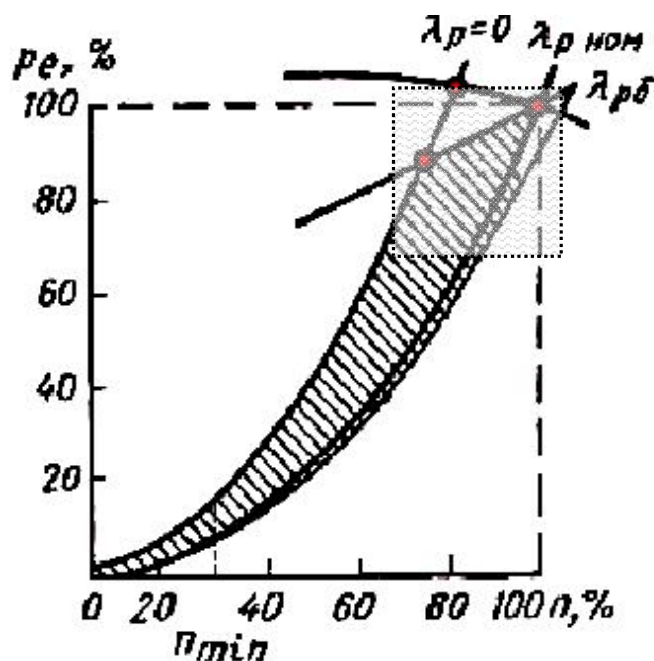




ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ С ГАЗОТУРБИННЫМ НАДДУВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОГРАНИЧИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО СРЕДНЕМУ ИНДИКАТОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ

Методические указания
к практическому занятию №2 по дисциплине
«Режимы работы судовых
дизельных энергетических установок»,
для студентов специальностей 7.100302 и 8.100302
«Эксплуатация судовых энергетических установок»
всех форм обучения



Севастополь 2006



Исследование безопасных режимов работы главного судового дизеля с газотурбинным наддувом с использованием ограничительной характеристики по среднему индикаторному давлению. Методические указания к практическому занятию №2 по дисциплине: «Режимы работы судовых дизельных энергетических установок» для студентов специальностей 7.100302 и 8.100302 «Эксплуатация судовых энергетических установок» всех форм обучения/ Сост. П.П. Борисенко, А.Г. Клименко. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006.-28 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам дневной и заочной форм обучения специальностей 7.100302 и 8.100302 «Эксплуатация судовых энергетических установок» в выполнении практической работы по выбору и анализу безопасных режимов работы главного судового дизеля с использованием ограничительной характеристики по среднему индикаторному давлению в условиях эксплуатации.

Методические указания составлены на основе образовательно-профессиональной программы высшего образования по профессиональному направлению 6.1003 «Судовождение и энергетика судов» для специальностей 7.100302 и 8.100302 «Эксплуатация судовых энергетических установок», утвержденной Министерством образования и науки Украины, и требований Международной конвенции ПДНВ 78/95 (Раздел А-III/2, Функция «Морская механика на уровне управления»).

Методические указания утверждены на заседании кафедры энергоустановок морских судов и сооружений, протокол № 2 от «17» февраля 2006г.

Рецензент: Шерстнев Н.В., канд. технических наук, доцент каф. ЭМСС

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ	4
1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ	5
2. ОБЩАЯ ЧАСТЬ	5
3. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ	8
4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ С ГАЗОТУРБИННЫМ НАДДУВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОГРАНИЧИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО СРЕДНЕМУ ИНДИКАТОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ	9
5. ПОСТРОЕНИЕ РАБОЧЕГО ПОЛЯ РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО ВИНТОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ.....	12
5.1. Общие сведения	12
5.2. Построение ограничительных характеристик	13
5.3. Построение винтовых характеристик	13
5.4. Пример выполнения расчёта для дизеля 8 74VTBF160.....	14
6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ.....	18
7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ПРАКТИЧЕСКОМ ЗАНЯТИИ	20
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	22
ПРИЛОЖЕНИЕ А	23
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	24
ПРИЛОЖЕНИЕ В	25

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

Обозначения:

M_e	- эффективный крутящий момент дизеля, кН·м;
N_e	- эффективная мощность дизеля, кВт;
n	- частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин;
D	- диаметр цилиндра, м;
S	- ход поршня, м
p_e	- среднее эффективное давление, МПа;
p_i	- среднее индикаторное давление, МПа;
p_k	- давление воздуха за компрессором, МПа;
p_s	- давление воздуха перед цилиндрами, МПа;
q	- удельный тепловой поток через стенку цилиндра, (кДж·м ²)/с;
B_2	- постоянный коэффициент;
η_n	- коэффициент наполнения;
g_u	- цикловая подача топлива, кг/цикл;
T_s	- температура воздуха перед цилиндрами, К;
T_r	- температура выпускных газов;
c, c_1, c_2	- постоянные коэффициенты пропорциональности;
$F_n = \pi D^2 / 4$	- площадь поршня, м ² ;
$c_m = \frac{Sn}{30}$	- средняя скорость поршня, м/с;
$A = 10^3 F_n i z \frac{S}{60}$	- постоянная дизеля;
i	- число цилиндров;
z	- коэффициент тактности дизеля (1 – для двухтактных дизелей, 0,5 – для четырёхтактных дизелей);
$\lambda = \frac{V_s}{n_s}$	- поступь винта, м
V_s	- скорость судна, м/с;
$n_s = \frac{n}{60}$	- частота вращения гребного винта, с ⁻¹ ;
ЦПГ	- цилиндропоршневая группа;
ЦНИИМФ	- Центральный научно-исследовательский институт морского флота;
ном	- индекс, обозначающий номинальный режим;
max	- индекс, обозначающий максимальное значение;
min	- индекс, обозначающий минимальное значение;
_	- знак, обозначающий относительное значение величины;
x, j	- индексы, обозначающие определенное значение варьируемой величины

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

В результате выполнения практической работы студенты должны научиться решать следующие практические задачи эксплуатации главного судового дизеля:

1. По исходным тактико-техническим характеристикам главного судового дизеля и рекомендациям ЦНИИМФ производить расчет и построение ограничительных характеристик для кратковременного и длительного режима его работы в зависимости от характеристики системы наддува дизеля.
2. Производить расчет и построение винтовых характеристик в пределах полей эксплуатационных режимов работы главного судового дизеля.
3. Производить анализ безопасных режимов работы главного судового дизеля с использованием ограничительной характеристики по среднему индикаторному давлению в условиях эксплуатации.

Время занятия – 3 часа

2. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

При любых режимах работы дизеля его механическая и тепловая напряженность не должна превышать номинальных значений. Различают два вида ограничительных характеристик:

1. По топливному насосу: не допускается даже кратковременная перегрузка дизеля, кроме случаев, связанных с угрозой человеческой жизни или безопасностью судна. Такой характеристикой является внешняя характеристика максимальной мощности.
2. По тепловой и механической напряженности: не допускаются перегрузки дизеля при необходимости длительной* работы на данном режиме.

Для судовых главных дизелей рекомендуется ограничивать нагрузку дизеля по номинальному крутящему моменту $M_{\text{сн}} = \text{const}$ (по номинальному среднему индикаторному давлению $p_{\text{ин}} = \text{const}$). При этом кроме ограничения по p_i , накладываются ограничения по максимальному давлению сгорания p_z и температуре выпускных газов T_g . Эти рекомендации применяются для четырехтактных дизелей без наддува.

Объясняется это тем, что при уменьшении частоты вращения и при неизменной тепловой нагрузке $q = \text{const}$ плотность заряда в цилиндре не только не умень-

* **Длительная работа дизеля** – это непрерывная работа дизеля без ограничения по времени, при которой обеспечивается установленная эффективная мощность дизеля, расположенная в поле допустимых его нагрузок (Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Дизели. КНД 31.2.002.03-96.-Разд.3).

шается, но даже несколько увеличивается вследствие роста коэффициента наполнения η_n . Процесс сгорания осуществляется без уменьшения коэффициента избытка воздуха, что предохраняет дизель от тепловых перегрузок.

У дизелей с газотурбинным наддувом, снижение частоты вращения коленчатого вала ведет к тепловым и механическим перегрузкам. Поэтому такая характеристика не может быть использована в качестве ограничительной для современных форсированных дизелей, обладающих высоким уровнем тепловой и механической напряженности.

В качестве ограничительной может быть принята характеристика, обеспечивающая постоянство удельного теплового потока, а значит, и постоянство температур и тепловых перепадов в деталях ЦПГ. Требование постоянства теплового потока можно выразить формулой

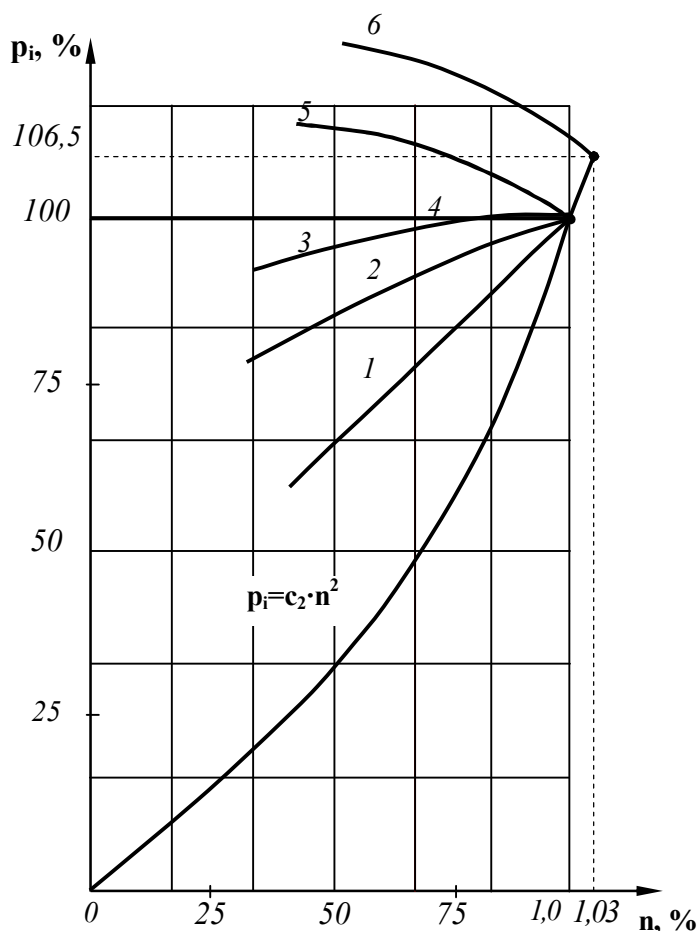
$$q = B_2 \sqrt{\left(\frac{n}{p_s}\right)} \cdot g_u \cdot T_s = \text{const}$$

Так как при изменении скоростного режима температура воздуха T_s мало изменяется, а давление его p_s падает значительно быстрее частоты вращения n , то для того, чтобы выполнить условие $q=\text{const}$, необходимо цикловую подачу топлива g_u уменьшить.

Графически в координатах $p_e - n$ эта закономерность может быть представлена линией, выходящей из точки номинального или эксплуатационного режима и наклонной под некоторым углом к оси абсцисс (рисунок 1).

В отличие от ограничительной характеристики по топливному насосу, которая ограничивается специально установленным упором, та же характеристика по тепловой и механической напряженности является условной и никакими конструктивными элементами не ограничивается. Она устанавливается исходя из внешних условий эксплуатации и технического состояния дизеля.

Уменьшение цикловой подачи топлива должен производить механик с пуль-



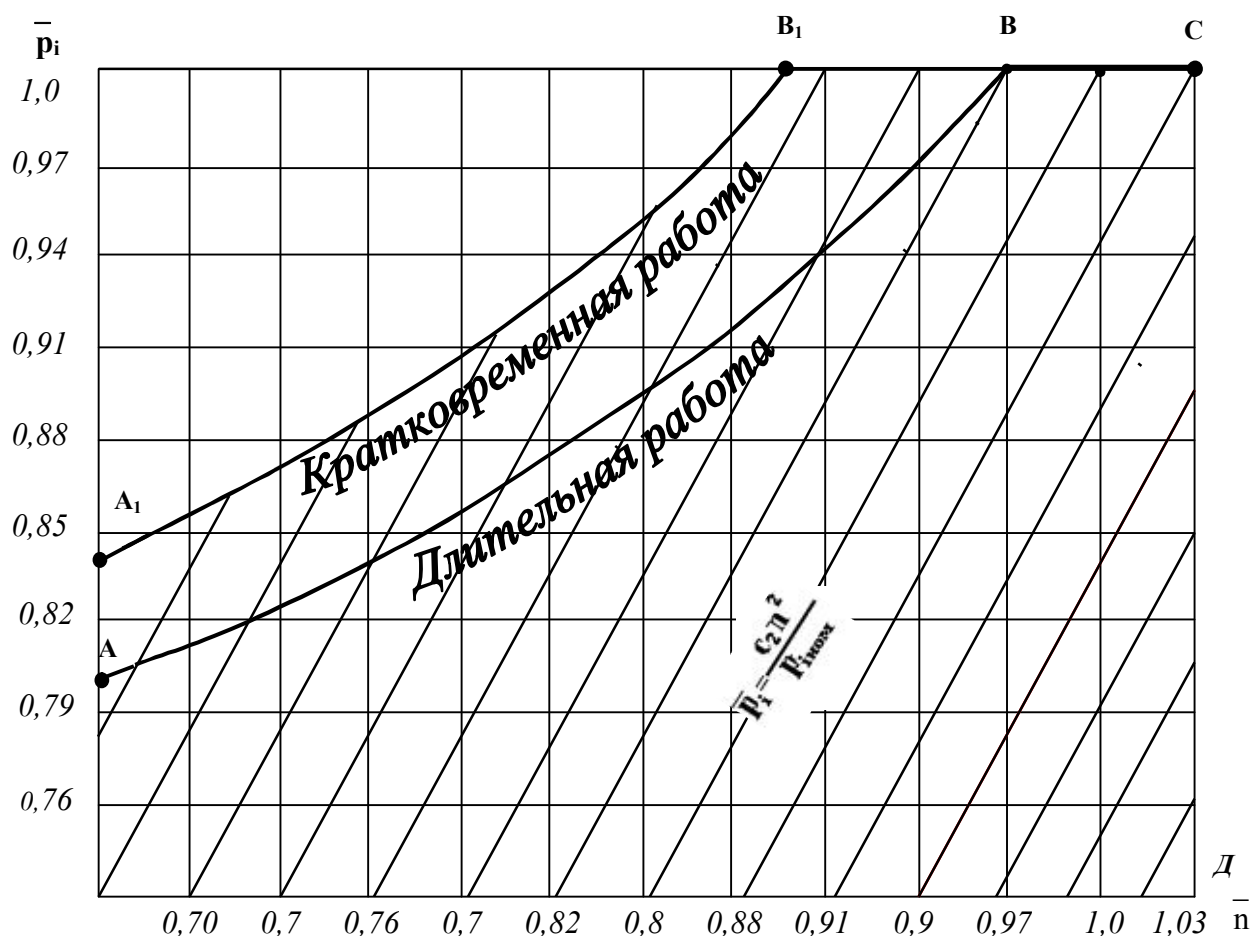
1 - ограничительная характеристика по тепловой и механической напряженности дизелей с газотурбинным наддувом; 2 - ограничительная характеристика по тепловой и механической напряженности двух- и четырехтактных дизелей с наддувом от механического привода; 3 - ограничительная характеристика по тепловой и механической напряженности двухтактных дизелей без наддува; 4 - ограничительная характеристика $p_i(M_e) = \text{const}$; 5 - внешняя номинальная характеристика; 6 - внешняя характеристика перегрузочного режима.

Рисунок 1 - Ограничительные характеристики

та управления. Основным, притом легко контролируемым показателем в практике эксплуатации является среднее индикаторное давление p_i для дизелей, имеющих индикаторный привод или другие средства измерения p_i . Поэтому, принимая во внимание, что при неизменной цикловой подаче топлива величина среднего индикаторного давления меняется незначительно при изменении скоростного режима (рисунок 1), эти характеристики удобно строить в координатах $p_i - n$.

На рисунке 2 показаны разработанная ЦНИИМФом типовые ограничительные характеристики, построенные в относительных координатах $\bar{p}_i - \bar{n}$ (где

$$\bar{p}_i = \frac{p_i}{p_{\text{инно}}}; \bar{n} = \frac{n}{n_{\text{ном}}}).$$



AB и BC - скоростная ограничительная характеристика для длительной работы; A₁B₁ и B₁C - скоростная ограничительная характеристика для кратковременной работы; CD - линия, ограничивающая наибольшую частоту вращения, допускаемую при длительной эксплуатации дизеля; $\bar{p}_i = \frac{c_2 n^2}{p_{\text{инно}}}$ - семейство винтовых характеристик.

Рисунок 2 - Типовой график для выбора эксплуатационных режимов работы главного дизеля с газотурбинным наддувом

Поле, лежащее под линией АВСД, графически отображает все режимы, на которых дизель с газотурбинным наддувом может длительно работать в эксплуатации без перегрузки, если температура воздуха на входе в него не превышает стандартную, а если превышает, то $p_{\text{доп.}}$, определённое по типовой ограничительной характеристике, корректируется в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации.

Поле, ограниченное линиями АВВ₁А₁, графически отображает режимы, допустимые для кратковременной работы (в течение 1 часа).

3. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

2.1. Главные судовые дизели с непосредственной передачей на гребной винт работают в широком диапазоне нагрузочно-скоростных режимов и внешних условий. При этом в большинстве случаев условия эксплуатации дизелей характеризуются параметрами, не соответствующими режиму, на котором были достигнуты номинальная мощность $N_{\text{ном}}$ и соответствующее ей среднее индикаторное давление $p_{\text{ном}}$ (условия заводского стенда). В то же время длительная надежная работа ЦПГ дизеля гарантируется только на тех режимах, при которых среднее индикаторное давление не превышает уровня достигнутого при установлении номинальной мощности.

Для наиболее полного использования располагаемой мощности дизеля при произвольных внешних условиях, а также при изменении характеристик агрегатов воздухообеспечения, необходимо уметь контролировать предельно возможные уровни нагружения, иначе - устанавливать ограничительные характеристики по среднему индикаторному давлению, обеспечивающему длительную безаварийную работу.

2.2. Перегрузки по среднему индикаторному давлению, будучи даже кратковременными, резко снижают ресурс дизеля и нередко приводят к тяжелым последствиям. Поэтому контроль предельных нагрузок (ограничительных характеристик) должен осуществляться постоянно и быть достаточно оперативным: длительность операции определения резерва мощности по среднему индикаторному давлению не должна превышать 5 минут.

2.3. Наиболее точно среднее индикаторное давление может быть измерено приборами теплотехнического контроля, а именно – индикаторами путём индицирования дизеля. Поэтому контроль ограничительных характеристик должен основываться на периодическом (в соответствии с «Правилами технической эксплуатации морских и речных судов (КНД 31.2.002.03-96)») исследовании индикаторных диаграмм с применением штатных приборов теплотехнического контроля дизеля.

4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ С ГАЗОТУРБИННЫМ НАДДУВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОГРАНИЧИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО СРЕДНЕМУ ИНДИКАТОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ

4.1. При выборе рекомендованной ограничительной характеристики для конкретного двигателя с газотурбинным наддувом необходимо учитывать:

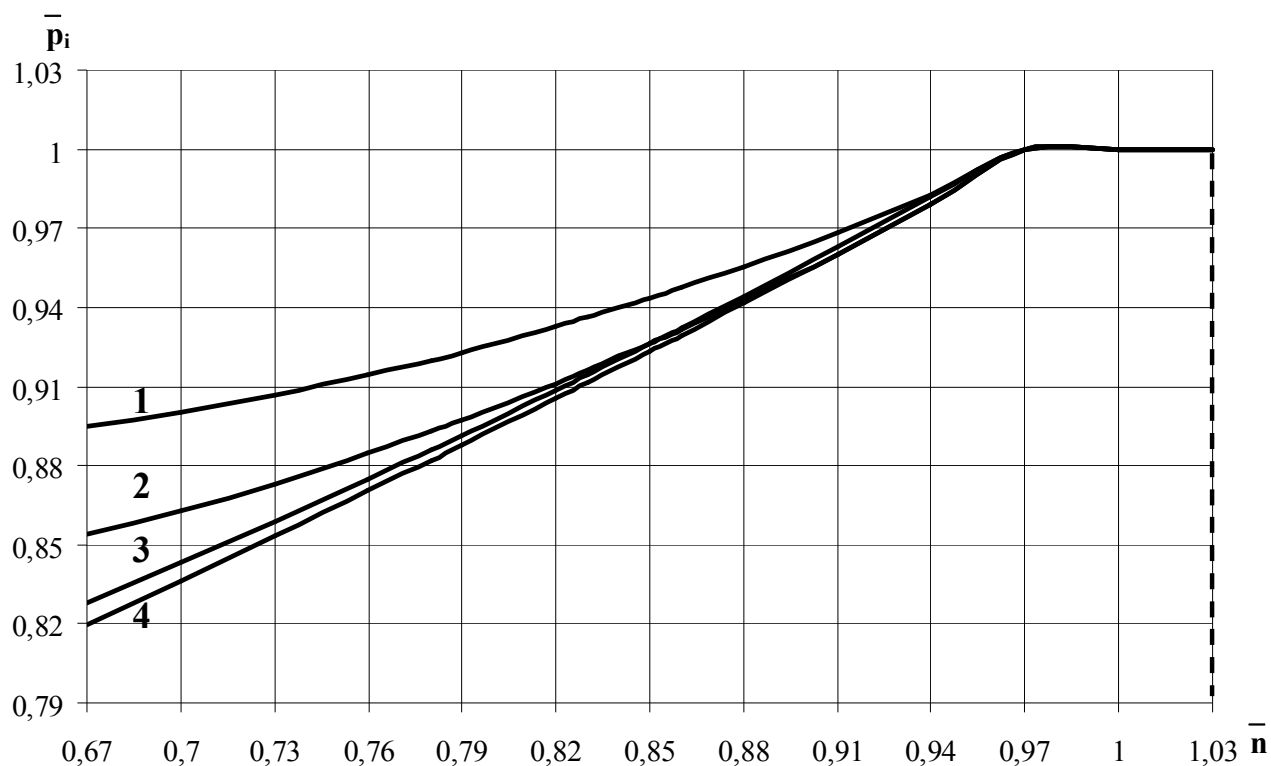
- а) тип системы наддува (с импульсным или постоянным давлением газов перед турбиной);
- б) избыточное давление наддува на номинальном режиме, полученное при стендовых испытаниях двигателя;
- в) продолжительность работы на режиме (длительная или кратковременная).

Характеристики, рекомендованные ЦНИИМФ с учетом перечисленных признаков, приведены на рисунках 3, 4, 5, 6. Они построены с соблюдением следующих принципов:

- для всех двигателей допускается работа по частичной внешней характеристике, соответствующей номинальному среднему индикаторному давлению в диапазонах частот вращения:
 $(0,97-1,03) - n_{\text{ном}}$ - для длительной работы;
 $(0,90-0,97) - n_{\text{ном}}$ - для кратковременной работы;
- допускается длительная работа дизеля с частотой вращения, на 3% превышающей номинальную ($103\% n_{\text{ном}}$);
- при пониженной частоте вращения допускаемая нагрузка снижается, начиная от $0,97 n_{\text{ном}}$ для длительной работы и от $0,9 n_{\text{ном}}$ - для кратковременной. Наклон характеристики в этом диапазоне определяется типом системы наддува и давлением наддува на номинальном режиме.

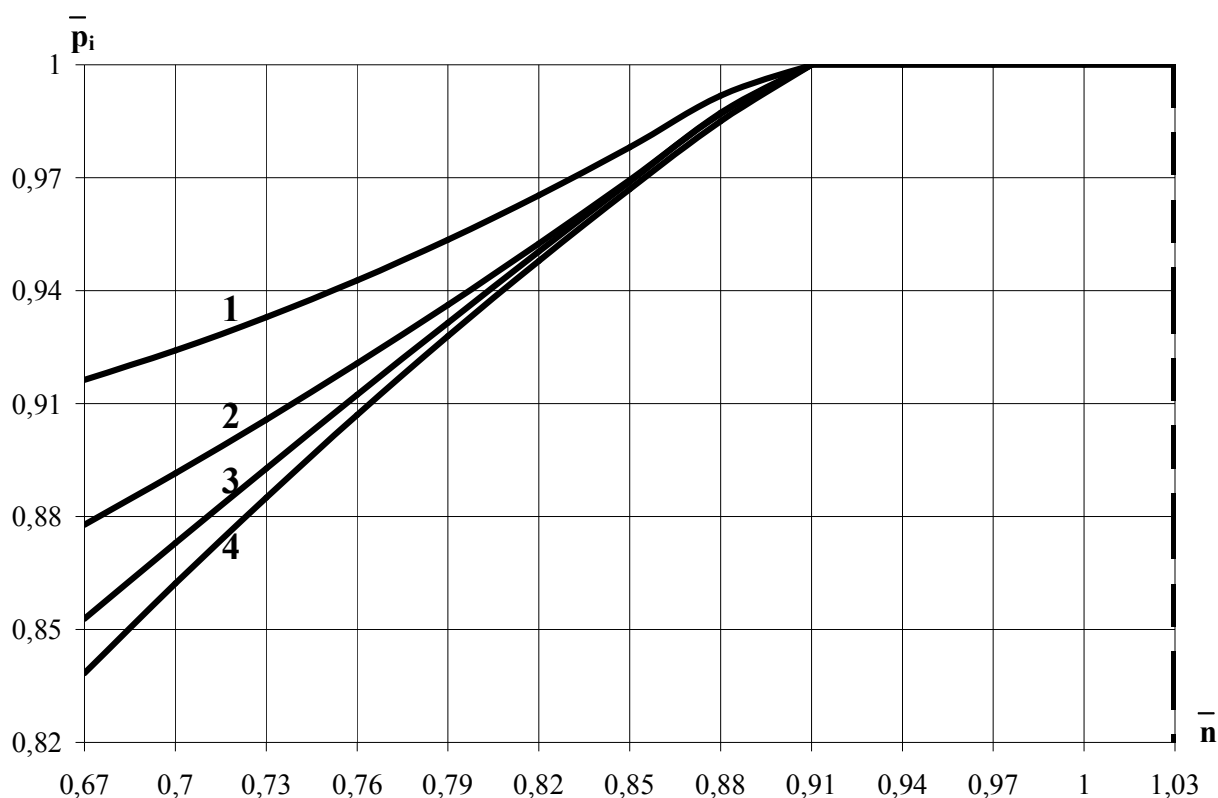
4.2. При назначении режима работы главного судового двигателя в конкретных условиях плавания соблюдают следующие условия:

- а) в качестве основного нагрузочного параметра применяется среднее индикаторное давление;
- б) назначаемая величина среднего индикаторного давления по ограничительной характеристике должна дифференцироваться в зависимости от метеорологических условий плавания судна;
- в) величина эксплуатационной мощности не регламентируется, поскольку она определяется принятым средним индикаторным давлением и различной частотой вращения коленчатого вала (в зависимости от конкретных эксплуатационных условий).



1 - $p_k \leq 0,05$ МПа; 2 - $p_k = 0,07$ МПа; 3 - $p_k = 0,1$ МПа; 4 - $p_k \geq 0,15$ МПа

Рисунок 3 - Скоростные ограничительные характеристики дизелей с импульсной системой наддува (длительная работа)



1 - $p_k \leq 0,05$ МПа; 2 - $p_k = 0,07$ МПа; 3 - $p_k = 0,1$ МПа; 4 - $p_k \geq 0,15$ МПа

Рисунок 4 - Скоростные ограничительные характеристики дизелей с импульсной системой наддува (кратковременная работа)

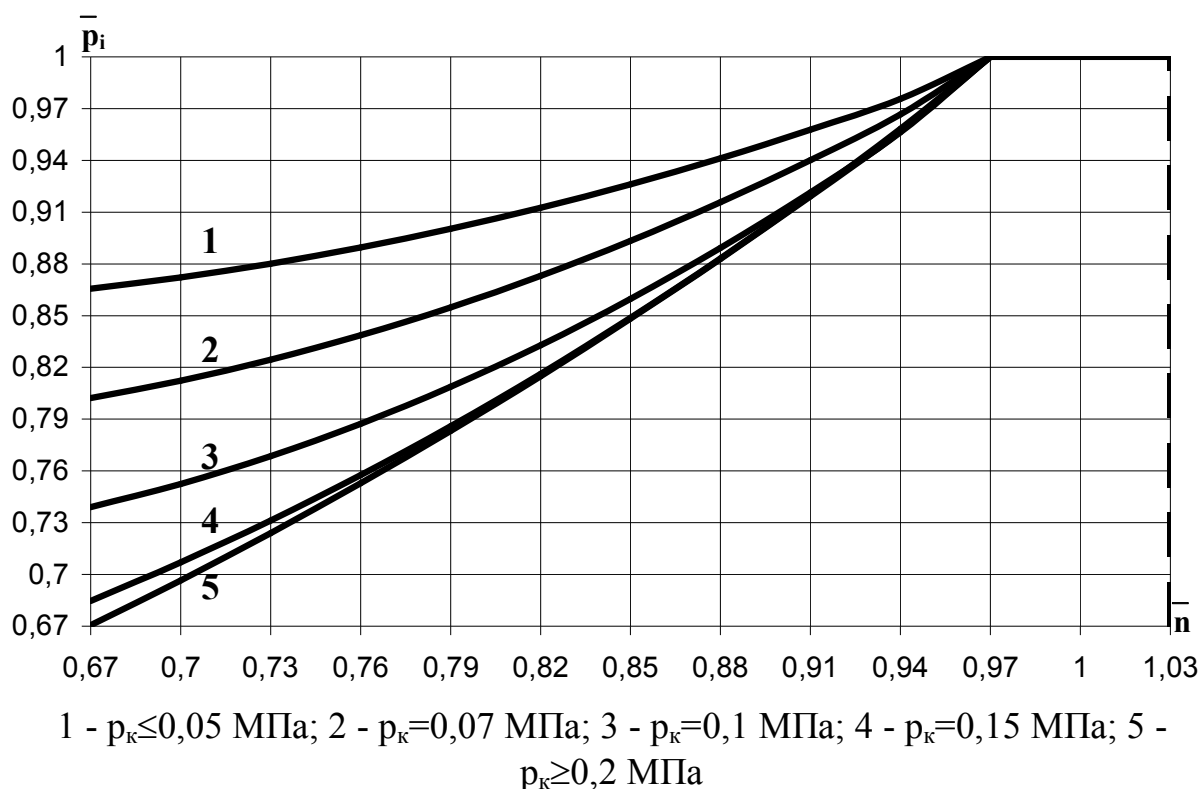


Рисунок 5 - Скоростные ограничительные характеристики дизелей с системой наддува постоянного давления (длительная работа)

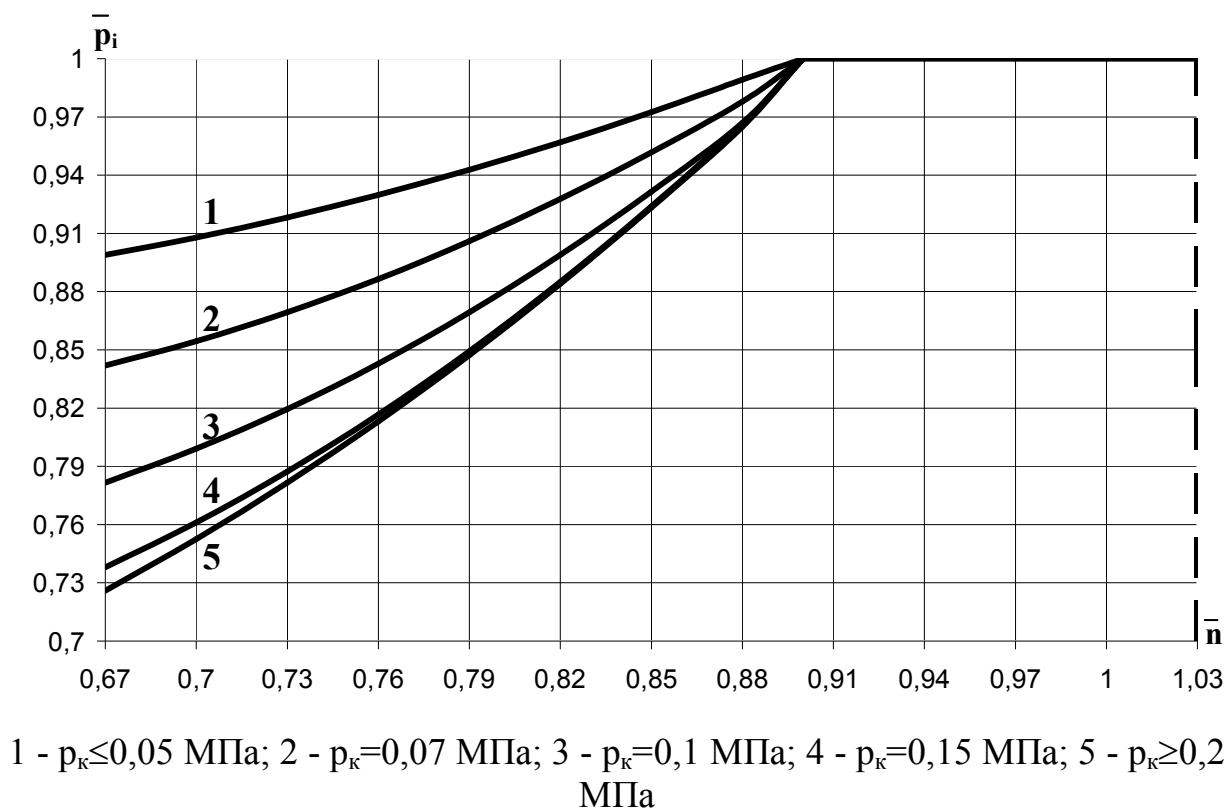


Рисунок 6 - Скоростные ограничительные характеристики дизелей с системой наддува постоянного давления (кратковременная работа)

5. ПОСТРОЕНИЕ РАБОЧЕГО ПОЛЯ РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО ВИНТОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

5.1. Общие сведения

Уравнение эффективной мощности дизеля N_e , кВт, имеет следующий вид

$$N_e = 10^3 F_n S_{iz} \frac{n}{60} p_e = A n p_e. \quad (1)$$

С достаточной степенью точности для водоизмещающих судов при неизменных условиях плавания (т.е. поступь винта $\lambda = \text{const}$) зависимость мощности главного двигателя, потребляемой гребным винтом (с учетом потерь в валопроводе), от частоты вращения носит характер кубической параболы, т.е.

$$N_e = c n^3. \quad (2)$$

Крутящий момент дизеля при установившемся движении судна (с учетом потерь в передаче мощности от дизеля к гребному винту) будет равен

$$M_e = \frac{30}{\pi n} N_e = \frac{30}{\pi n} c n^3 = c_1 n^2, \quad (3)$$

где $c_1 = 9,55c$ - коэффициент пропорциональности, постоянный для конкретных неизменных условий плавания.

Из формул (1) и (3) следует, что

$$M_e = 9,55 \frac{N_e}{n} = 9,55 A p_e = A_1 p_e, \quad (4)$$

тогда

$$M_i = \frac{M_e}{\eta_m} = \frac{A_1 p_e}{\eta_m} = A_1 p_i, \quad (5)$$

где $A_1 = 9,55A$.

Как следует из формулы (3) изменение p_i подчиняется уравнению квадратичной параболы.

Приравняв правые части уравнений (1) и (2) получим

$$p_e = \frac{N_e}{A n} = \frac{c n^3}{A n} = \frac{c}{A} n^2 = c_2 n^2, \quad (6)$$

где $c_2 = \frac{c}{A}$ - значение постоянной для p_e .

Определив $p_{e\text{ном}}$ по формуле

$$p_{e\text{ном}} = \frac{N_{e\text{ном}}}{A n_{\text{ном}}}, \quad (7)$$

среднее индикаторное давление на номинальной мощности дизеля можно вычислить из известного соотношения

$$p_i = \frac{p_{e\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (8)$$

где η_m - механический к.п.д. дизеля на номинальной мощности, который принима-

ется в зависимости от типа дизеля и системы наддува (таблица 5.1).

Известно, что с изменением нагрузки механический к.п.д. η_m меняет свое значение. Однако, для рассматриваемой области режимов работы дизеля (номинальных и близких к ним) это изменение незначительно и для эксплуатационных расчетов вполне достаточно будет воспользоваться значением η_m на номинальной мощности, т.е. принимаем $\eta_m \approx \text{const}$.

Расчеты удобно производить в относительных единицах, тогда

$$\bar{p}_i = \frac{p_i}{p_{\text{инно}}}, \quad \bar{n} = \frac{n_i}{n_{\text{ном}}}, \quad (9)$$

где p_i и n_i – текущие абсолютные значения среднего эффективного давления и частоты вращения.

5.2. Построение ограничительных характеристик

Режимы работы главного судового дизеля лежат в определенной области. Рекомендуемая область построения графиков показана на рисунке 2: по оси $\bar{p}_i$ – от $0,73p_{\text{инно}}$ до $1,0p_{\text{инно}}$, а по оси $\bar{n}$ – от $0,67n_{\text{ном}}$ до $1,03n_{\text{ном}}$. Тогда поле рабочих режимов работы главного двигателя будет лежать в пределах: линия ABCD – скоростная ограничительная характеристика для длительной работы; линия A_1B_1BC – скоростная ограничительная характеристика для кратковременной работы.

Графики A_1B_1C и ABC строятся по координатам, представленным в приложении А (таблица А.1) в соответствии с вариантом задания (приложение Б, таблица Б.1).

Величина достоверности аппроксимации значений координат при построении графиков (таблица А.1) в общем случае составляет не менее $R \geq 0,998$.

5.3. Построение винтовых характеристик

При изменении условий плавания и режима работы судна, а это имеет место при изменении сопротивления движению судна, винтовая характеристика меняет свое положение и вид. Увеличение сопротивления имеет место вследствие увеличения осадки судна, усиления встречного ветра или волнения, буксировки трала, обрастания корпуса и т.д. В данном случае скорость движения и поступь винта падают, и гребной винт при тех же оборотах поглощает больший крутящий момент («тяжёлый винт»). Уменьшение сопротивления движению судна имеет место при

Таблица 5.1 – Значения p_e и $\eta_{\text{мном}}$ для различных двигателей при работе на номинальном режиме

Двигатели	p_e , МПа	$\eta_{\text{мном}}$
Четырехтактные дизели	$\leq 0,8$	0,75-0,85
-без наддува	0,8-1,8	0,85-0,95
-с наддувом	и выше	
Двухтактные дизели		
-без наддува	0,4-0,6	0,80-0,85
-с наддувом	0,7-1,3	0,85-0,92
	и выше	

попутном ветре, плавании в балласте и. др. Тогда поглощаемый гребным винтом момент будет уменьшаться («лёгкий винт»).

Таким образом, значения N_e , M_e и p_e будут удовлетворяться при новых значениях постоянных c , c_1 и c_2 . При расчете характеристик вида $p_i = c_2 n^2$ для каждой винтовой характеристики рассчитывается свое значение c_{2x} .

Расчет коэффициента c_{2x} удобно производить по известным координатам точек пересечения винтовых характеристик с осью абсцисс, т.е. для значений $p_i = 0,73 p_{инно}$ и задаваемых значений n .

Задавая значениями n_x в пределах от $0,4n_{ном}$ до $1,03n_{ном}$ с шагом равным $0,03$, получим значения коэффициентов c_{2x} по формуле:

$$c_{2x} = \frac{0,73 p_{инно}}{n_x^2}. \quad (10)$$

Для каждого вычисленного значения коэффициента c_{2x} строятся графики в относительных единицах по формуле

$$\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x} n_j^2}{p_{инно}}. \quad (11)$$

Для построения сетки винтовых характеристик $\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x} n_j^2}{p_{инно}}$ необходимо выполнить расчет в соответствии с таблицей 5.3.

5.4. Пример выполнения расчёта для дизеля 8 74VTBF160

- 1) Пользуясь исходными данными (приложение Б) из формулы (1) определяется значение p_e для дизеля 8 74VTBF160, которое будет равно

$$p_e = \frac{60}{10^3 F_n S_{изн}} N_e = \frac{60}{10^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,74^2}{4} \cdot 1,6 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 115} \cdot 8800 = 0,834 \text{ МПа.}$$

- 2) По значению $p_{енно}$, рассчитывается среднее индикаторное давление на номинальном режиме по формуле

$$p_{инно} = \frac{p_{енно}}{\eta_{мном}} = \frac{0,834}{0,86} = 0,97 \text{ МПа,}$$

где $\eta_{мном} = 0,86$ – принимается из таблицы 5.1.

- 3) Строятся ограничительные характеристики для дизеля 8 74VTBF160 (рисунок 7). Выбор кривых производится в соответствии с рисунком 3 для длительной (кривая 3) и рисунком 4 для кратковременной (кривая 3) работы дизеля с импульсной системой наддува при $p_k = 0,1$ МПа, а координаты для построения характеристик указаны в приложении А.
- 4) Рассчитываются коэффициенты c_{2x} для каждой винтовой характеристики по

формуле (10).

Приведем пример расчета только для одной винтовой характеристики, соответствующей $n_8 = 0,85n_{\text{НОМ}}$ (рисунок 7)

$$c_{28} = \frac{0,73p_{\text{инно}}}{(0,85n_{\text{НОМ}})^2} = \frac{0,73 \cdot 0,97}{(0,85 \cdot 115)^2} = 0,0741 \cdot 10^{-3}.$$

5) Подставляя в формулу (11) коэффициент c_{28} и задаваясь значениями n_j в пределах рекомендуемой области построения графика (таблица 5.2), т.е. от $0,85n_{\text{НОМ}}$ до $1,03n_{\text{НОМ}}$ рассчитывается винтовая характеристика, т.е.

$$\bar{p}_{i8} = \frac{c_{28}n_j^2}{p_{\text{инно}}} = \frac{0,0741 \cdot 10^{-3} n_j^2}{0,97}.$$

Винтовые характеристики для остальных значений c_{2x} рассчитываются аналогично.

После построения всех характеристик необходимо, кроме относительных, показать абсолютные значения p_i и n на дополнительных осях графика (рисунок 7). На рисунке показаны только несколько абсолютных значений указанных величин.

Таблица 5.2 – Исходные данные для построения характеристики $\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x}n_j^2}{p_{\text{инно}}}$ (пример для значения c_{28})

c_{2j}	$\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x}n_j^2}{p_{\text{инно}}}$												
	$n_j,$												
	0,67	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	0,100	0,103
c_{2j}													
c_{28}							0,73	0,78	0,84	0,89	0,95	1,01	1,07

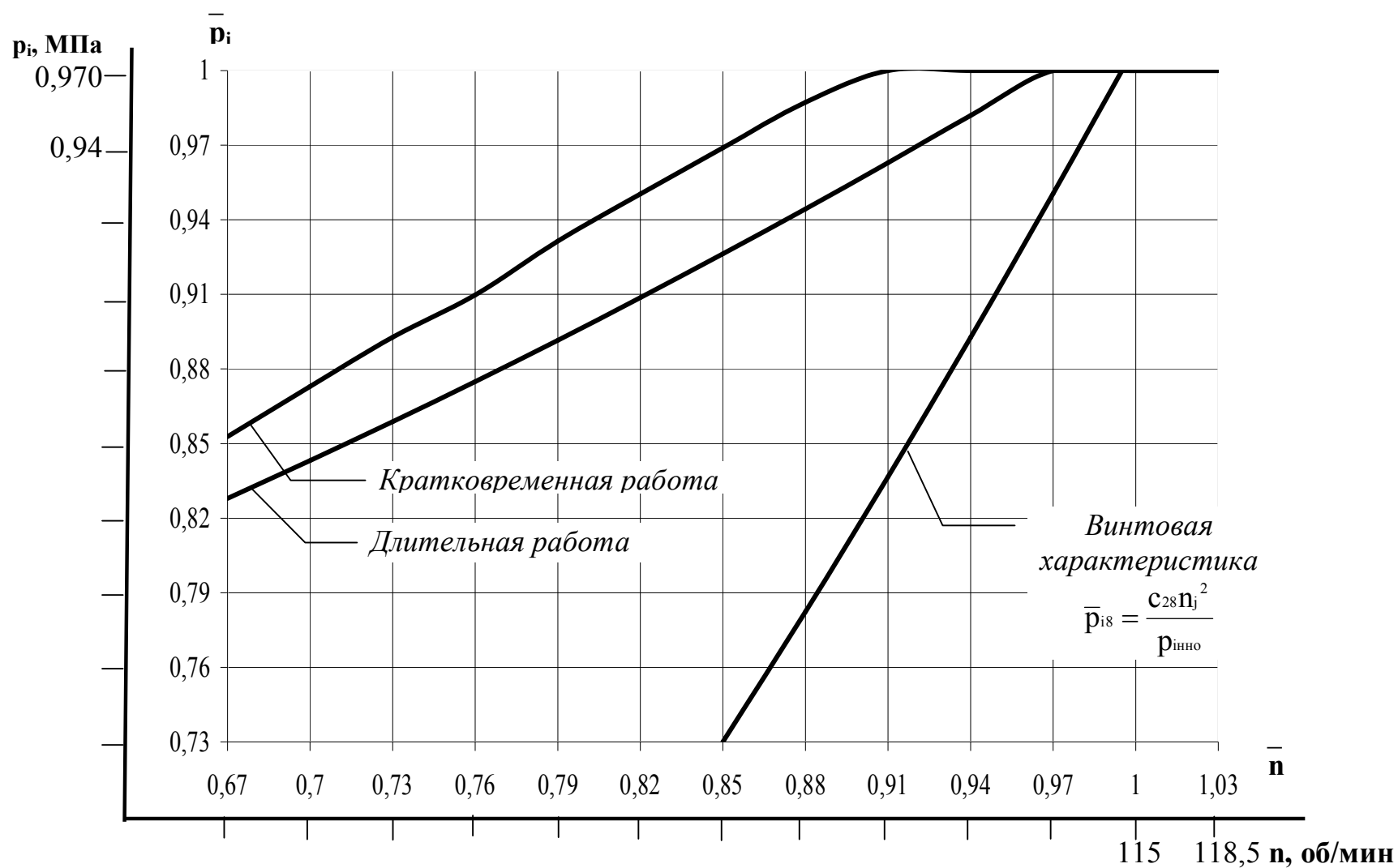


Рисунок 7 – Ограничительные характеристики дизеля 8 74VTBF160 при работе на винт

Таблица 5.3 – Исходные данные для построения характеристик $\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2 \times n_j^2}}{p_{инно}}$

$c_{2 \times}$	$\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2 \times n_j^2}}{p_{инно}}$												
	$\bar{n}_i,$												
	0,67	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	0,100	0,103
$c_{2 \times 1}$													
$c_{2 \times 2}$													
$c_{2 \times 3}$													
$c_{2 \times 4}$													
$c_{2 \times 5}$													
$c_{2 \times 6}$													
$c_{2 \times 7}$													
$c_{2 \times 8}$													
$c_{2 \times 9}$													
$c_{2 \times 10}$													
$c_{2 \times 11}$													
$c_{2 \times 12}$													
$c_{2 \times 13}$													
$c_{2 \times 14}$													
$c_{2 \times 15}$													
$c_{2 \times 16}$													
$c_{2 \times 17}$													

Примечания: 1. жирными клетками показаны максимальные (номинальные) значения $p_i=1,0$;

2.  ориентировочные значения p_i , входящие в рекомендуемую область построения характеристик

$$\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2 \times n_j^2}}{p_{инно}}.$$



6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Рассмотрим назначение режима по типовому графику, изображенному на рисунке 8.

Пример 1: Дизель введен в предполагаемый длительный режим: $n=92,5\%$, $p_i=91\%$, который характеризуется точкой М. Передвигаясь от нее по винтовой характеристике до пересечения с линией АВ, получим предельно допустимый режим длительной работы дизеля ($n=94,5\%$, $p_i=95,5\%$).

Вследствие возможного изменения внешних условий плавания (например, направление и сила ветра, глубина под килем и т.д.) рекомендуется при окончательном выборе режима иметь запас по n и p_i относительно ограничительной характеристики в размере 1-3%.

Режим дизеля необходимо периодически контролировать либо по указателю, либо по положению реек ТНВД и при изменении условий плавания его корректировать.

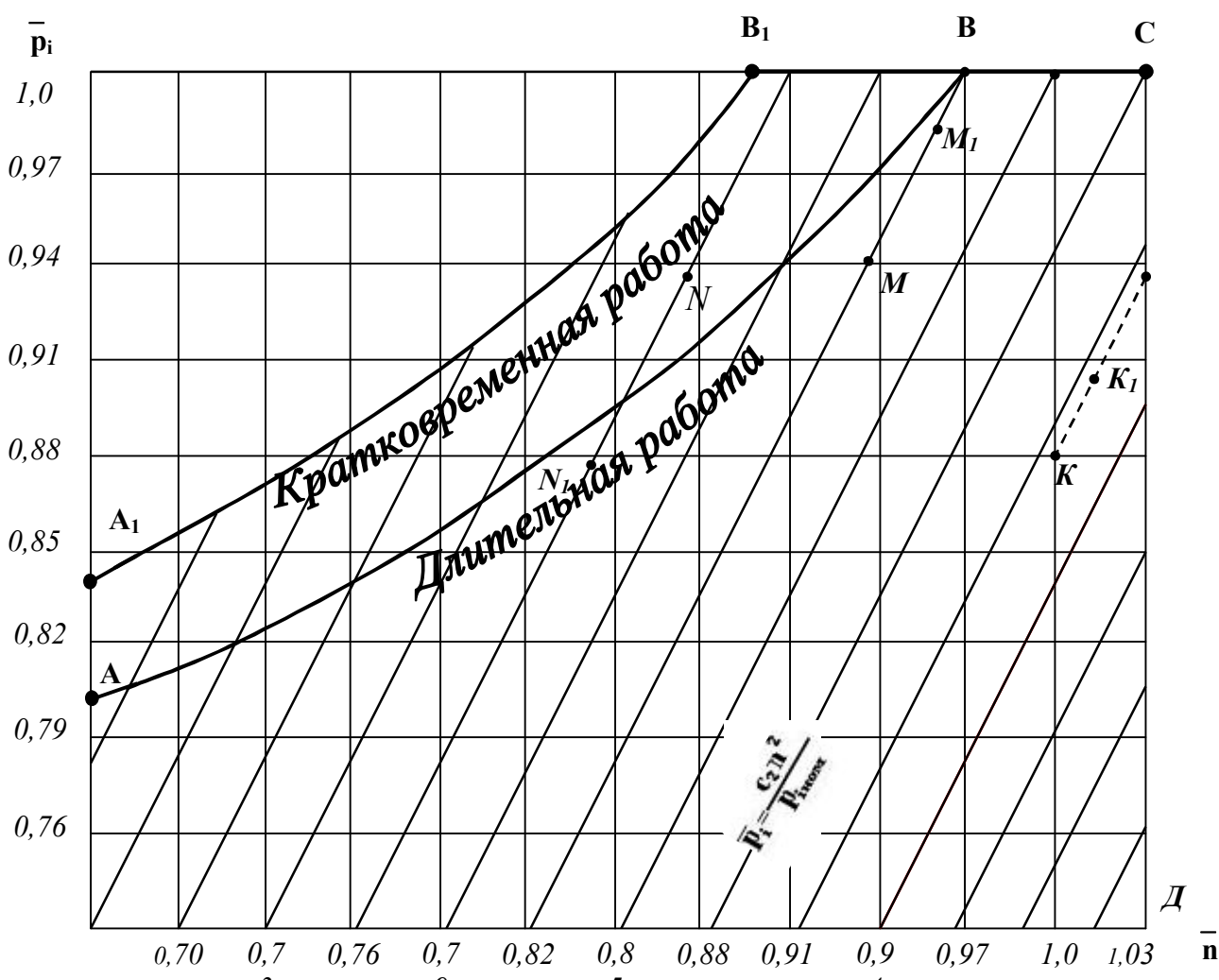
Пример 2. После длительной стоянки в тропическом порту в результате индицирования определен режим N ($n=88\%$, $p_i=93\%$). Рекомендуется установить режим с запасом по p_i относительно ограничительной характеристики АВ, характеризуемая с точкой N, ($n=85,5\%$, $p_i=87,5\%$).

Пример 3. При плавании в балласте в результате индицирования определен режим К ($n=100\%$, $p_i=88\%$). Максимально допустимая нагрузка в этом случае устанавливается максимально допустимой частотой вращения ($n_{\max}=1,03 n_n$). Рекомендуется установить режим K_i , имея запас по частоте вращения около 1,5%.

Установление режима работы двигателя в соответствии с изложенной методикой не исключает необходимости контроля рабочих параметров, предельные значения которых оговорены в заводской инструкции по эксплуатации двигателя.

Если заводские инструкции существенно ограничивают область допустимых в эксплуатации режимов работы, то возможность применения рекомендованных ограничительных характеристик подлежит согласованию со службой судового хозяйства или техническим отделом пароходства.

Таким образом, использование дизеля на режимах, при которых тепловые и механические нагрузки не превышают установленных допустимых пределов, обеспечивает гарантированное время выработки расчетного ресурса дизелей, их узлов и деталей, что особенно актуально в условиях роста цен на основные запасные части.



AB и BC - скоростная ограничительная характеристика для длительной работы; A₁B₁ и B₁C - скоростная ограничительная характеристика для кратковременной работы; CD - линия, ограничивающая наибольшую частоту вращения, допускаемую при длительной эксплуатации дизеля; $\bar{p}_i = \frac{c_2 n_j^2}{p_{\text{инно}}}$ - семейство винтовых характеристик.

Рисунок 8 - Типовой график для выбора эксплуатационных режимов работы главного дизеля

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ПРАКТИЧЕСКОМ ЗАНЯТИИ

Отчет о практическом занятии должен содержать расчет и графические материалы, выполненные на стандартных листах бумаги формата А4 с полями и пишется на одной стороне листа.

Форма титульного листа указана в приложении В.

На втором листе излагаются исходные данные в соответствии с заданным вариантом (приложение Б), и далее - выполняется отчет. Вариант задания соответствует номеру слушателя согласно списку.

Последовательность отчета:

1. Исходные данные.
2. Расчет и построение ограничительных характеристик для кратковременного и длительного режима работы главного судового дизеля в зависимости от характеристики системы наддува.
3. Расчет и построение винтовых характеристик в пределах полей эксплуатационных режимов работы главного судового дизеля.
4. Анализ безопасных режимов работы главного судового дизеля с использованием ограничительной характеристики по среднему индикаторному давлению в условиях эксплуатации.

Каждый пункт расчета должен иметь наименование и необходимые пояснения. Все величины должны быть правильно обозначены. Каждая расчетная формула должна быть записана по следующей схеме: «искомая величина» - «формула» - «исходные цифры» - «ответ» - «единицы измерения». Под исходными цифрами понимают такие значения, которые точно соответствуют каждому символу формулы. Не допускается производить преобразования вне формулы и подставлять в формулу промежуточные результаты. Все промежуточные вычисления нужно производить только на черновиках. Ответ нужно записывать в конце формулы в тех единицах измерения, в которых он получается из исходных цифр. Перевод в другие единицы измерения следует производить вне расчётной формулы отдельной записью. Все численные значения размерных величин должны иметь единицы измерения. Каждое вычисление должно быть выполнено с точностью до двух значащих цифр после запятой.

Графики должны быть выполнены карандашом с использованием лекала на миллиметровой бумаге. Допускается выполнение графиков на ЭВМ, построенных в программе Excel или Mathcad.

Работа должна быть выполнена аккуратно, без помарок. Значения, подлежащие исправлению, аккуратно зачёркиваются посередине, а сверху записывается правильное значение величины.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте виды ограничительных характеристик.
2. Что такое длительная работа дизеля.
3. К чему приводят перегрузки дизеля по среднему индикаторному давлению.
4. Как в судовых условиях и с какой периодичностью контролируется среднее индикаторное давление.
5. Какие документы регламентируют проведение теплотехнического контроля работы главного судового дизеля.
6. Дайте характеристику понятиям «тяжелый винт», «легкий винт».
7. Какие характеристики дизеля и режимов его работы необходимо учитывать при выборе ограничительных характеристик.
8. Какие технические и внешние условия необходимо учитывать при назначении режима работы главного судового дизеля в конкретных условиях плавания.
9. К каким последствиям могут привести перегрузки главного судового дизеля по среднему индикаторному давлению.
10. Какой запас по среднему индикаторному давлению устанавливается при выборе эксплуатационных режимов работы главного судового дизеля.
11. Проанализируйте порядок ограничения нагрузки главного судового дизеля по винтовой характеристике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суворов П.С. Управление режимами работы главных судовых дизелей/ П.С. Суворов. - Одесса: ЛАТСТАР, 2000. -238 с.
2. Теоретические основы эксплуатации судовых дизелей/ В.Ю. Гиттис и др. – М.: Транспорт, 1965. -376 с.
3. Олейников Б.И. Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности/ Б.И. Олейников. - М.: Агропромиздат, 1986. - 269 с.
4. Краткий справочник судового механика/ М.А. Малиновский, А.А. Фока и др. - Одесса: Маяк, 1987. - 167 с.
5. Алексеев Г.Д. Энергетические установки промысловых судов. Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Судовые энергетические установки»/ Г.Д. Алексеев, В.А. Карпович. - Л.: Судостроение, 1972. -294 с.
6. Коршунов А.П. Силовые установки рыбопромысловых судов/ А.П. Коршунов. - М.: Пищевая промышленность, 1967. - 280 с.
7. Карпович В.А. Дизельные установки с винтами регулируемого шага/ В.А. Карпович. -Л.: Судостроение, 1964. - 204 с.
8. Исследование безопасных режимов работы судового дизеля с наддувом с использованием ограничительной характеристики по тепловой напряженности: Методические указания/ Сост. П.П. Борисенко, О.В. Ковтун. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – 74 с.
9. Овсянников М.К. Дизели в пропульсивном комплексе морских судов/ М.К. Овсянников, В.А. Петухов. Справочник. - Л.: Судостроение, 1987. -255с.
10. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: Учеб. для студ. вузов, обуч. по направлению «Двигатели внутреннего сгорания»/ Д.В. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.А. Ивин и др.- 4-е изд.- М.: Машиностроение, 1983.-376 с.
11. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Дизели. КНД 31.2.002.03-96. -70 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Таблица А.1 – Координаты для построения ограничительных характеристик $\bar{p}=f(\bar{n})$

Скоростные ограничительные характеристики системы наддува, продолжительность работы	p_k МПа	$\bar{n}$											
		0,67	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00
		$\bar{p}_i$											
		импульсная система наддува											
Длительная работа	$\leq 0,05$	0,8949	0,9002	0,9066	0,9142	0,9228	0,9326	0,9435	0,9555	0,9686	0,9829	1,00	1,00
	0,07	0,8538	0,8628	0,8731	0,8845	0,8972	0,9112	0,9263	0,9427	0,9603	0,9791	1,00	1,00
	0,1	0,828	0,8431	0,8588	0,8749	0,8916	0,9087	0,9263	0,9444	0,9629	0,982	1,00	1,00
	$\geq 0,15$	0,8197	0,8364	0,8533	0,8705	0,8879	0,9056	0,9235	0,9417	0,9601	0,9788	1,00	1,00
Кратковременная работа	$\leq 0,05$	0,9163	0,9242	0,933	0,9427	0,954	0,9653	0,9781	0,9918	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,07	0,8778	0,8914	0,9057	0,9206	0,936	0,9525	0,9694	0,987	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,1	0,8528	0,8729	0,8928	0,9123	0,931	0,9503	0,9689	0,98722	1,00	1,00	1,00	1,00
	$\geq 0,15$	0,8384	0,8622	0,8851	0,9070	0,928	0,9479	0,9669	0,985	1,00	1,00	1,00	1,00
Длительная работа		постоянное давление наддува											
	$\leq 0,05$	0,8657	0,8722	0,8802	0,8895	0,9003	0,9125	0,9262	0,9412	0,9577	0,9756	1,00	1,00
	0,07	0,8023	0,8123	0,8244	0,8386	0,8548	0,8731	0,8934	0,9157	0,9401	0,9666	1,00	1,00
	0,1	0,7390	0,7524	0,7685	0,7873	0,8087	0,8329	0,8600	0,8892	0,9214	0,9562	1,00	1,00
	0,15	0,6847	0,7069	0,7312	0,7576	0,7859	0,8163	0,8487	0,8832	0,9197	0,9582	1,00	1,00
	$\geq 2,0$	0,6706	0,6966	0,7240	0,7528	0,7832	0,8149	0,8482	0,8829	0,9191	0,9567	1,00	1,00
Кратковременная работа	$\leq 0,05$	0,8989	0,9079	0,9182	0,9298	0,9427	0,9569	0,9724	0,9892	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,07	0,8419	0,8545	0,8694	0,8865	0,906	0,9277	0,9516	0,9779	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,1	0,7816	0,7991	0,8195	0,8429	0,8694	0,8989	0,9314	0,967	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,15	0,738	0,7611	0,7873	0,8167	0,8492	0,885	0,9239	0,9659	1,00	1,00	1,00	1,00
	$\geq 2,0$	0,7259	0,7525	0,7815	0,8131	0,8473	0,884	0,9232	0,965	1,00	1,00	1,00	1,00



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Таблица Б.1 – Варианты задания для выполнения работы

Вариант	Марка дизеля	Обозначение по ГОСТ 10150-88	Тип сист. надд.	N _{енорм} , кВт	n, об/мин	p _к , МПа
1	8 74VTBF160	8ДКРН74/160	имп.	8800	115	0,12
2	8L60MC	8ДКРН60/195-10	имп.	12240	110	0,10
3	5ДКРН68/135	5ДКРН68/135	имп.	6500	150	0,15
4	6ДКРН45/120	6ДКРН45/120	имп.	3868	170	0,10
5	6ДКРН50/110	6ДКРН50/110	пост.	4200	170	0,09
6	9ДКРН80/160	9ДКРН80/160	имп.	15880	122	0,19
7	6ДКРН67/140-4	6ДКРН67/140-4	имп.	7500	140	0,17
8	6ДКРН45/120-5	6ДКРН45/120-5	имп.	3530	164	0,2
9	6ДКРН45/120-7	6ДКРН45/120-7	имп.	3970	170	0,21
10	7ДКРН67/170-7	7ДКРН67/170-7	имп.	9600	123	0,2
6	K84-GF160	6ДКРН84/160	имп.	10300	120	0,11
7	K84-GF180	6ДКРН84/180	имп.	10300	110	0,1
8	8NVD48.2AU	8ЧРН32/48-2	имп.	853	375	0,13
10	6VD26/20AL-1	6ЧСПН20/26-1	имп.	530	1000	0,215
11	5ДКРН50/110	5ДКРН50/110	пост.	2570	170	0,17
12	5ДКРН62/140	5ДКРН62/140	пост.	4485	140	0,17
13	8ДКРН74/160-3	8ДКРН74/160-3	пост.	10072	120	0,19
14	9ДКРН80/160	9ДКРН80/160	пост.	15876	122	0,19
15	6ДКРН67/140-4	6ДКРН67/140-4	пост.	7500	140	0,19
15	12PC2-5	12ЧН40/46	имп.	5736	520	0,2
16	6UEC45/115H	6ДКРН45/115	пост.	6000	165	0,18
17	7UEC45/115H	7ДКРН45/115	пост.	7000	165	0,18
18	8UEC45/115H	8ДКРН45/115	пост.	8000	165	0,18
19	6UEC52L	6ДКРН52/160	пост.	7060	133	0,2
20	6UEC60L	6ДКРН60/190	пост.	9260	110	0,2
21	8L60/MC	8ДКРН60/190-10	пост.	12240	111	0,295
22	K8Z70/120	8ДКРН70/120	пост.	8250	140	0,07
23	6KZ70/120	6ДКРН70/120	пост.	3420	135	0,14
24	5Д50	6ЧН31,8/33	имп.	735	740	0,15
25	8ZD72/48	8ДРН48/72	пост.	2850	214	0,19
26	8DP30/50	8ДР30/50	имп.	4700	300	0,14

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Форма титульного листа к отчету по практическому занятию

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЭМСС

ОТЧЕТ

по практическому занятию

**ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ
РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ С ГАЗОТУРБИННЫМ
НАДДУВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОГРАНИЧИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПО СРЕДНЕМУ ИНДИКАТОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ**

Дисциплина: «Режимы работы СДЭУ»

Выполнил: студент группы _____
(шифр группы)

(подпись) _____ (фамилия, инициалы)
" ____ " _____ 200 ____ г.

Принял: _____
(должность)

(подпись) _____ (фамилия, инициалы)

Севастополь 200 ____ г.

Заказ № _____ от « _____ » _____ 200 _____ г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ