя**

Рассмотрим варианты двигателей А и В. Двигатель, номинальный режим которого определяется точкой А, лежащей выше кривой  $N_e(n)$ , обеспечивает заданную скорость; двигатель В, мощность которого больше, чем у двигателя А, ее не обеспечивает.

Это происходит потому, что частота вращения двигателя А соответствует большему диаметру винта с большим КПД вследствие меньшей нагрузки на винт. Разница в мощности двигателей В и А расходуется на увеличение потерь в винте, обусловленных уменьшением КПД при уменьшении диаметра. С помощью двигателя В можно достичь заданной скорости, установив понижающий редуктор. При окончательном выборе двигателя следует исходить из наименьшей затраты мощности и учитывать такие характеристики, как расход топлива, масса, габариты, степень автоматизации, надежность, моторесурс двигателя.

В результате первого этапа проектировочного расчета должен быть выбран двигатель (расчет производится на один винт), т.е. получены по каталогу мощность двигателя  $N_{e0}$  (кВт), и частота вращения гребного вала  $n_0/i_r$  (1/с), необходимые для дальнейшего расчета элементов винта.

## Контрольные вопросы

1. Перечислить исходные данные для расчета элементов движительного комплекса при выборе главных двигателей?
2. Что учитывается при вычислении соответствующей мощности для каждого диаметра винта?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

**Тема:** «Порядок разработки конструкторской документации судового двигателя»

**Цель работы:** ознакомление с конструкторской документации судового двигателя, изучение порядка разработки конструкторской документации судового двигателя.

**Содержание работы:** ознакомление с техническим предложением, являющегося основанием для создания нового судового двигателя, ознакомление с положением оформления эскизного и технического проекта.

Изучение методики разработки чертежа гребного винта.

Основанием для создания нового судового двигателя является техническое задание, выданное заказчиком. Реже инициатором выступает предприятие — изготовитель двигателей, которое в таком случае разрабатывает первичный документ - Техническое предложение.

*Техническое предложение* - совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации двигателя на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений двигателя, сравнительной оценки решений с учетом конструкторских и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих двигателей определенного класса, а также патентные исследования. Документам технического предложения присваивается литера «П». Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного проекта.

*Эскизный проект* - совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве двигателя, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого двигателя. Документации эскизного проекта присваивается литера «Э». Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта.

*Технический проект* - совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого двигателя и исходные данные для разработки рабочей документации. Документам технического проекта, присваивается литера «Т». В период разработки эскизного и технического проектов при необходимости изготавливают и проводят испытания макетов двигателя или его составных частей. Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

*Рабочая конструкторская документация* - совокупность всех конструкторских документов, необходимых для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) двигателя. По результатам изготовления и предварительных

испытаний опытного образца проводится корректировка рабочей конструкторской документации с присвоением документам литеры «О». Следующая корректировка рабочей конструкторской документации с присвоением литеры «О» проводится после приемочных испытаний опытного образца (опытной серии) дизеля. Окончательная корректировка рабочей конструкторской документации с присвоением литеры «А» проводится по результатам изготовления и испытаний установочной серии дизелей, а также оснащения технологического процесса изготовления деталей.

#### *Методика разработки чертежа гребного винта*

Чертеж проекций лопасти винта, который оформляется как схема, разрабатывается для правого винта. Он включает в себя спрямленный контур, нормальную и боковую проекции лопасти, а также диаграмму наибольших толщин, наложенную на боковую поверхность.

Чертеж выполняется в масштабе 1:5, допускается принятие другого масштаба. Исходными данными для разработки проекций лопасти винта  $D$ ,  $m$ , шаговое

$\frac{H}{D}$  отношение  $\frac{H}{D}$  и относительный диаметр ступицы  $d_o$ . Кроме того, должны быть известны закономерности образования формы контура лопасти и профилирования, соответствующие расчетной диаграмме, использованной в проектированном расчете. Рекомендованные к рассмотрению винты имеют геометрические характеристики, представленные в табл. 1.1.

*Таблица 1.1*

**Геометрические характеристики винтов**

Характеристика	Обозначение	Открытый винт	Винт в насадке
Форма лопасти контура		Саблевидная	Усеченная симметричная
Угол наклона образующей	$\nu_n$	$15^0$	$0^0$
Относительный средний диаметр ступицы	$\bar{d}_o = \frac{d_o}{D}$	0,17	0,20
Относительная условная толщина на оси винта	$\bar{e}_o = \frac{e_o}{D}$	0,045	0,050
Относительная толщина на конце лопасти	$\bar{e}_R = \frac{e_R}{D}$	0,0035	0,0035

Чертеж винта, его контуров, проекций и профилей лопасти строят по пяти сечениям

лопасти различных относительных радиусов  $\bar{r} = \frac{r}{R_B}$  ( $R_B = \frac{D}{2}$  - радиус винта). Согласно требованиям ГОСТ 8054-81 для винтов среднего и обычного классов  $\bar{r} = 0,3; 0,5; 0,7; 0,8; 0,95$ . К ним следует добавить сечение  $\bar{r} = 0,2$ , которое позволяет выявить характер примыкания лопасти к ступице, а также сечение на  $\bar{r} = 1$ , необходимое для построения контура и проекций конца лопасти. При желании иметь более полную информацию о характере контура лопасти к рассмотрению принимаются все относительные радиусы, указанные в табл. 1.2.

При разработке чертежа винта исходным контуром лопасти является спрямленный. Для расчета саблевидного и усеченного спрямленного контура

$$b_m = \frac{\Theta \cdot D}{(0,53 - 0,484\bar{d}_0)z}$$

определяют максимальную ширину

В табл. 1.2 приведены значения ординат саблевидного и усеченного контура в долях  $b_m$ . Для саблевидной формы приведены безразмерные ординаты входящей  $b_{вх}$  и выходящей  $b_{вых}$  частей контура, а также расстояние  $b_e$  от оси до линии наибольших толщин в долях от ширины лопасти  $b = b_{вх} + b_{вых}$ . Так как усеченный контур по условию симметричный, то  $b_{вх} = b_{вых} = b_0$ , а ширина  $b = 2b_0$ .

Таблица 1.2

Относительные ординаты спрямленного контура лопасти гребных винтов

Ординаты контура	Значения $\bar{r} = r/R_B$									
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
А. Саблевидный контур										
$\bar{b}_{вх} = \frac{b_{вх}}{b_m}$	0,469	0,526	0,563	0,576	0,561	0,514	0,414	0,253	0,124	-
$\bar{b}_{вых} = \frac{b_{вых}}{b_m}$	0,292	0,333	0,373	0,408	0,439	0,467	0,485	0,470	0,415	0,201
$\bar{b}_e = \frac{b_e}{b}$	0,263	0,262	0,251	0,240	0,172	0,082	-0,018	-0,150	-0,284	-
Б. Усеченный контур										
$\bar{b}_0 = \frac{b_0}{b_m}$	0,34	0,395	0,435	0,465	0,490	0,500	0,500	0,485	0,445	0,300
$\bar{b}_e = \frac{b_e}{b}$	0,132	0,140	0,140	0,140	0,127	0,115	0,092	0,062	0,053	0,040

Пересчитанные абсолютные ординаты сводятся в таблицу, аналогичную табл.1.2. При этом для открытого винта используется табл.7.2,А и рассчитываются величины:  $b_{вх} = \bar{b}_{вх} \cdot b_m$ ,  $b_{вых} = \bar{b}_{вых} \cdot b_m$ ,  $b = b_{вх} + b_{вых}$ ,  $b_e = \bar{b}_e \cdot b$ . Для винта в насадке пересчет ведется по табл.7.2,Б. для следующих величин:  $b_0 = b_{вх} = b_{вых} = \bar{b}_0 \cdot b_m$ ,  $b = 2 \cdot b_0$ ,  $b_e = \bar{b}_e \cdot b$ .

По результатам полученной таблицы абсолютных ординат строится спрямленный контур и линия наибольших толщин. Спрямленный контур обводится плавной

линей и замыкается снизу хордой, которая проходит на расстоянии  $r_0 = \frac{d_0}{2}$  от горизонтальной оси винта. Касательно к хорде изображается окружность, соответствующая среднему диаметру ступицы винта  $d_0$ .

После построения спрямленного контура переходят к профилированию лопасти – установлению закономерности изменения толщины лопасти по радиусу и ширине. Для этой цели сначала на боковой проекции строится диаграмма распределения толщин лопасти по её длине, которая называется медиальным сечением. В большинстве случаев медиальное сечение является условным, так как наибольшие

толщины лопасти на различных радиусах не располагаются в одной плоскости. Одной из сторон медиального сечения является проекция образующей нагнетательной поверхности, для которой угол наклона относительно вертикальной оси приведен в табл. 1.1. Вторая сторона медиального сечения изображается в виде прямой линии, для чего от точки пересечения образующей с осью винта откладывают вправо (в сторону поступательного перемещения винта) осевую толщину  $e_o = \bar{e}_o D$  (см. табл. 1.1), а на расстоянии  $R_b$  от оси откладывают толщину края лопасти  $e_R = \bar{e}_R D$  (см. рис. 1.1). Медиальное сечение используется в дальнейшем для расчета ординат профилей лопасти.

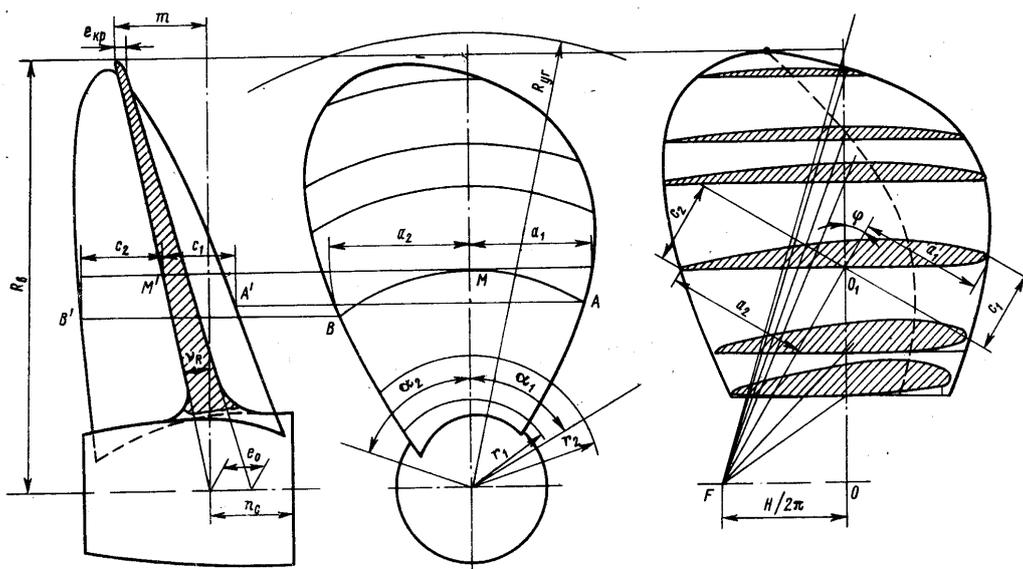


Рис. 1.1. Построение чертежа гребного винта

Основная часть рабочего чертежа – это профили лопасти, получающиеся при пересечении ее концентричными цилиндрами и вычерчиваемые в выпрямленном виде на базе спрямленного контура.

Необходимая для построения профилей ширина лопасти  $b$  берется со спрямленного контура для данного сечения, максимальная толщина  $e$  снимается с медиального сечения в направлении, параллельном оси винта, и откладывается на линии наибольших толщин.

Саблевидные и усеченные винты имеют аэродинамические профили, ординаты которых указаны в табл. 1.3. Линия наибольших толщин делит профиль на две части: входящую шириной  $b_1$  и выходящую шириной  $b_2$  (рис. 1.2).

Нижняя кромка профиля соответствует нагнетательной стороне лопасти, верхняя кромка – засасывающей. Ординаты кромок профилей ( $y_n$  и  $y_3$ ) (в долях от максимальной толщины  $e$ ) приведены для абсцисс, имеющих расстояние  $x_1 = b_1$ ;  $x_1 = 0,9 b_1$ ;  $x_1 = 0,6 b_1$  и  $x_2 = 0,4 b_2$ ;  $x_2 = 0,8 b_2$ ;  $x_2 = b_2$  от линии наибольшей толщины в сторону входящей и выходящей кромок соответственно.

Ординаты профилей винтов саблевидных и усеченных контуров							
r	Расстояние от места наибольшей толщины профиля						
	До входящей кромки				До выходящей кромки		
	$x_1=b_1$	$x_1=0,9b_1$	$x_1=0,6b_1$	0	$x_2=0,4b_2$	$x_2=0,8b_2$	$x_2=b_2$
Засасывающая поверхность ( $\bar{y}_3 = y_3/e$ )							
0,3	0,375	0,626	0,858	1,000	0,868	0,547	0,253
0,5	0,304	0,568	0,794	1,000	0,861	0,434	0,097
0,7	0,160	0,442	0,749	1,000	0,849	0,394	0,000
0,8	0,074	0,345	0,887	1,000	0,853	0,410	0,000
0,95	0,000	0,295	0,735	1,000	0,876	0,464	0,000
Нагнетательная поверхность ( $\bar{y}_H = y_H/e$ )							
0,3	0,375	0,165	0,046	0,000	0,017	0,122	0,253
0,5	0,304	0,085	0,000	0,000	0,000	0,018	0,097
0,7	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,8	0,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Входящая кромка профилей очерчивается по окружности диаметра  $d_{вх}$  с центром, поднятом на высоту  $y_{вх}$ , соответствующую ординате профиля при  $x_1=b_1$ . Для выходящей кромки характерно очертание по дуге радиуса  $r_{вых}$  с центром на нагнетающей кромке профиля. Значения  $d_{вх}$  и  $r_{вых}$  в долях от  $e$  приводятся в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Диаметр закругления входящей кромки и радиус скругления выходящей кромки лопасти

$\bar{r} = \frac{r}{R_B}$	0,3	0,5	0,7	0,8	0,95

Продолжение таблицы 1.4

$\frac{d_{вх}}{e}$	0,344	0,270	0,187	0,192	0,177
$\frac{r_{вых}}{e}$	0,125	0,120	0,142	0,158	0,190

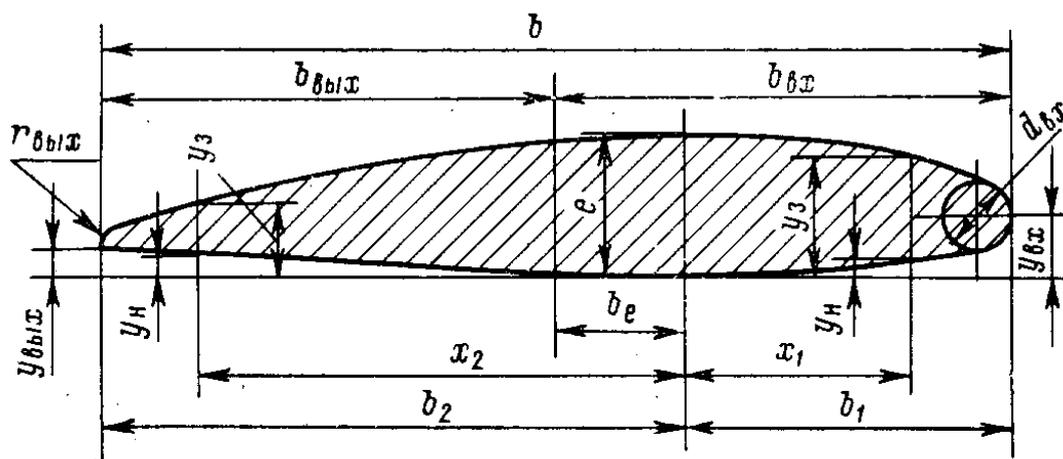


Рис. 1.2. Построение профиля лопасти

По исходному спрямленному контуру и профилям лопасти строятся боковая и нормальная проекции. Обе они могут быть построены только по спрямленному контуру, однако при этом не будет учтено влияние профилирования на габаритные размеры лопасти.

На построенном спрямленном контуре от оси винта в сторону выходящей кромки откладывается размер  $OF = H/(2\pi)$  (см. рис. 1.1) и из полученной точки F ко всем сечениям проводятся шаговые линии. Для построения нормальной проекции к каждому профилю лопасти проводятся касательные, параллельные шаговой линии. Расстояния  $a_1$  и  $a_2$  между касательными и шаговой линией соответствуют длинам нормальных проекций входящей и выходящей частей лопасти.

Нанесение дуг заданной длины может быть выполнено либо с помощью измерения отрезков малым раствором циркуля, либо с применением приближенного метода построения дуги заданной длины, либо проведением лучей под углами

$$\beta_1 = \frac{a_1}{r} \frac{180}{\pi} \quad \beta_2 = \frac{a_2}{r} \frac{180}{\pi}$$

Для построения боковой проекции проводятся касательные линии к профилям, перпендикулярные шаговым линиям (см. рис. 7.1). Расстояния  $C_1$  и  $C_2$  между ними, равные перпендикулярам, восстановленным к шаговой линии в точке ее пересечения с осью спрямленного контура, представляют собой боковые проекции спрямленной длины входящей и выходящей частей данного сечения. Они откладываются вправо и влево от боковой проекции, образующей лопасти на рассмотренном радиусе. Через концы отложенных отрезков  $C_1$  и  $C_2$  проводят вертикальные линии и на них горизонталями сносят точки нормальной проекции. Полученные точки  $A'$  и  $C'$  принадлежат контуру боковой проекции.

Чертеж завершается изображением конструкции ступицы. Необходимо выдерживать соотношение между диаметром ступицы и диаметром гребного вала  $d_o = (1,8 \div 2,2) d_v$ . Кроме того, средний диаметр должен быть таким, чтобы минимальная толщина стенки ступицы  $e'_o$  была не менее 0,9 толщины корневого сечения лопасти  $e_k$ .

Длина ступицы  $l_o$  определяется по боковой проекции винта из условия размещения на ней лопастей и принимается больше с каждой стороны на 3÷5 % проекции корневой ширины лопасти на ось винта.

Упор переднего хода передается на вал через коническую часть. Конусность вала и ступицы при шпоночном соединении между ними чаще всего составляет 1/15. При без шпоночном соединении, применяется гидропрессовая посадка. В теле ступицы делается проточка, в которую под большим давлением подается масло между поверхностью ступицы и вала. Вследствие получения ступицей деформаций винта, может быть надвинут домкратом на вал, после чего давление масла снимается. Винт садится на вал с натягом, получается плотное соединение, облегчающее посадку и снятие винта.

На боковой и нормальной проекции ступицы по трем точкам строят линию примыкания лопасти. Одной из них является точка пересечения образующей с обводом ступицы на боковой проекции  $B'_o$ , которая переносится горизонтальной линией на вертикальную ось нормальной проекции  $B'_n$ . Для получения проекции точки примыкания выходящей кромки на боковой проекции берут ориентировочное

положение  $C'_6$ , измеряют радиус ступицы  $r'$  в этой плоскости и проводят этим радиусом окружность на нормальной проекции. Продолжив нормальную проекцию выходящей кромки до этой окружности и получив точку  $C'_н$ , нужно откорректировать ее положение так, чтобы  $C'_6$  и  $C'_н$  лежали на одной горизонтали. Проекция примыкания входящей кромки строится аналогично. Массу винта можно определить по формуле:

$$M_b = (1,4 + 15,3D)\theta \frac{\pi D^2}{4} \rho_b \cdot 0,001 + 0,6\rho_b \ell_o (d_o^2 - d_k^2), \text{ кг}$$

где  $d_k$  – средний диаметр конусного отверстия в ступице;

$\rho_b$  – плотность материала винта (для стали  $\rho_b = 7850 \text{ кг/м}^3$ ).

Чертеж винта оформляется как схема и включается в пояснительную записку. На правой стороне листа помещается чертеж спрямленного контура лопасти с указанием на нем форм сечений (профилей). Размеры толщины профилей должны проставляться на чертеже с округлением до 1 мм, а радиусы закругления входящей и выходящей кромок – с округлением до 0,5 мм.

На нормальной проекции винта вычерчивается спроектированный контур лопасти с нанесением линии примыкания лопасти к ступице. Над проекцией отмечается стрелкой направление вращения винта при переднем ходе судна.

На боковой проекции винта, кроме проекций лопасти и ступицы, вычерчивается диаграмма наибольших толщин лопасти (медиальное сечение) с обязательным указанием толщины на соответствующих радиусах и нанесением величин этих радиусов.

В правом нижнем углу выписываются основные элементы гребного винта: диаметр  $D$  (м), конструктивный шаг  $H$  (м), шаговое отношение  $H/D$ , дисковое отношение  $\theta$ , число лопастей, а также число оборотов винта. Кроме того, указываются марка двигателя, мощность силовой установки и число оборотов двигателя, главные размерения судна и расчетная скорость хода.

В пояснительную записку по данному разделу включаются краткое описание построения проекций лопасти винта, таблицы ординат спрямленного контура и профилей.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить исходные данные для разработки чертежа гребного винта?
2. Перечислите документы технического предложения СЭУ?
3. Что включает в себя рабочая конструкторская документация судового двигателя?

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

**Тема:** «Основные принципы компоновки СЭУ»

**Цель работы:** ознакомление с основными положениями и принципами компоновки СЭУ, машинно-котельного отделения и судового двигателя.

**Содержание работы:** ознакомление с методикой выбора расположения ЭУ, ознакомление с основными положениями и принципами размещения МО, комплектации ЭУ. Изучение схемы размещения главных парогенераторов При выборе того или иного расположения ЭУ исходят из назначения судна. При любом

расположении энергетической установки число отсеков для ее размещения должны выбираться наименьшим с минимальной протяженностью по длине судна.

Положение ЭУ по длине судна оказывает влияние на его архитектуру, грузместимость, управляемость, условия проведения грузовых операций, обитаемость экипажа и пассажиров и т. д. На транспортных судах встречаются три вида расположения помещений, занимаемых СЭУ: в корме, средней части судна и промежуточное, со сдвигом в корму от миделя. Для транспортных и промысловых судов, а также для судов технического флота общая длина отсеков, необходимая для размещения СЭУ, в основном определяется габаритами главных двигателей с передачами и оборудовани­ем судовой электростанции.

Размещение ЭУ в нескольких отсеках применяется на пассажирских судах, ледоколах, атомоходах и на других судах, в случае повышенных требований к непотопляемости и живучести СЭУ или необходимости сокращения габаритов МО по высоте. Размещение МО в корме судна позволяет до минимума сократить длину валопровода и тем самым уменьшить его массу и стоимость.

С расположением ЭУ на судне обычно связано и размещение основной надстройки, в которой оборудуются жилые и служебные помещения. На судах с машиной в корме под грузовые помещения могут быть использованы наиболее полные обводы корпуса, а отсутствие на палубе надстроек улучшает условия проведения грузовых операций.

Кормовое расположение МО имеет и существенные недостатки. Смещение МО в корму, а грузовых трюмов в нос, создает проблему дифферентовки судна как в полном грузу, так и в балластном пробеге

Размещение ходового мостика на надстройке юта затрудняет обзор и управляемость судов, оборудованных грузовыми устройствами, особенно при неблагоприятных навигационных условиях.

В жилых помещениях кормовой надстройки сильнее ощущаются шум и вибрация от работы гребных винтов, а при плавании на волнении — амплитуды и ускорения вертикальных перемещений, возникающие при килевой качке. Это ухудшает условия обитаемости экипажа.

Несмотря на указанные недостатки, кормовое расположение МО широко используется на танкерах, судах для перевозки массовых грузов, контейнеровозах, грузовых судах внутреннего плавания, а также многотоннажных универсальных судах с полными обводами корпуса.

Среднее расположение МО не имеет недостатков, характерных для кормового. Основной недостаток такого расположения - значительная протяженность валопроводов, которые приходится прокладывать в водонепроницаемых туннелях через кормовые отсеки. Туннели не только уменьшают полезный объем грузовых трюмов, но и затрудняют проведение грузовых операций с помощью внутри-трюмных машин. Среднее расположение МО в настоящее время преимущественно применяются на ледоколах, судах активного ледового плавания, спасателях, буксирах, паром­ах и некоторых других.

Промежуточное расположение МО применяется на крупных универсальных судах, пассажирских, промысловых и других судах, когда их дифферентовка вызывает затруднение или имеется необходимость в освобождении кормовой части палубы от надстройки.

### *Габариты отсеков, занимаемых ЭУ*

При выбранном расположении ЭУ по длине судна минимально необходимые габариты помещений, занимаемых ею, могут быть определены только после разработки чертежей общего расположения всего энергетического и судового оборудования, которое в них будет находиться.

### *Комплектация ЭУ*

Наиболее рациональная комплектация ЭУ для любого судна может быть осуществлена при освоении промышленностью типоразмерного ряда главных двигателей (дизелей, ДРА и ГТЗА) и унифицированного вспомогательного электромеханического оборудования для всего диапазона мощностей главных двигателей. Типизация, унификация и агрегатирование судового энергетического оборудования открывает широкие возможности для повышения надежности ЭУ, снижения ее габаритов и стоимости, а также сокращения сроков проектирования и постройки судна; Поэтому комплектация ЭУ в виде компактных агрегатов широко используется в современном судостроении. Особенно распространено агрегатирование вспомогательных механизмов и оборудования систем ДУ с МОД.

Агрегатирование заключается в объединении нескольких механизмов, теплообменных аппаратов и устройств, выполняющих определенные функции (например, сепарацию и фильтрацию тяжелого топлива, смазки, охлаждения главных двигателей и т. д.) в один блок, смонтированный на общей раме. Компоновка вспомогательного оборудования в агрегаты по функциональному признаку позволяет сосредоточить в определенном районе МО для какой-либо системы всю необходимую арматуру, пусковые устройства, средства автоматизации и контроля, что значительно упрощает обслуживание, сокращает площадь, занимаемую механизмами, уменьшает численность арматуры и общую длину трубопроводов. Самым важным преимуществом такого группирования элементов систем, обслуживающих главные двигатели, является то, что основная доля сборочных и монтажных работ (до 45%) может быть выполнена в цехах, где обеспечиваются более высокая производительность труда и качество монтажа.

Характерной особенностью комплектации новейших типов ПТУ, ГТУ и ДРУ является разработка агрегатированных автоматизированных комплексов, включающих главные двигатели, редукторы, упорные подшипники, муфты, конденсаторы, генераторы, вспомогательные механизмы и другое оборудование, состав которого определяется типом ЭУ.

### *Основные принципы размещения элементов ЭУ в МПО.*

Разработка чертежей общего расположения оборудования в МПО представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Для ее выполнения необходимо иметь полный перечень комплектующего оборудования ЭУ со всеми техническими характеристиками, а также принципиальные схемы систем, определяющих взаимосвязь входящих в установку элементов. От размещения ЭУ зависят размеры помещений, удобство обслуживания и проведения профилактических ремонтных работ, возможность автоматизации, а также срок и стоимость монтажных работ.

Эта задача наилучшим образом решается методом объемного проектирования, который в последние годы широко используется в практике конструкторских бюро. Метод предусматривает разработку объемных масштабных макетов с размещением в них всех элементов ЭУ с соблюдением Правил Регистра, техники безопасности и

пожаробезопасности.

На грузовых судах с одним общим МПО оборудование ЭУ обычно размещается на нескольких уровнях в трюме, на платформах, промежуточных палубах и в кожухе дымовой трубы. Расположение оборудования на нескольких уровнях увеличивает полезную высоту МПО и уменьшает его длину. Одноярусное расположение обычно применяется на пассажирских судах, паромах и в других случаях, когда лимитируется не протяженность отсеков, а их высота и требуется повышенная живучесть установки.

В соответствии с Правилами Регистра и санитарным правилам главные дизели и агрегаты (ГТЗА, ДРА) устанавливаются в трюме на фундаментах, связанных с днищевым набором корпуса.

Автономные дизель-генераторы и турбогенераторы судовых электростанций грузовых судов могут располагаться как в трюме, так и на нижней платформе МПО. При этом предпочтительнее расположение дизель-генераторов в трюме (меньше структурный шум), а турбогенераторов на платформе с установкой вспомогательных

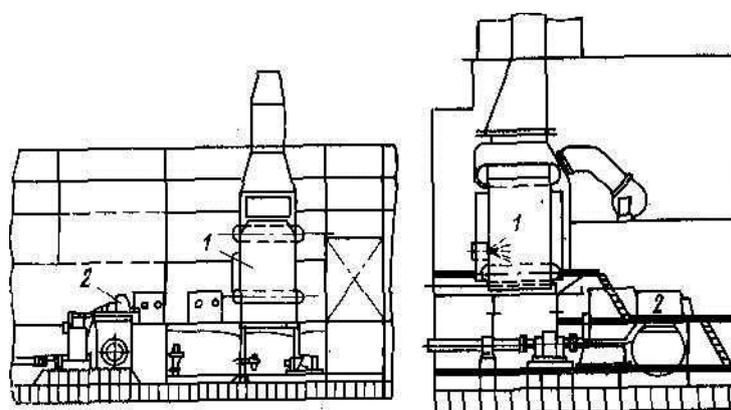


Рис.1. 1 — парогенератор; 2 — ГТЗА

конденсаторов в трюме. На пассажирских лайнерах и судах, имеющих мощные судовые электростанции, генераторы и другое электрооборудование можно размещать в одном или нескольких самостоятельных отсеках.

Аварийный дизель-генератор вместе с запасом топлива должен находиться в отдельном помещении выше палубы переборок вне шахт машинных отделений с выходом на открытую палубу.

Главные распределительные щиты обычно располагаются на платформе или в звукоизолированных центральных постах управления установкой.

Оборудование систем ЭУ группируется в определенных районах МПО по функциональному признаку. Кроме оборудования ЭУ, в МПО устанавливают агрегаты и механизмы судовых систем общесудового назначения. Насосы судовых систем располагают в трюме, а пневмоцистерны пресной и забортной воды — на платформах.

На платформах размещаются также опреснители, деаэратеры, судовые мастерские и кладовые запасных частей. Крупногабаритные запасные части обычно находятся в непосредственной близости от тех механизмов, к которым они относятся.

Фундаменты под главные двигатели, парогенераторы и другое механическое оборудование составляют значительную часть корпусных конструкций. Судовые

фундаменты должны быть достаточно прочными и устойчивыми; обеспечивать надежное крепление устанавливаемого на них оборудования (при любых условиях плавания судна); рассредоточивать действующую на них нагрузку на корпусные связи во избежание возникновения в них недопустимых местных усилий и деформаций; иметь достаточную жесткость, исключая появление опасных вибраций.

Размеры и конфигурация фундаментов под главные двигатели (агрегаты) определяются габаритами, формой и компоновкой агрегатов (фундаментных рам), положением линии вала и настила второго дна.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные положения и принципы размещения МО?
2. Перечислите характерные особенности комплектации новейших типов ПТУ, ГТУ?
3. Что включает в себя методика разработки объемных масштабных макетов с размещением в них всех элементов ЭУ?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

**Тема:** «Комплекс показателей обитаемости машинного отделения»

**Цель работы:** Ознакомление с комплексом показателей обитаемости машинно-котельного отделения и помещений ЭУ.

**Содержание работы:** Ознакомление с микроклиматом в МО, ознакомление с явлениями шума и вибраций в МО. Ознакомление с методикой предупреждения пожаров и защита от них в помещениях ЭУ.

Обитаемость МО характеризуется комплексом показателей, к числу которых относятся микроклимат, уровень шума и вибрация, наличие вредных излучений, освещенность помещения, безопасность эксплуатации электромеханического оборудования и др.

Нормы оптимальной освещенности помещений, меры по электро-безопасности и предупреждению травматизма механического характера, а также меры по защите от радиоактивных излучений изучаются в курсе по технике безопасности и поэтому здесь не рассматриваются.

*Микроклимат* в МО определяется температурой, влажностью и подвижностью воздуха, а также интенсивностью тепловыделений.

Действующие санитарные правила для морских судов предусматривают поддержание температуры на рабочих местах в МО не выше  $25^{\circ}\text{C}$  при холодных и умеренных климатических условиях и не выше  $28^{\circ}\text{C}$  при плавании в южных широтах. При этом относительная влажность воздуха должна составлять 60-40%. Основная производственная вредность в МО современных транспортных судов определяется высокими тепловыделениями. Интенсивность тепловыделений выражается количеством теплоты, выделяемой за единицу времени на единицу объема МО. Наибольшие тепловыделения имеют место в МПО паротурбинных судов и достигают  $800-1100\text{ Вт/м}^3$  ( $700-1000\text{ ккал/м}^3$ ).

Заданные качества воздушной среды, обеспечивающие нормальные условия жизнедеятельности людей, создаются системами вентиляции и кондиционирования. Помещения ЭУ мощностью более 220 кВт должны иметь самостоятельную систему искусственной приточно-вытяжной вентиляции. Искусственную вытяжную

вентиляцию обычно применяют в местах концентрированного выделения или скопления избыточного количества теплоты или вредных газов (районы расположения масляных и топливных сепараторов, помещения для ремонта топливной аппаратуры и др.), а также в коридорах валопроводов и систем.

Эффективность вентиляции определяется не только подачей в МПО необходимого количества воздуха для ассимиляции тепловыделений, но и организацией его распределения в рабочей зоне по основным и вспомогательным рабочим площадкам.

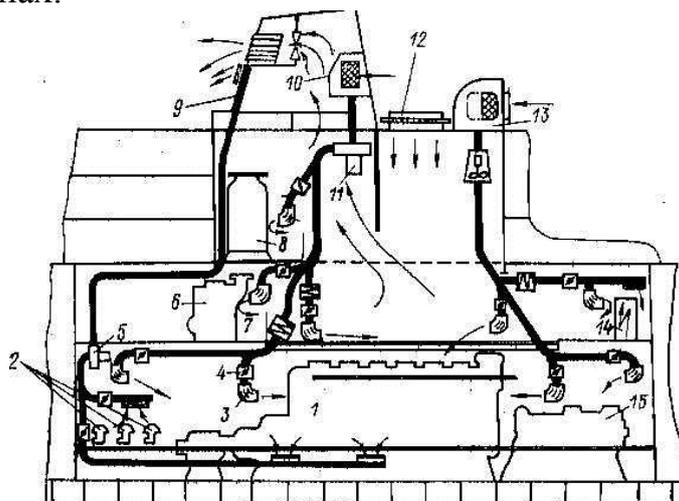
Минимальная температура в рабочей зоне в зимний период не должна быть ниже  $16^{\circ}\text{C}$ . Современные ЭУ, как правило, оборудуются изолированными ЦПУ с системой кондиционирования, обеспечивающей возможность длительного пребывания в них обслуживающего персонала. В качестве примера на рис. приведена принципиальная типовая «схема искусственной приточно-вытяжной вентиляции МО судна с дизельной установкой.

*Шум и вибрация*, вызываемый протекающими в механизмах, аппаратах и системах ЭУ рабочими процессами, могут быть механического, аэродинамического, гидродинамического и электромагнитного происхождения. Шум и вибрация механического происхождения вызываются возмущающими силами инерции вследствие неуравновешенности вращающихся частей механизмов и устройств, соударения деталей в сочленениях и других причин.

Аэродинамический (гидродинамический) шум вызывается колебаниями и пульсациями рабочей среды (пара, газа, воды, воздуха). При движении ее в проточных частях механизмов (турбин, компрессоров, камер сгорания) и трубопроводов; вихреобразованиями при обтекании тел (лопастей вентиляторов, гребных и воздушных винтов).

При всасывании воздуха и выпуске газов, разрывом сплошности потока (кавитация) и др.

Электромагнитный шум является причиной пульсации магнитных полей в электрических машинах.



**Рис.1. Принципиальная схема вентиляции МО теплохода**

1 - главный двигатель; 2 - сепараторы топлива и масла; 3 - направляющий патрубок воздухораспределителя; 4 - воздухораспределитель; 5 - вытяжной вентилятор; 6 - вспомогательный парогенератор; 7 — воздухонагреватель; 8 - утилизирующий парогенератор; 9 — кожух дымовой трубы; 10 — воздухоприемная шахта; 11-нагнетательные вентиляторы; 12 — световой люк; 13 - воздухоприемник; 14 - ГРЩ; 15 — дизель-генератор.

Шум и вибрация оказывают вредное влияние на организм человека, ускоряют процесс утомления и вызывают раздражение, вредно действующее на нервную и сердечнососудистую систему, а также на состояние слуха.

Шумность характеризуется уровнем звукового давления и спектром, показывающим распределение звукового давления по всей области звуковых частот. С повышением частоты утомляющее действие шума при равном уровне звукового давления оказывается сильнее. Уровень звукового давления измеряется на основных рабочих местах на расстоянии 1 м от источника шума и на высоте 1,5 м от настила. Звуковые колебания от источников распространяются двумя путями: по воздуху и по корпусным конструкциям в виде звуковых вибраций. В первом случае шум называется *воздушным*, а во втором — *структурным*.

Воздушный шум является основным для помещений, занимаемых ЭУ, в которых сосредоточены его источники. В другие помещения из МПО воздушный шум может проникать непосредственно через переборки, палубы, подволоки, световые люки, иллюминаторы, открытые двери, вентиляционные каналы и т. д. Структурный шум, распространяясь от источников через фундаменты и трубопроводы на корпусные связи в виде звуковых вибраций, воспринимается как воздушный шум в жилых и служебных помещениях, не смежных с помещениями ЭУ, в которых находятся источники шума, а также в кормовых помещениях (вблизи гребных винтов).

Вибрация, возникающая при работе различных механизмов ЭУ, оценивается величиной наибольшей линейной амплитуды и частотой колебаний. Обычно при линейных амплитудах колебаний, меньших 0,1—0,15 мм, существенных вибраций корпуса судна не возникает. Однако человеческий организм начинает ощущать вибрацию с амплитудами более 0,025 мм при частотах во всем диапазоне слышимости  $(16—20) \times 10^8$  Гц.

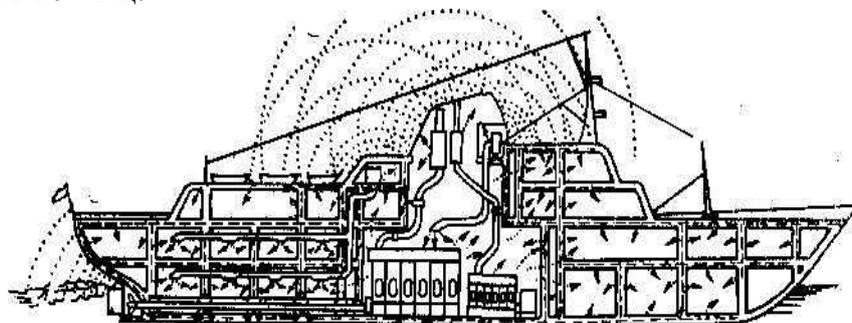


Рис.2 Схема распространения шума на судне

Борьба с шумом и вибрацией на судах ведется по двум направлениям: снижением шума и вибрацией в источнике; ослаблением воздушного и структурного шума.

Снижение шума и вибраций в источнике является радикальным средством, обеспечивающим снижение общего уровня шума и вибраций в помещениях судна. Эта задача решается в процессе проектирования, изготовления и доводки головных образцов двигателей, механизмов и аппаратов. Вопросы снижения шума и вибраций в источнике носят специальный характер и в курсе СЭУ не рассматриваются.

Ослабление воздушного и структурного шума осуществляется путем применения в МПО средств звуко- и вибропоглощения общего, местного и индивидуального

назначения.

К общим средствам снижения воздушного шума в МПО относятся:

звукозаглушающие устройства (глушители на приеме воздуха и выпуске газов);

звукоизолирующие кожухи и выгородки для наиболее шумных механизмов (ГТД, редукторы, дизель-генераторы, вентиляторы);

звукопоглощающие покрытия внутренних поверхностей МО и его шахты (в основном от высокочастотного шума);

звукопоглощающие экраны и щиты у местных постов управления.

К общим средствам ограничения распространения вибрации и структурного шума могут быть отнесены:

крепления;

механизмов, газовыпускных и воздухоприемных трубопроводов на звуко- и виброизолирующих амортизаторах и подвесах;

гибкие вставки для неопорных связей механизмов (трубопроводов и валопроводов);

вибропоглощающие покрытия фундаментов и установочных перекрытий; виброгасители и виброзадерживающие массы.

#### *Предупреждение пожаров и защита от них в помещениях ЭУ*

Предупреждение пожаров и защита от них в помещениях ЭУ обеспечивается комплексом конструктивных мер и противопожарным оборудованием, регламентированных Правилами Регистра.

К числу конструктивных мер относятся:

применение несгораемых или трудносгораемых материалов для оборудования МПО и судовых конструкций (переборок, шахт и палуб над помещениями ЭУ);

покрытие переборок, шахт и палуб МПО тепловой и противозвуковой изоляцией из несгораемых материалов;

предотвращение возможности распространения огня и дыма из МПО в соседние помещения (закрытие отверстий в огнестойких и огнезадерживающих конструкциях);

предотвращение возгорания топлива, масла и других горючих, материалов (изоляция нагретых поверхностей, выполнение требований по размещению оборудования систем топлива и смазки и др.);

обеспечение возможности быстрой эвакуации людей из МПО (рациональное размещение и конструкция выходов, трапов, лифтов) установка системы сигнализации, оповещающей о возникновении пожара в помещениях ЭУ. Активные средства борьбы с пожаром в помещениях ЭУ обеспечиваются применением противопожарных систем и оборудования. По Правилам Регистра помещения ЭУ по степени пожарной опасности подразделяются на три группы.

К первой группе относятся машинные отделения, в которых расположены: главные двигатели, работающие на жидком топливе (МОД, ДРА, ГТД, главные дизель-генераторы и главные газотурбо-генераторы); вспомогательные ДВС или ГТД; парогенераторы с механизмами и оборудованием систем жидкого топлива, а также МПО ПТУ с совмещенным расположением ГТЗА и главных парогенераторов.

Вторая группа включает машинные отделения, где находятся ГТЗА ПТУ, отделенные от парогенераторных отделений водонепроницаемыми переборками и отделения, в которых отсутствуют топливные цистерны, механизмы и оборудование, работающие на жидком топливе.

К третьей группе следует отнести помещения, в которых размещены главные парогенераторы или гребные электродвигатели, и помещения электрораспределительных щитов.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные положения и принципы комплекса показателей обитаемости машинно-котельного отделения и помещений ЭУ?
2. Чем характеризуется обитаемость МО?
3. Что относится к общим средствам снижения воздушного шума в МПО?

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

**Тема:** «Определение весогабаритных показателей СЭУ»

**Цель работы:** Практическое определение весогабаритных показателей СЭУ.

**Содержание работы:** изучение элементов, определяющих главные размерения и водоизмещение судна, определение габаритных показателей СЭУ. Расчет продолжительности автономного плавания, расчет веса топлива и часового расхода топлива на ходу

Относительным массовым показателем ЭУ служит величина удельной массы. Для определения масс отдельных элементов ЭУ используют данные прототипов, фирменных каталогов, а также технические условия на поставку нового оборудования. При определении координат центра массы ЭУ следует учитывать массу жидких грузов, располагаемых в МПО. Смещение центра массы относительно диаметральной плоскости вызывает крен судна и поэтому не допускается. Для устранения дифферента судна, вызываемого смещением центра массы ЭУ относительно миделя (обычно в корму), предусматриваются балластные цистерны. Допустимость места положения центра массы МПО по высоте основной линии оценивается расчетом остойчивости судна.

Запасы топлива, воды и масла определяются заданной автономностью судна. Под автономностью понимают возможную продолжительность пребывания судна в плавании с учетом стоянок без пополнения энергетических запасов, а также запасов питьевой воды и продовольствия для команды. Автономность судна измеряется в сутках.

Для большинства транспортных судов масса энергетических запасов определяется по заданной дальности плавания и средней эксплуатационной скорости, продолжительность ходового периода за рейс, продолжительность стоянки судна с грузовыми операциями и без грузовых операций.

Ориентировочно автономность может составить: для транспортных судов 20-40, рефрижераторных 30-50 и для промысловых баз 60-90 сут. Автономность судов с атомными ЭУ зависит только от запасов продовольствия.

Большая автономность отрицательно отражается на моральном и физическом состоянии личного состава. Повышение автономности может быть достигнуто путем замены команды в море (например, на промысловых судах).

Запас топлива (в килограммах) на ходовое время рейса с учетом работы общесудового и технологического оборудования зависит от :

- часового расхода топлива на главный или вспомогательный двигатель;
- удельного расхода топлива на главный или вспомогательный двигатель, кг/кВт·ч);

- мощности главного или вспомогательного двигателя, кВт;
- расхода топлива на вспомогательный парогенератор, кг/ч;
- паропроизводительности вспомогательного парогенератора, кг/ч;
- к. п. д. вспомогательного парогенератора.
- запаса топлива (в килограммах) на время стоянок
- расхода топлива на вспомогательные двигатели при стоянке судна с грузовыми операциями и без грузовых операций, кг/ч.
- полного запаса топлива на заданную автономность
- коэффициента морского запаса, учитывающего возможность увеличения расхода топлива и масла из-за непредвиденных задержек в пути (шторм, встречные течения, обрастание корпуса и т. д.).

Количество топлива, затрачиваемого на общесудовые, технологические и другие нужды, не связанные с работой пропульсивной установки, зависит от типа и назначения судна. Например, для танкеров с ДУ расход топлива на подогрев груза, очистку и мойку танков и разгрузку составляет 15%, а для танкеров с ПТ — 10% суммарного запаса топлива.

Запас масла, принимаемого на судно, должен учитывать все потери в системе смазки, возникающие при работе главных и вспомогательных двигателей, а также смену масла в системе за период автономности. Потери масла в системе смазки определяются удельным расходом масла, отнесенным к единице полной мощности двигателя за единицу времени.

Наибольшее количество масла расходуется в системах смазки дизельных установок, для которых значение складывается из расхода масла в системах циркуляционной смазки двигателя, газотурбонагнетателей, редукторных передач, а также расхода масла на смазку цилиндров.

Расходы масла мало зависят от нагрузки двигателей. Поэтому на первой стадии проектирования запас масла учитывают некоторым увеличением запаса топлива.

*Запас воды.* Запас пресной (питательной) воды, принимаемой на судно, должен обеспечить пополнение утечек воды из конденсатно-питательных систем парогенераторов и циркуляционных систем охлаждения двигателей, а также обеспечить в случае необходимости полную ее замену во всех элементах этих систем. Количество воды в элементах систем определяется из расчета нагрузки ЭУ. Запасы органического топлива для однотипных транспортных судов растут пропорционально дальности плавания и требуемой мощности энергетической установки. Увеличение запаса топлива приводит к уменьшению полезной грузоподъемности судна, а следовательно, и к снижению эффективности его эксплуатации. Особенно существенно снижается коэффициент утилизации водоизмещения у высокоскоростных судов, оборудованных мощными ЭУ. Для таких судов важен не только удельный расход топлива, зависящий от экономичности главного двигателя, но и удельный запас топлива, определяемый типом энергетической установки.

В отличие от водоизмещающих судов продолжительность рейса быстроходных СПК и СВП ограничивается несколькими часами. Это означает, что полезная грузоподъемность таких судов не может быть существенно повышена за счет уменьшения удельного расхода топлива энергетической установкой, тем более,

что повышение экономичности ЭУ всегда связано с увеличением ее массы и габарита.

Запасы топлива СПК могут быть уменьшены путем сокращения времени между бункеровками, что вполне можно осуществить при использовании таких судов на внутренних водоемах и прибрежных морских линиях.

Полезная грузоподъемность СПК зависит не только от массы ЭУ, но и от гидродинамической эффективности

Для высокоскоростных СПК, приемлемы только ГТД авиационного типа, в то время как для СПК с умеренными скоростями движения могут применяться и высокооборотные дизели. Поэтому при проектировании СПК основное внимание должно быть уделено нахождению оптимального варианта размещения главных двигателей и движителей, при котором пропульсивный коэффициент движительного комплекса будет иметь максимальное значение. У построенных СПК коэффициент утилизации водоизмещения по полезной грузоподъемности составляет 14-18%.

Для судов с комбинированными установками запас топлива определяется на расчетную дальность плавания экономический ходом.

Максимальная продолжительность полного хода, обеспечиваемая совместной работой ускорительных и маршевых двигателей

В комбинированных установках ускорительные двигатели включаются эпизодически и поэтому в качестве таких двигателей обычно используются ГТД авиационного типа, чем обеспечивается снижение массы установки до минимального значения.

Вес и габариты энергетической установки в значительной мере влияют на водоизмещение, главные размерения, грузоподъемность и пассажировместимость судна.

Важными показателями СЭУ являются ее габариты и вес с запасами топлива, масла и воды. Вес определяет долю водоизмещения судна, используемую энергетической установкой. Габаритные показатели установки следующие:

$\Sigma L$  - суммарная длина помещений, занятых СЭУ, м;

$\Sigma F$  - суммарная площадь помещений, занятых СЭУ, м<sup>2</sup>;

$\Sigma V$  - суммарный объем помещений, занятых СЭУ, м<sup>3</sup>;

$N_e / \Sigma L$  - насыщенность МКО по длине, л. с./м;

$N_e / \Sigma F$  - насыщенность МКО по площади, л. с./м<sup>2</sup>;

$N_e / \Sigma V$  - насыщенность МКО по объему, л. с./м<sup>3</sup>.

Вес всех элементов установки без рабочих тел, так называемый сухой вес  $G_{y.c}$ , и вес установки, подготовленной к действию,  $G_y$ , определяются по осредненным данным для рассматриваемого типа энергетической установки или (точнее) по данным, приведенным в паспортах оборудования.

Для определения веса установки с запасами топлива, воды, масла и других расходуемых материалов ( $G_y + G$ ), обеспечивающих заданную дальность плавания при номинальной скорости хода, необходимо определить продолжительность ходового времени и продолжительность стояночного времени.

Вес запаса топлива, воды и масла

$$G = G_T + G_B + G_M.$$

Продолжительность автономного плавания определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{L_p}{v_{CP}} k,$$

где  $L_p$  - протяженность рейса, миль;

$v_{CP}$  - средняя скорость хода судна за рейс, узл.;

$k$  - коэффициент, учитывающий возможные задержки в пути

( $k = 1,1-1,15$ ). Продолжительность стояночного времени  $\tau_2$  определяется в зависимости от грузоподъемности, рода груза, скорости погрузочно-разгрузочных операций.

Вес топлива

$$G_T = B_1 v_1 + B_2 v_2$$

где  $B_1$  - часовой расход топлива на ходу;

$B_2$  - часовой расход топлива на стоянке. Часовой расход топлива на ходу

$$B_1 = b_{Г.д} N_{Г.д} + b_{В.д} N_{В.д} + B_{В.к}$$

где  $b_{Г.д}$  и  $b_{В.д}$  - удельный расход топлива на главный и вспомогательный двигатели, кг/л. с.-ч;

$N_{Г.д}$  и  $N_{В.д}$  - эффективная мощность главного и вспомогательного двигателей л. с.;

$B_{В.к}$  - часовой расход топлива на вспомогательный котел, кг/ч. Часовой расход топлива на стоянке определяется по нагрузке судовой электростанции и расходу пара на тепловые потребители. Запасы масла можно в предварительных расчетах принять равными в дизельных установках 1 - 2 %, а в паротурбинных установках - 0,3 - 0,4 % от запаса топлива. Запасы воды в дизельных и паротурбинных установках составляют соответственно 10- 12% и 12 - 14% от запаса топлива. В качестве удельного весового показателя установки следует пользоваться отношением веса установки с запасами топлива, воды и масла к эффективной мощности главного двигателя

### Контрольные вопросы

1. От чего зависит запас топлива на ходовое время рейса с учетом работы общесудового и технологического оборудования ?
2. Что служит относительным массовым показателем ЭУ?
3. Как определяется продолжительность стояночного времени судна?

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

**Тема:** Системы ДАУ главных двигателей

**Цель работы:** теоретическое изучение систем дистанционного автоматического управления главными двигателями, теоретическое изучение комплексной автоматизации судовых дизельных установок.

**Содержание работы:** изучение групп судов по уровню автоматизации управления и контроля за работой энергетического оборудования, изучение системы ДАУ главных двигателей.

Морские теплоходы по уровню автоматизации управления и контроля за работой энергетического оборудования могут быть условно разделены на следующие группы:

- суда, на которых управление и контроль за работой энергетического оборудования осуществляют круглосуточно, дистанционно, вахтой из центрального поста управления (ЦПУ), находящегося в пределах машинного отделения. Пост хорошо звукоизолирован и оборудован системой кондиционирования воздуха. К таким судам относится около 15% общего числа автоматизированных судов, и этот процент все время уменьшается;

- суда, на которых управление и контроль за работой энергетического оборудования осуществляют дистанционно из рулевой рубки или, при необходимости, из ЦПУ, где круглосуточно несется вахта, ведущая наблюдение за работой механизмов.

Вахтенные периодически обходят и осматривают их, включая и останавливая редко используемые механизмы. К таким судам относится более 60% всех автоматизированных судов;

Суда, на которых управление и контроль за работой энергетического оборудования осуществляют из рулевой рубки. В машинном отделении предусматривается ЦПУ или центральный пост контроля, в котором вахту несут только 6—8 ч. В остальное время, а также в ночные часы в машинном отделении и ЦПУ вахту не несут. К данной группе судов относится приблизительно 25% всех автоматизированных судов, и этот процент постоянно увеличивается.

Следующей формой развития автоматизации судов является переход на полное безвахтенное обслуживание энергетической установки, включая механизмы и системы. В данном случае механик является в машинное отделение по вызову сигнализации для устранения ненормальностей в работе механизмов. Профилактикой и ремонтом оборудования занимается соответствующий персонал в дневное время.

Основным элементом современной автоматизации судов является централизация управления оборудованием машинного отделения и контроля за его работой которая позволяет:

- осуществлять из ЦПУ пуск и остановку механизмов;
- изменять режимы работы механизмов, агрегатов и установок;
- контролировать их параметры, своевременно обнаруживать отклонения параметров от нормы;
- принимать меры для восстановления нормальной работы оборудования.

Системы ДАУ главных двигателей, применяемые на новых судах, обычно предусматривают программное выполнение всех операций по маневрированию, пуску, остановке ГД и изменению частоты вращения вала.

Контроль параметров работы оборудования на современных автоматизированных судах осуществляют, как правило, с помощью электронных автоматических централизованных систем. Наиболее часто применяют системы контроля параметров с помощью машины централизованного контроля (МЦК).

Опыт эксплуатации автоматизированных транспортных судов подтверждает

технико-экономическую целесообразность дальнейшего развития автоматизации судовых технических средств, что предъявляет более жесткие требования к основному судовому оборудованию в отношении приспособленности его к условиям без вахтенного обслуживания. Очевидно, что технический прогресс автоматизации судов в дальнейшем во многом будет зависеть от успехов промышленности по значительному повышению надежности судового оборудования и систем автоматики.

В последние годы на многих теплоходах широко применяют комплексную автоматизацию судовых дизельных установок, которая включает:

- ДАУ главными и вспомогательными механизмами;
- контроль за работой механизмов энергетической установки;
- сигнализацию об отклонении параметров от нормы и аварийную защиту.

Комплексная автоматизация — это согласованная автоматизация отдельных видов технических средств и управления их совокупностью, которая при некотором экономически целесообразном уровне затрат на нее обеспечивает наибольшую экономию труда.

Разработанные к настоящему времени комплексную автоматизацию судовых дизельных установок, которая включает: выполняют многочисленные операции: программный пуск, изменение частоты вращения, реверс и остановку дизеля, отмену команд, повторные пуски, прохождение зоны критической частоты вращения, автоматические блокировки, защиту, аварийную остановку, переключение управления из рулевой трубки на центральный и на местный посты управления, контроль исправности системы, сигнализацию о выполнении команд системой и главным двигателем, а также контроль работы главного двигателя.

Система ДАУ дизель генераторами выполняет подготовку к пуску, автоматические или дистанционные запуски, дает возможность синхронизации при подключении на параллельную работу, выполняет аварийные и нормальные остановки, защиту и сигнализацию о состоянии дизель генератора.

При комплексной автоматизации управления дизельной установкой автоматизированы также процессы, связанные с пуском двигателя и его работой при безвахтенном обслуживании. Все эти операции автоматически или дистанционно выполняют специальные системы автоматизации пуска и остановки вспомогательных агрегатов — топливных и масляных насосов, компрессоров, сепараторов, насосов системы охлаждения и т. д.

Контролируют работу дизельной установки по мнемосхемам и контрольно-измерительным приборам. Регистрация параметров и записи в вахтенном журнале автоматизированы. Предусмотрены непрерывная индикация основных параметров и периодический контроль по вызову оператора, а также сигнализация об отклонениях параметров от нормы и аварийно-предупредительная тревожная сигнализация.

Автоматизация судовых дизельных установок должна обеспечивать: возможность управления главными двигателями как с дистанционного пульта управления в ходовой рубке, так и с ЦПУ в машинном отделении. В качестве резервного должен быть предусмотрен неавтоматизированный местный пульт управления. Система управления главным двигателем должна быть сблокирована с валоповоротным и защитным устройствами; возможность работы двигателя с ограничением подачи топлива на любых

скоростных режимах;  
пополнение отстойной топливной цистерны, поддержание уровня в расходных топливных цистернах, одновременное пополнение этих цистерн и сепарирование топлива, поддержание постоянной температуры (или вязкости) топлива перед двигателем, очистку топливных фильтров, предупредительную сигнализацию по уровню топлива в отстойной и расходной топливных цистернах, дистанционный перевод (с ЦПУ) главных двигателей с тяжелого топлива на дизельное;  
поддержание в циркуляционной системе смазки постоянной температуры масла перед двигателем, пополнение лубрикаторов, очистку масляных фильтров, удаление шлама из сепараторов, включение резервного масляного насоса, предупредительную сигнализацию по уровню масла в цистернах;  
поддержание постоянного давления в баллонах воздухохранителях, предупредительную сигнализацию по давлению в баллонах, включение охлаждения компрессоров при их пуске, аварийную защиту по температуре охлаждающей воды; регулирование температуры охлаждающей воды на выходе из двигателя и предупредительную сигнализацию по уровню в расширительной цистерне;  
дистанционный пуск и остановку дизель генераторов, регулирование частоты вращения вала, поддержание постоянной температуры охлаждающей воды на выходе из двигателей, а также температуры циркуляционного смазочного масла на входе в двигатель, предупредительную сигнализацию (по давлению и температуре масла и охлаждающей воды, по пуску и приему нагрузки дизель генераторами), аварийную защиту по частоте вращения и давлению масла в системе смазки;  
поддержание постоянного напряжения на шинах электrorаспределительного щита и синхронизацию генераторов при их параллельной работе, отключение второстепенных потребителей при перегрузке электростанции;  
подготовку к пуску и пуск вспомогательного котла, поддержание постоянного давления пара в котле, поддержание постоянного уровня воды в барабане котла и постоянной температуры топлива перед форсунками, включение и выключение добавочного питания по уровню воды в теплом ящике, предупредительную сигнализацию по давлению пара и уровню воды в барабане котла, аварийную защиту по уровню воды, факелу и воздуху;  
дистанционное управление заслонкой на трубопроводе выпускных газов, утилизационный котел;  
включение насосов системы водоснабжения в пневмоцистернах, поддержание постоянной температуры горячей мытьевой воды, предупредительную сигнализацию по включению насосов;  
дистанционное включение и выключение осушительного насоса, предупредительную сигнализацию по уровню воды в сточных колодцах и включению осушительного насоса;  
дистанционное включение системы углекислотного тушения и других противопожарных средств, предупредительную сигнализацию по дыму в жилых и служебных помещениях;  
дистанционный пуск фекального насоса и автоматическую его остановку при опорожнении цистерны, предупредительную сигнализацию по верхнему уровню в фекальной цистерне и включение фекального насоса;  
дистанционное управление открытием и закрытием клапанов на трубопроводах

грузовой системы, грузовыми насосами, дистанционный замер уровня жидкого груза в танках.

Аппаратура автоматического регулирования, сигнализации, защиты и контроля должна устойчиво и надежно работать в условиях качки судна с креном до  $20^\circ$ , выносить вибрацию с частотой 20 гц при амплитуде 0,5 мм, работать при температуре воздуха до  $60^\circ \text{C}$  и относительной влажности 95%.

Обобщение и обработка данных эксплуатации теплоходов и ДАУ силовыми дизельными установками показывают, что внедрение автоматизации позволяет уменьшить численность машинной команды и улучшить эксплуатационные характеристики судна.

### Контрольные вопросы

1. Что включает в себя комплексная автоматизация судовых дизельных установок ?
2. Что обеспечивает автоматизация судовых дизельных установок ?
3. Что предусматривают системы ДАУ главных двигателей ?

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

**Тема:** «Оценка экономической эффективности судна»

**Цель работы:** Практическое изучение оценки экономической эффективности СЭУ.

**Содержание работы:** Определение расхода на топливо и масло за годовой период эксплуатации судна, определение амортизационные отчислений. Определение удельных капитальных вложений на 1 кВт·ч мощности, выработанной СЭУ за навигационный период.

Критерием оценки сравнительной экономической эффективности капитальных вложений служит минимум приведенных затрат на единицу продукции. Приведенные затраты определяются по выражению:

$$C_i = \tilde{n} + A_i \hat{e},$$

где  $c$  - текущие затраты (себестоимость) на единицу продукции;

$E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$k$  - капитальные вложения на единицу продукции.

Время стоянки судна в портах складывается из времени грузовых операций и времени непроизводительных стоянок (подготовительные операции, метеорологические условия и др.). Продолжительность грузовых операций определяется нормами погрузки и выгрузки грузов, установленными в портах, между которыми судно совершает круговые рейсы. Если предусматривается новая технология обработки грузов, эти нормы должны быть пересмотрены.

Удельные капиталовложения по доставке 1 т груза подсчитывают на отношения строительной стоимости судна  $S_c$  к его годовой провозоспособности:

$$\hat{e}_{\tilde{n}} = \frac{S_c}{\tilde{i}}$$

Строительную стоимость судна установившейся серии найти по укрупненным нормативам:

$$S_c = (S_k + S_y) \mu \beta;$$

$S_{кв}$ ,  $S_y$  — стоимость корпуса с оборудованием и энергетической установки;

$\mu$  - коэффициент, учитывающий дополнительные затраты на вспомогательные и производственные работы по судну в целом, доковые работы, швартовые, ходовые и сдаточные испытания, накопления и начисления завода-строителя;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий затраты на проектирование и технологическую оснастку.

Годовые эксплуатационные затраты по судну представляют собой сумму расходов на топливо и масло  $\dot{Y}_{\text{тм}}$ , содержание экипажа  $\dot{Y}_{\text{эк}}$ , отчисления на амортизацию  $\dot{Y}_{\text{ам}}$ , текущий ремонт и снабжение  $\dot{Y}_{\text{р.}}$ , а также навигационных  $\dot{Y}_{\text{н}}$  и косвенных  $\dot{Y}_{\text{кос}}$  расходов:

$$\dot{Y}_{\bar{n}} = \dot{Y}_{\text{д.и.}} + \dot{Y}_{\text{д.е.}} + \dot{Y}_{\text{д.и.}} + \dot{Y}_{\text{д}} + \dot{Y}_{\text{т}} + \dot{Y}_{\text{ам}}$$

Расход на топливо и масло за годовой период эксплуатации судна:  $\dot{Y}_{\text{т.и.}} = (G_{\text{т}} S_{\text{т}} + G_{\text{м}} S_{\text{м}})$

где  $G_{\text{т}}$ ,  $G_{\text{м}}$  — расход топлива и масла за круговой рейс, т;

$S_{\text{т}}$ ,  $S_{\text{м}}$  — стоимость топлива и масла с бункеровкой, в тенге.

Амортизационные отчисления складываются из двух частей: одна предусматривает отчисление на восстановление (реновацию), а другая — на капитальный ремонт и модернизацию судна в течение срока его службы. Нормы амортизационных отчислений дифференцируются по назначению судна и типу ЭУ. Отчисления на текущий ремонт и снабжение судов включают затраты на профилактические и ремонтные работы, выполняемые как судоремонтными заводами, так и силами команды. Периодичность текущих ремонтов устанавливается правилами технической эксплуатации судов. Нормы отчислений на текущий ремонт грузовых судов составляют 0,8-1,1%. Расходы на материально-техническое снабжение судов не превышают 0,5% их строительной стоимости. Они включают затраты на приобретение малоценного инвентаря и расходных материалов (краски, лаки, мелкий такелаж и т. п.), необходимые для поддержания судна в исправном состоянии.

Навигационные расходы относятся к общепроизводственным расходам судна. Они включают расходы на пресную воду, очистку водяных танков, зачистку танков под светлые нефтепродукты, технический осмотр, оплату буксиров и ледаколов, приобретение морских карт, лоций и навигационных инструментов, стирку судового белья и спецодежды и т. д. Большая часть этих расходов зависит от размеров судна. Норматив этих расходов устанавливается Мин.транспорта по отчетным данным пароконств. Косвенные расходы - это накладные расходы пароконств, относимые на содержание судов. Они включают заработную плату и премии административно-управленческому составу, затраты на содержание, текущий ремонт и амортизацию основных портовых сооружений, расходы на подготовку кадров, содержание морских агентств, медико-санитарные мероприятия, отчисления на научно-исследовательские работы и т. п.

Эти расходы в среднем составляют 4,5-5,5% суммы прямых расходов без учета затрат на топливо и смазочные материалы.

Рентабельность использования судна на заданной линии оценивается коэффициентом рентабельности. Этот коэффициент для каботажных судов определится:

$$K_p = \frac{\ddot{A} - \dot{Y}_{\bar{n}}}{S_c} 100\%$$

Где  $D = T_{\phi} \cdot P$  — доход судна, год;  
 $T_{\phi}$  — тариф за доставку груза,  
 $P$  — провозоспособность судна, т/год.

Энергетическая установка оказывает существенное влияние на показатели экономической эффективности судна, особенно судна с высоким значением удельной мощности. На долю СЭУ приходится 25-40% строительной стоимости судна и около 50% общих затрат по судну на заводской ремонт.

В эксплуатационных расходах судна за годовой период доля затрат на СЭУ зависит от продолжительности ходового времени. Для сухогрузных судов универсального назначения при коэффициенте ходового времени 0,5, доля затрат на ЭУ в эксплуатационных расходах может составить 35-55%, а для танкеров с коэффициентом ходового времени 0,7-0,85 она равна 45-48%.

С изменением типа ЭУ ее масса и масса энергетических запасов существенно изменяются, а это приводит к изменению дедвейта, грузоподъемности и требуемой мощности для движения судна с заданной скоростью. Объективная оценка сравнительной экономической эффективности различных типов СЭУ, независимо от условий производства главных двигателей и комплектующего оборудования, а также размеров и скорости судна может быть произведена по приведенным затратам  $z_{y,}$  отнесенным к 1 кВт энергии, выработанной главными двигателями за навигационный период:

$$a_y = c_y + E_1 k_y$$

Удельные капитальные вложения на 1 кВт·ч мощности, выработанной СЭУ за навигационный период

$$k_y = \frac{S_y}{N_e f_N i T_x},$$

где

$S_y$  - строительная стоимость ЭУ,

$N_e$  - номинальная мощность главных двигателей, кВт;

$T_x$  - средняя продолжительность ходового времени (с учетом маневров) за круговой рейс, ч;

$i$  - число круговых рейсов за навигацию;

$f_N$  - средневзвешенный коэффициент использования мощности главного двигателя за навигацию ( $f_N = 0,77 - 0,82$  - для сухогрузов,  $f_N = 0,88 - 0,92$  - для танкеров).

Строительная стоимость энергетической установки может определена по укрупненным нормативам:  $S_y = \sum (S_{AA} + S_{ii})$ ,

где  $S_{ГД}$  - стоимость главного двигателя (дизеля, ГТЗА и дизельных генераторов с гребными электродвигателями) в объеме поставок по техническим условиям (с редуктором, запасными частями, инструментом, контрольно-измерительными приборами и т. п.)  $S_{AA} = \delta_{AA} \sum N_a^{AA}$ ;

$S_{МО}$  - стоимость механического оборудования ЭУ без главного двигателя (валопроводы, движители, вспомогательные механизмы и установки, трубопроводы и т. п.)  $S_{ii} = \delta_{ii} G_{ii}$ ;

$G_{МО}$  - масса механического оборудования ЭУ без главного двигателя, т;

$N_{ГД}$  - мощность главного двигателя, кВт;

$P_{ГД}$  - удельная стоимость единицы мощности главного двигателя, тен.кВт;

$P_{м.о}$  - удельная стоимость единицы массы механического оборудования, тен./т.

Для однотипных установок может быть использована более простая зависимость

$$S_y = p_y N_e^y,$$

$P_y$  - удельная стоимость единицы мощности установки, тен./кВт.

За рубежом широко пользуются различными эмпирическими зависимостями, позволяющими быстро и с достаточной достоверностью определить строительную стоимость как судна в целом, так и его энергетической установки.

Так, в США стоимость ПТУ, не оснащенной средствами комплексной автоматизации, определяют по выражению

$$S_{i\dot{o}} = 647000 \hat{E}\delta \left(\frac{N_e}{1000}\right)^{0.6} \hat{a}\hat{i}\hat{e}\hat{e}.$$

где  $K_p = 0,91$  — при кормовом расположении ПТУ-Стоимость дизельных установок с прямой передачей, производимых в европейских странах, определяют по формуле

$$S_{\dot{A}\dot{o}} = \left[ 1.8 + 0.95 \left(\frac{N_e}{1000}\right) - 0.006 \left(\frac{N_e}{1000}\right)^2 \right] 10^3 \hat{a}\hat{i}\hat{e}\hat{e}.$$

Приведенные методы определения стоимости СЭУ основаны на использовании многолетних (за 8—10 лет) систематизированных материалов по укрупненным нормам трудозатрат, имеющимся в проектных и исследовательских организациях или на заводах-строителях. Они не могут быть использованы при подсчете стоимости СЭУ с главными двигателями новых типов, освоение которых связано с проведением широкого круга научно-исследовательских и проектных работ, подготовкой производства, доводкой головного образца и т. п. калькуляций, исходными данными. Степень детализации сухой массы установки  $S^\circ$  определяется проектантом в зависимости от различий в комплектации сравниваемых типов СЭУ- Например, если массу всей установки разбить на следующие составляющие:  $G_{ГД}$  — главных двигателей в полном сборе, с обслуживающими их механизмами;  $G_{пер}$  — передач от главных двигателей;  $G_n$  — парогенераторов в полном сборе с обслуживающими их механизмами;  $G_{он}$  — оборудования помещений МПО;  $G_{тр}$  — трубопроводов СЭУ;  $S_{в.у}$  — независимых вспомогательных установок с трубопроводами и другим оборудованием;  $G_{в.д}$  — валопроводов и движителей;  $G_{а.у}$  — систем автоматизации управления;  $S_{эо}$  — электрооборудования МПО, то могут быть учтены не только конструктивные особенности главных двигателей и технология их производства, но и отличия в комплектации и автоматизации ЭУ, В этом случае стоимость энергетической установки будет равна сумме начальных затрат на отдельные группы составляющего ее оборудования:

$$S_y = S_{\dot{A}\dot{A}} + S_{i\dot{a}\dot{o}} + S_i + S_{i.f} + S_{\dot{o}\dot{o}} + S_{\dot{a}.\dot{o}} + S_{\dot{a}.\dot{a}} + S_{\dot{a}.\dot{o}} + S_{\dot{y}}$$

Начальные затраты на  $i$ -ую группу оборудования :  $S_i = p_i G_i$ ,

где  $G_i$ , — масса  $i$ -ой статьи нагрузки ЭУ, кг;

$p_i$  — удельная стоимость  $i$ -ой статьи нагрузки ЭУ, тен./кг.

При нахождении начальных затрат на отдельные группы оборудования ЭУ широко используют сметные и отчетные калькуляции по ранее освоенному оборудованию, а также информацию о расчетной стоимости нового оборудования, сообщаемую

заводами, на которых оно осваивается.

Метод расчета стоимости по группам конструктивной разбивки, хотя и требует большего объема исследований, но обеспечивает точность, достаточную для сравнительной оценки различных типов СЭУ.

Себестоимость  $c_y$ , тен/кВт, выработанной ЭУ энергии за годовой период

$$c_y = \frac{Y_{\delta}^a}{N_e f_N i T_k},$$

Годовые эксплуатационные расходы на ЭУ за время ходовых режимов можно представить как сумму отдельных составляющих:

$$Y_{\delta}^a = Y_{\delta.l}^a + Y_{l.E}^a + Y_{ai}^{\delta} + Y_{\delta}^{\delta} + Y_{\delta\bar{m}}^{\delta}.$$

Годовые расходы на топливо, масло и обтирочные материалы:

$$Y_{\delta.l}^a = \beta S_T b_e^y N_e^y f_N i T_x,$$

где  $S_T$  — стоимость топлива с бункеровкой, тен/т;

$b$  — удельный расход топлива на установку, кг/(кВт·ч);

$\beta$  — коэффициент, учитывающий затраты на смазочные материалы; ( $N = 1,04$  — для ДУ с СОД;  $1,025$  — для ДУ с МОД;  $1,002$  — для ПТУ и  $1,007$  — для ГТУ). Необходимо помнить, что  $b_e > b_e$  на величину, эквивалентную электрической и тепловой энергии, расходуемой на работу вспомогательных механизмов и аппаратов, обслуживающих пропульсивную установку. На ходовых режимах энергия, вырабатываемая генераторами судовой электростанции и вспомогательными парогенераторами (если они работают), расходуется как на нужды пропульсивной установки, так и на общесудовые цели.

### Контрольные вопросы

1. Какие параметры учитываются при расчете экономической эффективности судна?
2. Из чего складываются эксплуатационные расходы?
3. Что учитывается при определении расходов на содержание экипажа?
4. От чего зависят показатели экономической эффективности судна?

## **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Козлов В.И. Судовые энергетические установки. Издательство «Судостроение» Ленинград, 1975г.
2. Троицкий Б.Л. Основы проектирования СЭУ Учебник. – М.: Транспорт, 1988, 296 с.
3. Перельман Р.С. Судовые энергетические установки. Одесса, Феникс, 2006, 92с.
4. Голубев В.Н. Проектирование СЭУ. Учебник. – М.: Транспорт, 1999, 211 с.

## **Дополнительная литература**

5. Сизых В.А. Судовые энергетические установки. – М. Транслит, 2006,344с
6. Спиридонов Ю.Н., Рукавишников Н.Ф. Ремонт судовых дизелей – М.: Транспорт, 1989. 253 с.
7. Конаков Г.А., Васильев Б.В. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота.- М.: Транспорт, 1984, 424с.
8. Техническое обслуживание судна в рейсе. Справочник./Под ред. Фока А.А. М., Транспорт, 1985.

Формат 60x84 1/12  
Объем 35 стр. 3 печатный лист  
Тираж 20 экз.,  
Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
КГУТиИ им. Ш Есенова  
г.Актау, 27 мкр.