

Содержание

Введение.....	3
Задание.....	4
Практическое занятие №1. Расчет ходкости судна с винтом фиксированного шага.....	5
Практическое занятие №2. Расчет ходкости судна с винтом регулируемого шага.....	12
Практическое занятие №3. Исследование безопасных режимов работы главного судового дизеля с газотурбинным наддувом.....	21
Литература, рекомендуемая для изучения курса «Оптимизация режимов работы СЭУ».....	37
Приложения.....	39
Приложение А. Справочный материал для выполнения практической работы №1.....	39
Приложение Б. Справочный материал для выполнения практической работы №2.....	45
Приложение В. Справочный материал для выполнения практической работы №3.....	50

Введение

Техническая эксплуатация СЭУ судов, в первую очередь, вахтенным персоналом, (уровень эксплуатации) в сущности сводится к решению ситуационных задач двух видов, связанных с обеспечением высокой надёжности действия судовых технических средств (СТС), а следовательно безопасности мореплавания, а также задач совершенствования теплоэнергетических процессов в элементах СЭУ и снижение эксплуатационных затрат (расходов на горюче-смазочные материалы (ГСМ)) на уровне управления.

Анализ работы СЭУ ставит целью выявить уровень эффективности её работы в целом и её отдельных составляющих: ГЭУ, СЭС, ВПК.

Длительная эксплуатация СЭУ в той или иной степени сопровождается либо неудовлетворительной работой отдельных её элементов, либо отказами и неполадками. Анализ причин, порождающих эти явления, разработка и выполнение мероприятий, исключающих их повторение, возможны только на базе глубокого понимания закономерностей всего комплекса теплоэнергетических процессов, происходящих с СЭУ.

Эффективная эксплуатация СЭУ – это не только грамотное использование инструкций и рекомендаций, но и непрерывный поиск резервов, в первую очередь, оптимизации режимов её работы, что относится к эксплуатируемой и перспективной технике.

Задание

Варианты заданий по выполнению практических заданий выбираются из таблиц 1, 2.1. и 2.2. по двум последним цифрам шифра зачётной книжки. (Если число от 51 до 99, то необходимо отнять 50 для получения варианта задания).

В практических заданиях на рисунках 1.1 – 2.15 необходимо произвести графические построения для нахождения соответствующих величин.

Практическое занятие №1 (6 часов)

РАСЧЕТ ХОДКОСТИ СУДНА С ВИНТОМ ФИКСИРОВАННОГО ШАГА

Цель занятия. Определение влияния эксплуатационных факторов на параметры ходкости для судов с винтом фиксированного шага (ВФШ).

Задания для эксплуатационных расчётов ходкости судна с ВФШ

1. Определить номинальную расчётную скорость хода судна (рис. А.1, а).
2. Определить скорость судна и нагрузку по мощности на его двигатель при частоте вращения гребного винта $n_n = \text{___ мин}^{-1}$ (рис. А.1, а, б).
3. Решить задачу, обратную предыдущей: определить необходимую частоту вращения и нагрузку по мощности двигателя при движении судна на свободном ходу со скоростью $v_s = \text{___ уз}$ (рис. А.1. б).
4. Определить предельную тягу гребного винта, допустимую частоту вращения и мощность двигателя на швартовах судна (рис. А.1, а, б).
5. Определить достижимую скорость судна, допустимую частоту вращения гребного винта и потребляемую мощность двигателя при встречном ветре ___ баллов (рис. А.2, а, б).
6. Определить полезную тягу гребного винта и нагрузку по мощности на двигатель на швартовах судна при частоте вращения $n = \text{___ мин}^{-1}$ (рис. А.2, а, б).
7. Пользуясь тяговыми характеристиками судна (см. рис. А.3) определить номинальную расчётную скорость свободного хода судна.
8. По рис. А.3. определить предельную тягу и допустимую частоту вращения гребного винта судна на швартовах.
9. По рис. А.3. найти полезную тягу винта на швартовах при частоте вращения $n_{ув} = \text{___ мин}^{-1}$.
10. По рис. А.3. найти скорость свободного хода судна при $n = 230 \text{ мин}^{-1}$.
11. По ходовым характеристикам судна (рис. А.4), ($d_{cp} = 4,1 \text{ м}$) в тихую погоду, установить ожидаемую скорость судна и потребляемую мощность, если частота вращения главного двигателя $n = \text{___ мин}^{-1}$.
12. Определить потерю скорости судна (рис. А.4) на полном ходу ($n = 250 \text{ мин}^{-1}$) в тихую погоду при $d_{cp2} = 5,23 \text{ м}$ по сравнению со скоростью при $d_{cp1} = 4,1 \text{ м}$.
13. Судно (рис. А.4) первоначально следовало ($d_{cp2} = 5,23 \text{ м}$) в тихую погоду, а затем встретилось с ветром силой 7...8 баллов. Определить дополнительную мощность, необходимую для поддержания скорости $v_s = \text{___ уз}$.
14. Определить частоту вращения и нагрузку на двигатель (рис. А.5), необходимые для движения судна со скоростью $v_s = \text{уз}$ ($d_{cp1} < 7,44 \text{ м}$).
15. Определить скорость судна (см. рис. А.5) при осадках $d_{cp1} = 7,44 \text{ м}$, $d_{cp2} = 6,12 \text{ м}$ и соответствие гребного винта главному двигателю, если двигатель работает с номинальной частотой вращения $n_n = \text{___ мин}^{-1}$.
16. На рис. А.6. приведена диаграмма полезной тяги судна, полученная расчётным методом (кривая буксировочного сопротивления – по данным верфи-строителя). Определить скорость буксировки на тихой

воде однотипного судна.

17. Судно (рис. А.6) движется в мелководном канале глубиной $h = \text{---}$ м. Определить безопасную частоту вращения гребного винта.

1. Общие сведения

Работа главных судовых двигателей осуществляется в различных условиях плавания судна и связана со значительными изменениями их показателей: мощности, экономичности, тепловой и механической напряженности и др. Совокупность значений этих показателей характеризует режим работы двигателя.

Главные судовые двигатели, предназначенные для вращения гребного винта, получают от него нагрузку. Если не предусмотрен дополнительный отбор мощности от главного двигателя (например, применение валогенератора), то для любого режима плавания судна мощность, отдаваемая двигателем, будет определяться мощностью, потребляемой гребным винтом, с учетом потерь в передаче и линии валопровода. Мощность, потребляемая гребным винтом, в свою очередь, зависит от скорости судна и сопротивления среды его движению, которое в зависимости от условий плавания судна может существенно изменяться (обрастание корпуса и гребного винта, изменение осадки, буксировка, влияние мелководья, штормовые условия плавания и др.).

Увязать взаимодействие пропульсивного комплекса (главного двигателя, гребного винта и корпуса судна) в разнообразных условиях плавания позволяет расчет и построение ходовой или паспортной диаграммы судна [2].

На паспортной диаграмме наносятся графические зависимости сопротивления воды движению судна $R = f_1(v_1, n_1)$ и полезной тяги $P_e = f_2(v_2, n_2)$ от скорости судна v и частоты вращения гребного винта N_1 .

При установившемся режиме хода судна уравнение равновесия сил, действующих на корпус судна, имеет следующий вид:

$$R + Q = Z_{\text{в}} P (1 - t) = Z_{\text{в}} P_e, \quad (1)$$

где R – полное сопротивление воды движению судна, Н;

Q – тяга на гаке, Н;

P – упор гребного винта, Н;

$Z_{\text{в}}$ – число работающих винтов;

t – коэффициент засасывания;

P_e – полезная тяга винта, Н.

Для определения величины полезной тяги воспользуемся уравнением из теории движителей:

$$P_e = k_1 \cdot \rho \cdot n_c^2 \cdot D_{\text{в}}^4 (1 - t), \quad (2)$$

где k – безразмерный коэффициент упора, определяемый по кривым действия гребного винта для данного значения относительной поступи винта λ_p ;

n_c – частота вращения гребного винта, c^{-1} ;

D_B – диаметр винта, м;

ρ – плотность забортной воды, $кг/м^3$.

Относительная поступь гребного винта определяется по следующей формуле:

$$\lambda_p = \frac{v_p}{n_c \cdot D_B}, \quad (3)$$

где v_p – расчетная скорость поступательного движения гребного винта, м/с.

Для определения расчетной скорости v_p служит формула:

$$v_p = v(1 - \omega), \quad (4)$$

где v – скорость судна, м/с;

ω – коэффициент попутного потока.

Путем наложения графиков $R = f_1(v_L, n_c)$ и $P_e = f_2(v_L, n_c)$ получаются режимы совместного действия корпуса судна и гребного винта.

Пользуясь паспортной диаграммой, можно для каждого заданных значений скорости судна и частоты вращения гребного винта определить полезную тягу винта, тягу на гаке и оценить допустимость данного режима работы двигателя, не переходя за границы ограничительных характеристик двигателя по крутящему моменту M_e и частоте вращения вала n_c .

Для определения (анализа) режима, совместной работы гребного винта с двигателем на паспортной диаграмме наносятся графические зависимости изменения мощности главного двигателя от частоты вращения вала и скорости судна.

Чтобы знать поле допустимых режимов работы главного двигателя совместно с гребным винтом, на паспортной диаграмме указываются границы этой области, для чего наносятся ограничительные характеристики по максимальным значениям величин крутящего момента и частоты вращения вала двигателя. Также на паспортной диаграмме могут быть показаны зависимости изменения и других величин, характеризующих режим работы главного двигателя (расход топлива, среднее эффективное давление, температура выпускных газов, пропульсивный КПД и др.).

2. Методика выполнения и содержание отчета

Пример задачи 1.

Определить номинальную расчётную скорость хода судна (см. рис. 1.1, а).

Решение.

Абсцисса точки пересечения буксировочного сопротивления, соответствующего расчётным условиям плавания (кривая 3), с зависимостью предельной располагаемой тяги (кривая 12) дает искомую скорость $v_{sH} = уз$. Двигатель работает в номинальном режиме: $n_n = мин^{-1}$, $N_e = кВт$ (рис. 1., б).

Пример задачи 2.

Определить скорость судна и нагрузку по мощности на его двигатель при частоте вращения гребного винта $n_n = 230 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 1.1, а, б).

Решение.

Искомая скорость $v_s = 6,7$ уз получена как абсцисса точки пересечения зависимости буксировочного сопротивления (кривая 3) с зависимостью располагаемой тяги винта при $n_n = 230 \text{ мин}^{-1}$ (кривая 7). По диаграмме мощности при $v_s = 6,7$ уз находим на кривой потребной мощности 3 загрузку двигателя $N_{e1} = 55 \text{ кВт}$. Предельно допустимая мощность из условия $M_{кр}^{ном} = \text{const}$ равна $N_{e2} = 195 \text{ кВт}$ (отрезок $A'_0A'_1$). Избыток располагаемой мощности $\delta N_e = N_{e2} - N_{e1} = 140 \text{ кВт}$.

Пример задачи 3.

Решить задачу, обратную предыдущей: определить необходимую частоту вращения и нагрузку по мощности двигателя судна при движении на свободном ходу со скоростью $v_s = 8,5$ уз (рис. 1.1, б).

Решение.

Восставив перпендикуляр из точки $v_s = 8,5$ уз на оси абсцисс до пересечения с кривой 3, отмечаем кривую располагаемой тяги, проходящую через полученную точку. Интерполяцией между кривыми 8 и 9 находим $280 < n < 330 \text{ мин}^{-1}$. Нагрузка на двигатель определяется так же, как и в предыдущем примере: по кривой 3 при $v_s = 8,5$ уз, $N_e = 125 \text{ кВт}$.

Пример задачи 4.

Определить предельную тягу гребного винта, допустимую частоту вращения и мощность двигателя судна на швартовах (рис. 1.1, а, б).

Решение.

Точка С пересечения характеристики предельной располагаемой тяги 12 с осью ординат дает $P_e^{ув} = \text{кН}$ при $n_{ув} = \text{мин}^{-1}$. Точка С' пересечения кривой располагаемой мощности 12' с осью ординат дает нагрузку двигателя $N_e^{ув} = \text{кВт}$ и уже найденное значение $n_{ув} = \text{мин}^{-1}$.

Пример задачи 5.

Определить достижимую скорость, допустимую частоту вращения гребного винта и потребляемую мощность двигателя судна при встречном ветре 6 баллов (рис. 1.2, а, б).

Решение.

Кривая буксировочного сопротивления 3 пересекается с кривой предельной располагаемой тяги при $M_{кр}'' = \text{const}$ в точке с абсциссой $v_s = 11$ уз. Из условия исключения перегрузки двигателя его частота вращения не должна превышать 270 мин^{-1} . Ордината кривой располагаемой мощности, соответствующей скорости $v_s = 11$ уз, дает $N_e = 385 \text{ кВт}$.

Пример задачи 6.

Определить полезную тягу гребного винта и нагрузку по мощности на двигатель на швартовах судна при частоте вращения $n = 180 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 1.2, а, б).

Решение.

В точке пересечения линии $P_e(v_s)$ с осью ординат диаграммы полезной тяги при $n = 180 \text{ мин}^{-1}$ определяем $P_e^{ув} = 40 \text{ кН}$. В точке пересечения линии $N_e(v_s)$ с осью ординат диаграммы мощности при $n = 180 \text{ мин}^{-1}$ находим $N_e^{ув} = 200 \text{ кВт}$.

Пример задачи 7.

Пользуясь тяговыми характеристиками (рис. 1.3) определить номинальную расчетную скорость свободного хода судна.

Решение.

Номинальной скорости свободного хода соответствует точка пересечения характеристики предельной избыточной тяги винта 13" с осью абсцисс ($v_{sn} = \text{уз}$), так как в этой точке полезная тяга винта полностью расходуется на преодоление буксировочного сопротивления, а избыточная тяга равна нулю.

Пример задачи 8.

По рис. 1.3 определить предельную тягу и допустимую частоту вращения гребного винта судна на швартовах.

Решение.

Точка пересечения характеристики предельной избыточной тяги винта 13" с осью ординат дает искомую тягу $P_e^{ув} = \text{кН}$ при $n_{ув} = \text{мин}^{-1}$, так как в этой точке $v_s = 0$, $R = 0$ и $p^{ув} = p^{уб}$ (см. пример 4).

Пример задачи 9.

По рис. 1.3 найти полезную тягу винта на швартовах при частоте вращения $n_{ув} = 210 \text{ мин}^{-1}$.

Решение.

Интерполируя на оси ординат между линиями $P_e^{уб}(v_s)$ при $n_{ув} = 180 \text{ мин}^{-1}$ и $n_{ув} = 230 \text{ мин}^{-1}$, определяем $P_e^{ув} \approx 19,6 \text{ кН}$.

Пример задачи 10.

По рис. 1.3 найти скорость свободного хода судна при $n = 230 \text{ мин}^{-1}$.

Решение.

Скорость $v_s = 6,75 \text{ уз}$ получена в точке пересечения характеристики избыточной тяги 7" с осью абсцисс.

Пример задачи 11.

По ходовым характеристикам судна (рис. 1.5), ($d_{cp} = 4,1 \text{ м}$), установить ожидаемую скорость судна и потребляемую мощность в тихую погоду, если частота вращения главного двигателя $n = 250 \text{ мин}^{-1}$.

Решение.

По кривой 1 (см. рис. 1.5, б) при $n = 250 \text{ мин}^{-1}$ определяем $v_s = 14,3 \text{ уз}$, а по кривой 1 рис. 5.14, а находим мощность $N_e = 1875 \text{ кВт}$.

Пример задачи 12.

Определить потерю скорости судна (рис. 1.5) на полном ходу

($n = 250 \text{ мин}^{-1}$) в тихую погоду в грузу ($d_{cp2} = 5,23 \text{ м}$) по сравнению со скоростью в балласте ($d_{cp1} = 4,1 \text{ м}$).

Решение.

По рис. 1.5, б при $n = 250 \text{ мин}^{-1}$ находим $v_{s2} = 14,25 \text{ уз}$; $v_{s1} = 14,6 \text{ уз}$, следовательно, $\delta v = v_{s2} - v_{s1} = 14,6 - 14,25 = 0,35 \text{ уз}$.

Пример задачи 13.

Судно ($d_{cp2} = 5,23 \text{ м}$) (рис. 1.5) первоначально двигалось в тихую погоду, а затем встретился с ветром силой 7...8 баллов. Определить дополнительную мощность, необходимую для поддержания скорости $v_s = 14,25 \text{ уз}$.

Решение.

По рис. 1.5, б при скорости $v_s = 14,25 \text{ уз}$ определяем $n = 250 \text{ мин}^{-1}$. По рис. 1.5, а для $n = 250 \text{ мин}^{-1}$ находим потребляемую мощность на тихой воде (кривая 2) $N'_e = 1925 \text{ кВт}$, а при встречном ветре (кривая 6) — $N''_e = 2200 \text{ кВт}$. Тогда $\delta N_e = N''_e - N'_e = 2200 - 1925 = 275 \text{ кВт}$.

Пример задачи 14.

Определить частоту вращения и нагрузку двигателя судна (см. рис. 1.6), необходимые для движения судна со скоростью 15 уз ($d_{cp1} < 7,44 \text{ м}$).

Решение.

Восстанавливая перпендикуляр к оси абсцисс в точке $v_s = 15 \text{ уз}$, получаем $n = 142 \text{ мин}^{-1}$ при $N_e = 3665 \text{ кВт}$.

Пример задачи 15.

Определить скорость судна (см. рис. 1.6) при осадках $d_{cp1} = 7,44 \text{ м}$, $d_{cp2} = 6,12 \text{ м}$ и соответствие гребного винта главному двигателю, если двигатель работает с номинальной частотой вращения $n_n = 165 \text{ мин}^{-1}$.

Решение.

На правой шкале откладываем $n = 165 \text{ мин}^{-1}$, проводим горизонтальную прямую до пересечения с зависимостями $n(v_s)$, а через полученные точки — вертикали до пересечения с соответствующими зависимостями $N_e(v_s)$ и осью абсцисс. Определяем скорость $v_{s1} = 17,2 \text{ уз}$, $v_{s2} = 17,6 \text{ уз}$. В обоих случаях гребной винт оказывается гидродинамически легким, так как потребляемая мощность меньше номинальной. Судно при осадке с полным грузом имеет некоторый запас мощности, позволяющий сохранить скорость при определенном ухудшении гидрометеорологических условий или обрастании корпуса.

Пример задачи 16.

На рис. 1.7. приведена диаграмма полезной тяги судна, полученная расчетным методом (кривая буксировочного сопротивления — по данным верфистроителя). Определить скорость буксировки на тихой воде однотипного судна.

Решение.

Удваивая ординаты кривой 1 сопротивления судна, получаем кривую 2 суммарного сопротивления буксирующего и буксируемого судов. Абсцисса точки пересечения полученной зависимости с кривой предельной располагаемой тяги винта 3 дает искомое значение $v_s = \text{уз}$.

Пример задачи 17.

Судно (рис. 1.7) движется в мелководном канале глубиной $h = 10$ м. Определить безопасную частоту вращения гребного винта.

Решение.

Безопасный скоростной режим выбирается из условия сохранения ложа канала $v = 0,5\sqrt{g \cdot h} \approx 0,5\sqrt{9,81 \cdot 10} = 4,95$ м/с = 9,6 уз. Скорости $v_s = 9,6$ уз на глубокой воде соответствует точка А на кривой буксировочного сопротивления ($n = 90$ мин⁻¹). Для поддержания такой скорости на мелководье потребуется несколько большая частота вращения, так как сопротивление воды движению судна в мелководном канале заметно возрастает. Следовательно, движение при $n = 90$ мин⁻¹ заведомо безопасно.

Контрольные вопросы

1. Что такое ходовая характеристика или паспортная диаграмма судна?
2. Какие данные требуются для расчета паспортной диаграммы судна?
3. Как условия плавания судна влияют на нагрузку главного двигателя?
4. Какие факторы влияют на мощность, потребляемую гребным винтом?
5. Какие графические зависимости наносятся на паспортную диаграмму?
6. Что такое относительная поступь гребного винта?
7. Какие основные показатели пропульсивной установки можно определить, пользуясь паспортной диаграммой?
8. Какие показатели режима работы ГД можно определить по паспортной диаграмме судна?
9. Как определяется величина мощности, потребляемая ГВ?
10. Чем отличается мощность на ГВ от мощности ГД?
11. Как рассчитывается и наносится на паспортную диаграмму ограничительная характеристика по механической напряженности?
12. Как на паспортной диаграмме определяется граница предельной (располагаемой) тяги ГВ?
13. Что такое тяга на гаке и как ее можно определить по паспортной диаграмме?
14. Укажите предельные значения мощности, частоты вращения и крутящего момента ГД при кратковременном режиме работы с перегрузкой.
15. В каких случаях допускается работа ГД с перегрузкой?
16. Что такое режимная карта СПУ?
17. Как определяется скорость судна по величине относительной поступи ГВ?
18. С какой целью рекомендуется устанавливать на судне облегченный гребной винт?
19. Какой резерв мощности ГД рекомендуется при установке облегченного ГВ?
20. Какая максимальная частота вращения ГД допускается при работе на облегченный ГВ?
21. Какой щадящий режим работы ГД рекомендуется в эксплуатации?

Практическое занятие №2 (6 часов)

РАСЧЕТ ХОДКОСТИ СУДНА С ВИНТОМ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА

Цель занятия. Определение влияния эксплуатационных факторов на параметры ходкости для судов с винтом регулируемого шага (ВРШ).

Задания для эксплуатационных расчетов ходкости судна с ВРШ

1. Определить номинальную расчетную скорость при плавании судна в различных погодных условиях (см. рис. 2.1).
2. Определить наибольшую достижимую скорость судна и шаговое отношение гребного винта при работе двигателя на промежуточном эксплуатационном режиме с частотой вращения $n = \text{мин}^{-1}$ (рис. 2.1).
3. Установить зависимость между частотой вращения и шаговым отношением гребного винта, реализация которой необходима для работы двигателя на швартовном режиме по верхней ограничительной характеристике (рис. 2.1).
4. Воспроизвести на швартовах номинальный расчетный режим работы двигателя по верхней ограничительной характеристике, определить наибольшую тягу винта на швартовном режиме (рис. 2.1).
5. Определить наибольшую достижимую скорость судна при всех вариантах включения энергетической установки, найти соответствующие значения шагового отношения ВРШ (рис. 2.2). Регулирование скорости судна выполняется только изменением шагового отношения при неизменной номинальной частоте вращения винта.
6. Определить полезную тягу гребного винта судна на швартовном режиме при работе на винт одного и двух главных двигателей (рис. 2.2).
7. Пользуясь тяговыми характеристиками судна (рис. 2.3), определить скорость свободного хода судна при работе двигателя на номинальном режиме.
8. Определить шаговое отношение ВРШ, обеспечивающее работу двигателя по верхней ограничительной характеристике на швартовном режиме при частоте вращения $n = \text{об/мин}$ (см. рис. 2.3).
9. Пользуясь характеристиками свободного хода судна в координатах $N_e - n$ (рис. 2.5), определить наибольшую достижимую скорость судна при работе двигателя на номинальном режиме.
10. В результате неисправности механизма изменения шага ВРШ его лопасти остались зафиксированными в положении, при котором $H/D =$. Определить наибольшую достижимую скорость судна без перегрузки главного двигателя (рис. 2.5).
11. Лопасти ВРШ зафиксированы в положении, при котором $H/D =$. Определить наибольшую достижимую скорость судна и параметры работы двигателя (рис. 2.5).

12. Скорость судна $v_s = \text{уз.}$ Установить необходимое шаговое отношение ВРШ и параметры работы двигателя (рис. 2.5).

13. Неисправен выносной указатель шага (ВУШ). По тахометру установлена частота вращения двигателя $n = \text{мин}^{-1}$, по лагу – скорость судна $v_s = \text{уз.}$ Найти шаговое отношение ВРШ и загрузку двигателя (рис. 2.5.).

14. По тахометру установлена частота вращения двигателя $n = \text{мин}^{-1}$, по указателю шага – шаговое отношение $H/D =$. Определить потребляемую мощность и скорость судна (рис. 2.5).

15. На судне применена система совместного управления главным двигателем и ВРШ. Пользуясь программными характеристиками (рис. 2.8), описать последовательность выведения ВРШ и главного двигателя в область оптимальных режимов работы установки на свободном ходу.

16. Определить расход топлива главным двигателем при вращении гребного винта на «холостом» ходу (рис. 2.9).

17. Определить расход топлива главным двигателем при движении полным ходом (рис. 2.9).

18. Пользуясь диаграммой ходкости судна при постоянной номинальной частоте вращения винта (рис. 2.11), определить наибольшую скорость свободного хода в случае работы на винт двух главных двигателей и валомотора суммарной мощностью __ кВт.

19. Пользуясь рис. 2.11, выбрать вариант включения энергетической установки для движения судна со скоростью $v_s =$ __ уз.

20. Определить мощность, необходимую для вращения гребного винта на режиме «Стоп» (рис. 2.11).

21. Пользуясь диаграммой ходкости судна при постоянной номинальной частоте вращения винта (см. рис. 2.12), определить положение рукоятки выносного указателя шага ВРШ, необходимое для движения со скоростью $v_s = \text{уз.}$, соответствующую загрузку двигателей и часовой расход топлива.

22. Пользуясь рис. 2.12, определить потребляемую вращающимся винтом мощность и расход топлива в режиме «Стоп».

1. Общие сведения

При работе на гребной винт (ГВ) режим главного двигателя подчиняется прямому силовому действию ГВ, т.е. развиваемая мощность ГД на различных режимах работы соответствует мощности, потребляемой ГВ. В этом случае двигатель работает по так называемой винтовой характеристике.

В установках с гребным винтом фиксированного шага (ВФШ) изменение режима работы двигателя в обычных эксплуатационных условиях осуществляется непосредственно путем управления и регулирования двигателя за счет изменения подачи топлива. При этом жесткая связь работы ГД и ГВ их совместная согласованность, определяет режим работы ГД и ограничивает его возможности полного использования номинальной мощности в различных изменяющихся условиях плавания судна. Такая связь

ГД с ВФШ в зависимости от эксплуатационных условий судна, когда существенно меняется сопротивление его движению (изменение осадки, мелководье, штормовые условия, обрастание корпуса и ГВ и др.), приводит к режимам работы ГД на гидродинамически «тяжелый» или «легкий» винт, а также значительно сужает маневренные качества судна.

Применение ВРШ во многом снимает вышеуказанные недостатки ВФШ за счет того, что изменение нагрузки двигателя в установках с ВРШ может осуществляться не только за счет изменения подачи топлива, а также путем воздействия на шаг винта. Это значительно расширяет область эксплуатационных режимов энергетической установки, увеличивает возможность полного использования номинальной мощности ГД, улучшает маневренные качества судна, компенсирует влияние внешних факторов на характеристику винта и исключает режимы работы в области «тяжелого» винта.

При использовании установки с ВРШ можно выделить три основные возможные сочетания режимов работы ГД и ГВ:

1. Режим работы ГД при постоянной частоте вращения вала ($n = const$) и переменном шаговом отношении ГВ ($H/D = var$) где H – шаг винта, D – его диаметр.
2. При работе двигателя с переменной частотой вращения вала ($n = var$) и изменяемым шаговым отношением ($H/D = var$).
3. Режим работы установки в условиях фиксированного шага, т.е. когда не меняется шаговое отношение ($H/D = const$), а мощность двигателя и частота вращения изменяются в соответствии с законом винтовой характеристики ($n = var$, $N_e = cn^3$, где c – постоянная винтовой характеристики).

Первый вариант – управление ВРШ при постоянной частоте вращения, применяется для транспортных судов, траулеров и других типов судов, где есть возможность использования валогенератора на различных нагрузочных режимах работы двигателя.

Второй способ – управление путем изменения частоты вращения и шага винта, так называемое комбинаторное управление, применяется в основном для частичных нагрузок двигателя и маневренных режимов. Этот вариант, как показывает практика, позволяет снизить расход топлива по сравнению с другими способами управления.

Третий способ – работа ВРШ по характеристике фиксированного шага используется, как правило, на режимах полного хода.

Следует отметить, что при работе на ВРШ условия для перегрузки ГД становятся более вероятными, чем при работе на ВФШ, так как управление может осуществляться одновременно изменением подачи топлива на ГД и изменением шага ГВ. Т.е. в отличие от работы ГД на ВФШ в пропульсивной установке с ВРШ вместо одного управляемого воздействия вводятся два (топливо и шаг ГВ).

Эти обстоятельства выдвигают специфические требования к назначению режимов работы ГД, к системам управления и защиты. В программах дистанционного управления главным двигателем с ВРШ обычно

предусматривается регулятор нагрузки, который связывает положение рейки топливного насоса и разворот лопастей винта, не допуская возможности перегрузки двигателя путем воздействия на изменение шага винта [5].

Для установок с ВФШ разрабатываются паспортные диаграммы пропульсивной установки, на которых строятся графики изменения мощности ГД, полезной тяги винта и других показателей работы СЭУ в зависимости от скорости движения судна и частоты вращения ГВ. Такие графики, показывая взаимодействие ГД и ГВ, позволяют назначать и контролировать режимы работы пропульсивной установки в различных эксплуатационных условиях плавания судна.

В отличие от установок с ВФШ такую паспортную диаграмму для установок с ВРШ практически рассчитать и построить очень сложно, т.к. требуется увязать (согласовать) между собой значительно большее число изменяющихся показателей (N_e , H/D , n , v) работы пропульсивной установки (ПУ). Следовательно, для этой цели нужно рассчитать и построить множество частных паспортных диаграмм для различных условий плавания судна с ВРШ.

2. Методика выполнения и содержание отчета

Пример задачи 1.

Определить номинальную расчетную скорость при плавании судна в различных погодных условиях (см. рис. 2.1).

Решение.

Абсцисса точки пересечения кривых 1 и 4 указывает искомую скорость судна на тихой воде ($v_{smax} = \text{--- уз}$). Необходимое шаговое отношение гребного винта ($H/D = \text{---}$) найдено по кривой 9. Наибольшая достижимая скорость судна при работе двигателя на номинальном режиме в условиях встречного ветра силой 3 и 6 баллов составляет соответственно $v_{s1} = \text{уз}$ и $v_{s2} = \text{уз}$ (найденa на пересечении кривых 2 и 3 с кривой 4). Во избежание перегрузки двигателя шаговое отношение винта при встречном ветре должно быть несколько уменьшено. Например, при ветре 6 баллов в точке пересечения ординаты $v_{s2} = \text{уз}$ с кривой 9 получим $H/D = \text{---}$.

Пример задачи 2.

Определить наибольшую достижимую скорость судна и шаговое отношение гребного винта при работе двигателя на промежуточном эксплуатационном режиме с частотой вращения $n = 200 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 2.1).

Решение.

Задача решается аналогично предыдущей: точка пересечения кривых 1 и 7 указывает скорость $v_s = 10,6 \text{ уз}$, которой на кривой 12 соответствует шаговое отношение $H/D = 0,97$.

Пример задачи 3.

Установить зависимость между частотой вращения и шаговым

отношением гребного винта, реализация которой необходима для работы двигателя на швартовном режиме по верхней ограничительной характеристике (рис. 2.1).

Решение.

Точки пересечения кривых 9, 10, 11, 12, 13 с осью ординат ($v_s = 0$) указывают значения: $(H/D)_1 = _$; $(H/D)_2 = _$; $(H/D)_3 = _$; $(H/D)_4 = _$; $(H/D)_5 = _$ для соответствующих значений $n_1 = _$; $n_2 = _$; $n_3 = _$; $n_4 = _$; $n_5 = \text{мин}^{-1}$.

Пример задачи 4.

Воспроизвести на швартовах номинальный расчетный режим работы двигателя по верхней ограничительной характеристике, определить наибольшую тягу винта на швартовном режиме (рис. 2.1).

Решение.

В примере 3 для $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ указано значение $H/D = 0,50$ (кривая 9). Нагрузка на двигатель составит 590 кВт, гребной винт разовьет тягу $P_e^{ув} = 99 \text{ кН}$ (точка пересечения кривой 4 с осью ординат).

Пример задачи 5.

Определить наибольшую достижимую скорость судна при всех вариантах включения энергетической установки, найти соответствующие значения шагового отношения ВРШ (см. рис. 2,2). Регулирование скорости судна выполняется только изменением шагового отношения при неизменной номинальной частоте вращения винта.

Решение.

Абсциссы точек пересечения кривой 6 с кривыми 1, 3, 4, 5 указывают искомую скорость $v_{s1} = _$; $v_{s2} = _$; $v_{s3} = _$; $v_{s4} = _ \text{ уз}$ соответственно при работе одного главного двигателя, двух главных двигателей с отбором мощности на валогенератор, двух главных двигателей, двух главных двигателей и валомотора. Лопастей ВРШ должны устанавливаться с шаговым отношением $(H/D) = _$; $(H/D)_2 = _$; $(H/D)_3 = _$; $(H/D)_4 = _$ (кривые 2, 7, 8, 9).

Пример задачи 6.

Определить полезную тягу гребного винта судна на швартовном режиме при работе на винт одного и двух главных двигателей (рис. 2.2).

Решение.

Точки пересечения кривых 1 и 4 с осью ординат дают $P_{e1}^{ув} = _ \text{ и } P_{e2}^{ув} = _ \text{ кН}$ при $(H/D) = _$; $(H/D)_2 = _$ (кривые 2 и 8).

Пример задачи 7.

Пользуясь тяговыми характеристиками судна (см. рис. 2.3), определить скорость свободного хода судна при работе двигателя на номинальном режиме.

Решение.

Из условия $P_e^{узб} = 0$ скорость $v_{smax} = _ \text{ уз}$ определяется в точке

пересечения кривой 5 с осью абсцисс. Восставляя перпендикуляр из найденной точки до пересечения с нижней кривой семейства 4, получим $H/D =$ (см. пример 1).

Пример задачи 8.

Определить шаговое отношение ВРШ, обеспечивающее работу двигателя по верхней ограничительной характеристике на швартовном режиме при частоте вращения $n = 150 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 2.3).

Решение.

В точке пересечения кривой 4 с осью ординат устанавливается $H/D = 0,915$ (см. пример 3). Полезная тяга винта при этом составляет 51,4 кН.

Пример задачи 9.

Пользуясь характеристиками свободного хода судна в координатах $N_e - n$ (рис. 2.5), определить наибольшую достижимую скорость судна при работе двигателя на номинальном режиме.

Решение.

Находим на верхней ограничительной характеристике двигателя точку с параметрами номинального режима ($N_e = 1765 \text{ кВт}$, $n = 225 \text{ мин}^{-1}$). Устанавливаем скорость судна (v_s уз) и соответствующее шаговое отношение ВРШ $H/D = \underline{\hspace{1cm}}$.

Пример задачи 10.

В результате неисправности механизма изменения шага ВРШ его лопасти остались зафиксированными в положении, при котором $H/D = 0,98$. Определить наибольшую достижимую скорость судна без перегрузки главного двигателя (рис. 2.5).

Решение.

В точке пересечения винтовой характеристики $H/D = 0,98$ с верхней ограничительной характеристикой двигателя определяем $v_s = 12$ уз. Допустимая частота вращения двигателя составляет $n = 150 \text{ мин}^{-1}$, загрузка — 1165 кВт.

Пример задачи 11.

Лопастей ВРШ зафиксированы в положении, при котором $H/D = 0,3$. Определить наибольшую достижимую скорость судна и параметры работы двигателя (рис. 2.5).

Решение.

В точке пересечения винтовой характеристики $H/D = 0,3$ с ординатой номинальной частоты вращения двигателя $n = 225 \text{ мин}^{-1}$ определяем $v_s = 9$ уз, $N_e = 920 \text{ кВт}$.

Пример задачи 12

Скорость судна $v_s = 9$ уз. Установить необходимое шаговое отношение ВРШ и параметры работы двигателя (рис. 2.5).

Решение.

На кривой $v_s = 9$ уз находим низшую точку, соответствующую минимуму потребляемой мощности ($N_e = 440$ кВт). Через эту точку проходит ордината $n = 125 \text{ мин}^{-1}$ и кривая $H/D = 0,8$.

Пример задачи 13.

Неисправен ВУШ. По тахометру установлена частота вращения двигателя $n = 170 \text{ мин}^{-1}$, по лагу — скорость судна $v_s = 11$ уз. Найти шаговое отношение ВРШ и загрузку двигателя (рис. 2.5).

Решение.

В пересечении вертикальной прямой $n = 170 \text{ мин}^{-1}$ и кривой $v_s = 11$ уз определяем точку, которой соответствуют $H/D = 0,68$ и $N_e = 860$ кВт.

Пример задачи 14.

По тахометру установлена частота вращения двигателя $n = 170 \text{ мин}^{-1}$, по указателю шага — шаговое отношение $H/D = 0,5$. Определить потребляемую мощность и скорость судна (рис. 2.5).

Решение.

В пересечении ординаты $n = 170 \text{ мин}^{-1}$ и кривой $H/D = 0,5$ находим скорость судна $v_s = 9$ уз и мощность двигателя $N_e = 600$ кВт.

Пример задачи 15.

На судне применена система совместного управления главным двигателем и ВРШ. Пользуясь программными характеристиками (рис. 2.8), описать последовательность выведения ВРШ и главного двигателя в область оптимальных режимов работы установки на свободном ходу.

Решение.

Режиму «Стоп» соответствует нулевое положение рукоятки управления ($H/D = -0,04$, рис. 2.8). Увеличение скорости судна до $v_s \approx 4,5$ уз производится переводом рукоятки в положение 3,5 при неизменной частоте вращения ($n \approx 105 \text{ мин}^{-1}$). Дальнейшее увеличение скорости судна до $v_s \approx 7$ уз сопровождается одновременным увеличением шага винта (рукоятка управления переводится в положение 5, H/D увеличивается от 0,6 до 0,8) и частоты вращения двигателя (до 127 мин^{-1}). Перевод пропульсивного комплекса на полный ход в области наиболее экономичных режимов работы выполняется при неизменном шаговом отношении ВРШ ($H/D = 0,79$) за счет увеличения частоты вращения двигателя до номинальной ($n = 200 \text{ мин}^{-1}$). Следовательно, перевод рукоятки управления из положения 5 в положение 7,75 сопровождается только изменением частоты вращения двигателя.

Пример задачи 16.

Определить расход топлива главным двигателем при вращении гребного винта на «холостом» ходу (см. рис. 2.9).

Решение.

В положении нулевого упора ВРШ ($v_s = 0$, $H/D = -0,04$) часовой расход топлива изменяется от $G_{m1}^u = \text{кг/ч}$ при минимально устойчивой частоте вращения 80 об/мин до $G_{m2}^u = \text{кг/ч}$ при номинальной частоте вращения 200 мин⁻¹.

Пример задачи 17.

Определить расход топлива главным двигателем при движении полным ходом (рис. 2.9).

Решение.

В точке пересечения ординаты $n = 200 \text{ мин}^{-1}$ с винтовой характеристикой при $H/D = 0,79$ определяем скорость судна $v_s \approx 13 \text{ уз}$ и часовой расход топлива $G_m^u = \text{кг/ч}$.

Пример задачи 18.

Пользуясь диаграммой ходкости судна при постоянной номинальной частоте вращения винта (рис. 2.11), определить наибольшую скорость свободного хода в случае работы на винт двух главных двигателей и валомотора суммарной мощностью $\sum N_e = 1215 \text{ кВт}$.

Решение.

Заданной мощности на кривой 1 соответствует скорость $v_{s \max} = 12,5 \text{ уз}$, для достижения которой лопасти ВРШ должны быть развернуты под углом $\varphi = 21^\circ$.

Пример задачи 19.

Пользуясь рис. 2.11, выбрать вариант включения энергетической установки для движения судна со скоростью $v_s = 10 \text{ уз}$.

Решение.

Заданной скорости на кривой 1 соответствует мощность установки $N_e = 500 \text{ кВт}$ которая обеспечивается включением одного главного двигателя ($N_e = 493 \text{ кВт}$). Соответствующий угол разворота лопастей ВРШ составляет $\varphi = 13^\circ$.

Пример задачи 20.

Определить мощность, необходимую для вращения гребного винта на режиме «Стоп» (рис. 2.11).

Решение.

Мысленно продолжив ось абсцисс, а также кривые 1 и 2 влево и проведя ординату $v_s = 0$, устанавливаем $N_e = 200 \text{ кВт}$, $\varphi = 0^\circ$.

Пример задачи 21.

Пользуясь диаграммой ходкости судна при постоянной номинальной частоте вращения винта (рис. 2.12), определить положение рукоятки выносного указателя шага ВРШ, необходимое для движения со скоростью $v_s = 14 \text{ уз}$, соответствующую загрузку двигателей и часовой расход топлива.

Решение.

В пересечении горизонтали на уровне 14 уз с кривой v_s , определяем положение рукоятки ВУШ $\Pi = 7,6$. Этому положению на кривой N_e

соответствует мощность 3500 кВт, а на кривой G_m^u — часовой расход топлива 620 кг/ч.

Пример задачи 22.

Пользуясь рис 2.12, определить потребляемую вращающимся винтом мощность и расход топлива в режиме «Стоп».

Решение.

В положении рукоятки ВУШ П \approx ____ ($v_s = 0$) на левой шкале определяем $N_e = \text{кВт}$, а на выносной шкале — $G_T^u =$ ____ кг/ч.

Контрольные вопросы

1. В каком случае ГД работает по винтовой характеристике?
2. Чем отличаются управления главным двигателем судна с ВРШ и с ВФШ?
3. Какие основные возможные режимы работы ГД и ГВ можно осуществить в установке с ВРШ?
4. Почему при работе на ВРШ условия работы для перегрузки ГД становятся более вероятными?
5. Что такое регулятор нагрузки и для каких целей он предназначен?
6. Какая зависимость существует между скоростью судна и шагом ВРШ?
7. Какие ограничительные характеристики режимов работы ГД существуют при работе на ВРШ?

Практическое занятие №3 (4 часа)

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ С ГАЗОТУРБИННЫМ НАДДУВОМ

Цель занятия. Научиться производить выбор и анализ безопасных режимов работы главного судового дизеля с использованием ограничительной характеристики по среднему индикаторному давлению в условиях эксплуатации.

Задание.

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

1. Общие сведения

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 $M_{\text{ном}} = \text{const}$ (по номинальному среднему индикаторному давлению $p_{\text{ином}} = \text{const}$). При этом кроме ограничения по p_i , накладываются ограничения по максимальному давлению сгорания p_z и температуре выпускных газов T_r . 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 уменьшается, но даже несколько увеличивается вследствие роста коэффициента наполнения. Процесс сгорания осуществляется без уменьшения коэффициента избытка воздуха, что предохраняет дизель от тепловых перегрузок.

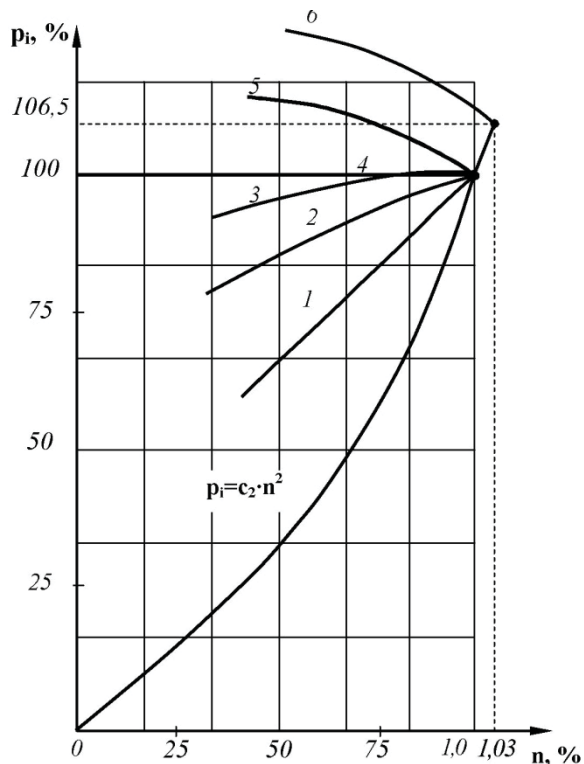


Рисунок 1 – Ограничительные характеристики:

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.

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:

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

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 $g_{ц}$ 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 (рис. 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 пульта 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 $\bar{p}_i - \bar{n}_i$, где $\bar{p}_i = \frac{p_i}{p_{iном}}$; $\bar{n}_i = \frac{n}{n_{ном}}$.

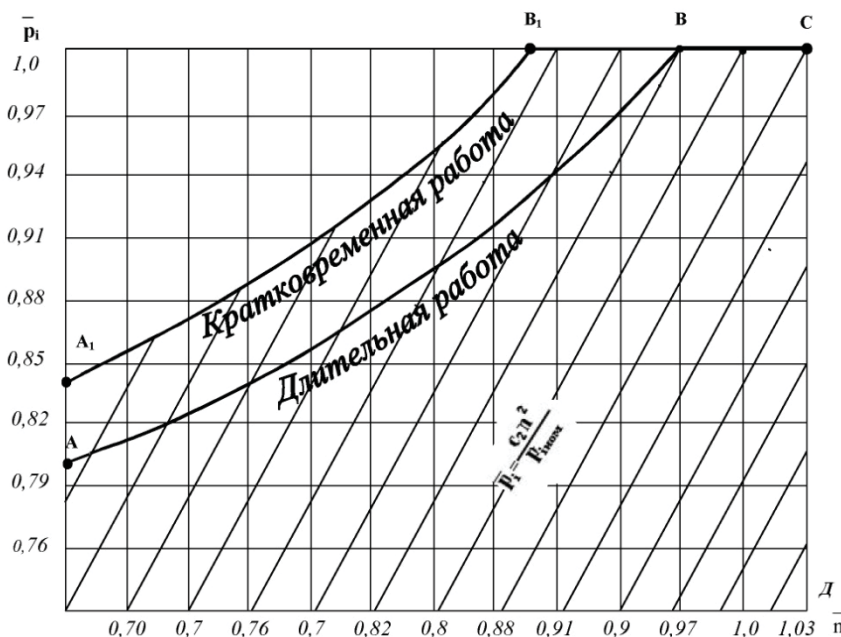


Рисунок 2 – Типовой график для выбора эксплуатационных режимов работы главного дизеля с газотурбинным наддувом:

AB и BC – скоростная ограничительная характеристика для длительной работы; A_1B_1 и B_1C – скоростная ограничительная характеристика для кратковременной работы; CD – линия, ограничивающая наибольшую частоту

вращения, допускаемую при длительной эксплуатации дизеля; $\bar{p}_i = \frac{c_2 n^2}{p_{iном}}$ – семейство винтовых характеристик.

Поле, лежащее под линией $ABCD$, 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 ABB_1A_1 , графически отображает режимы, допустимые для кратковременной работы (в течение 1 часа).

1.1 Выбор параметров контроля предельных нагрузок главных судовых дизелей

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. 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.

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.

2. Методика выполнения и содержание отчета

2.1 Методика исследования режимов работы дизеля с газотурбинным наддувом с использованием ограничительной характеристики по среднему индикаторному давлению

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.

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).

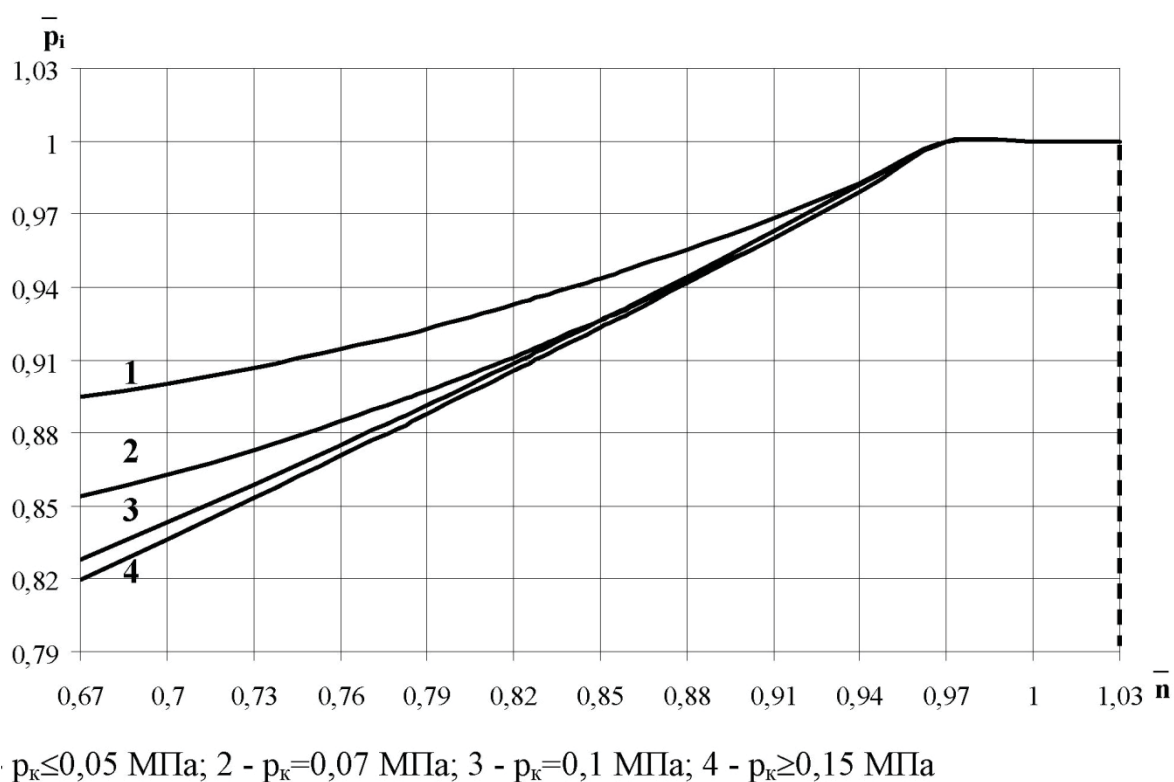


Рисунок 3 – Скоростные ограничительные характеристики дизелей с импульсной системой наддува (длительная работа)

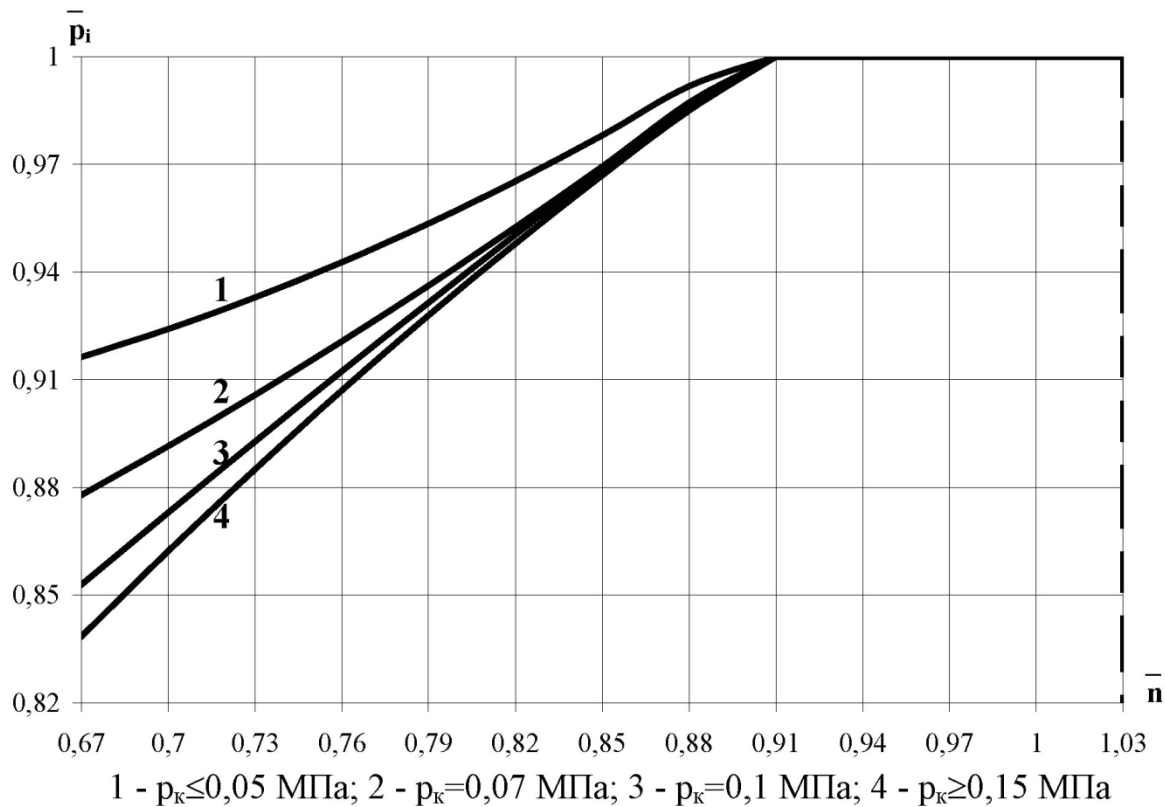
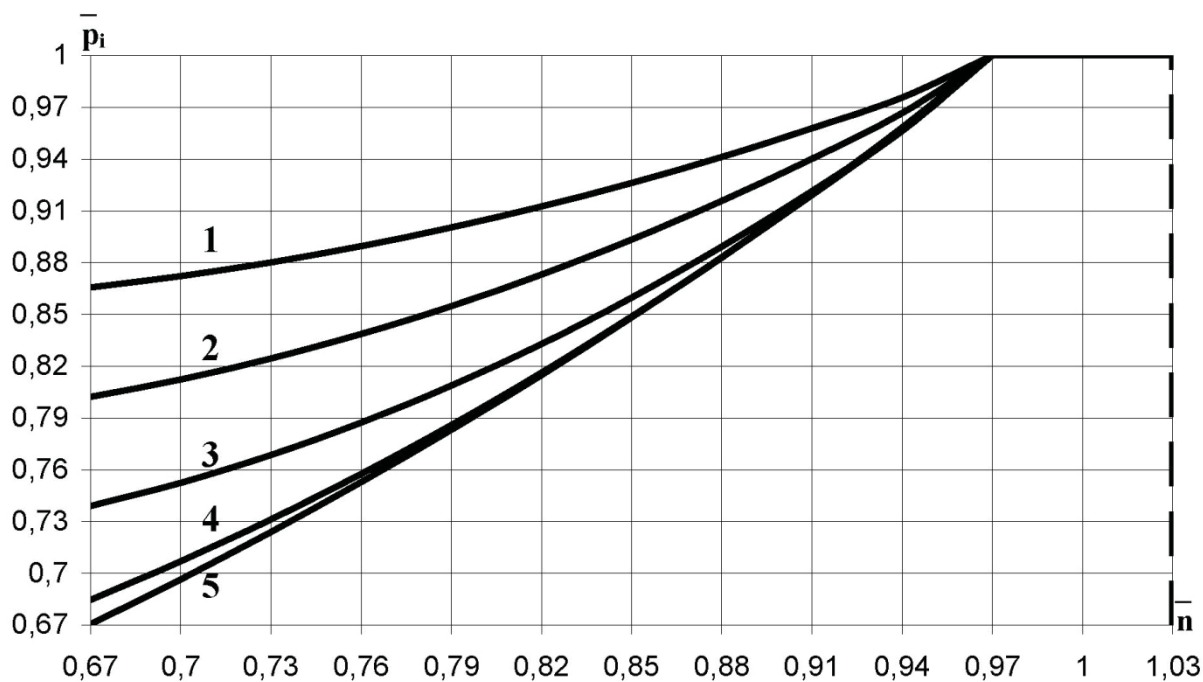
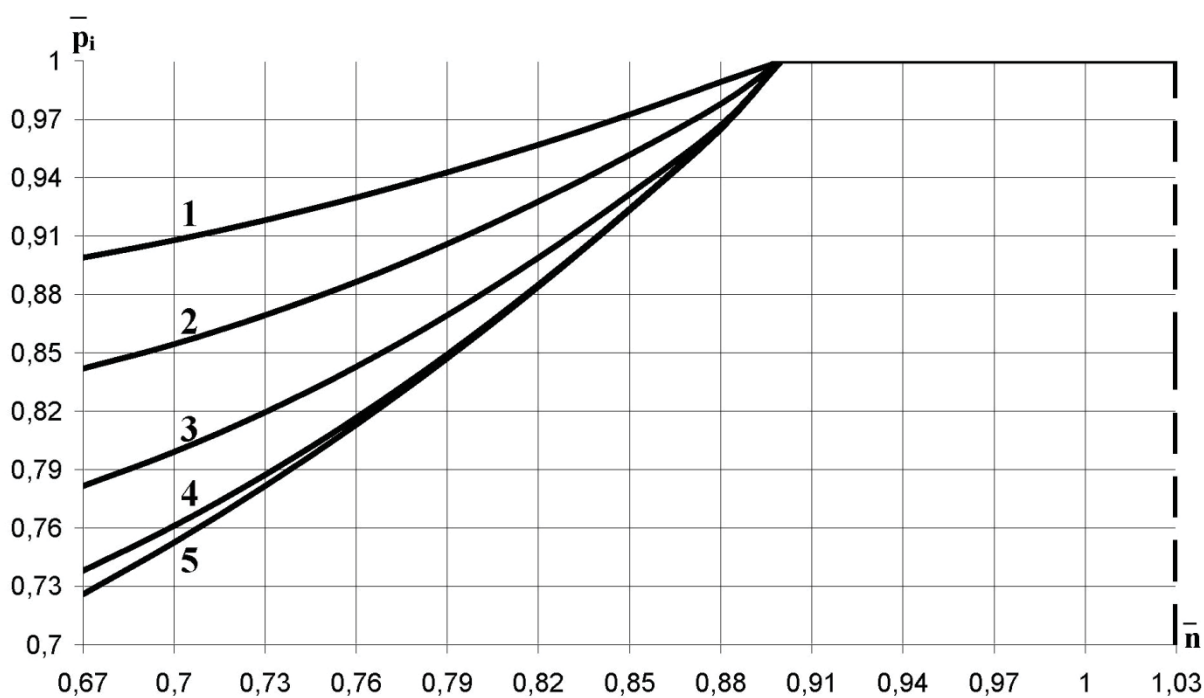


Рисунок 4 – Скоростные ограничительные характеристики дизелей с импульсной системой наддува (кратковременная работа)



1 - $p_k \leq 0,05$ МПа; 2 - $p_k = 0,07$ МПа; 3 - $p_k = 0,1$ МПа; 4 - $p_k = 0,15$ МПа; 5 - $p_k \geq 0,2$ МПа

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



1 - $p_k \leq 0,05$ МПа; 2 - $p_k = 0,07$ МПа; 3 - $p_k = 0,1$ МПа; 4 - $p_k = 0,15$ МПа; 5 - $p_k \geq 0,2$ МПа

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

2.2. Построение рабочего поля работы главного судового дизеля по винтовым характеристикам

2.2.1. 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 $c_2 = c/A$ значение постоянной для p_e .

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

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

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

$$p_i = \frac{p_{\text{енно}}}{\eta_{\text{мном}}}, \quad (8)$$

где $\eta_{\text{м}}$ – механический к.п.д. дизеля на номинальной мощности, который принимается в зависимости от типа дизеля и системы наддува (таблица 1). Известно, что с изменением нагрузки механический к.п.д. 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 на номинальной мощности, т.е. принимаем

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.

2.2.2 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 $1,0 p_{\text{инно}}$, а по оси \bar{n} – от $0,67n_{\text{ном}}$ до $1,03 n_{\text{ном}}$. 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.

Таблица 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:		
-без наддува	<0,8	0,75...0,85
-с наддувом	0,8...1,8 и выше	0,85...0,95
Двухтактные дизели:		
-без наддува	0,4...0,6	0,80...0,85
-с наддувом	0,7...1,3 и выше	0,85...0,92

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 $R > 0,998$.

2.2.3 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 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 $p_1 = 0,73 p_{iном}$ и задаваемых значений n .

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

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

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

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

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

2.2.4 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 $p_{енном}$, 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 1.

3) Строятся ограничительные характеристики для дизеля 874VTBF160 (рис. 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 $n_8 = 0,85n_{ном}$ (рисунок 7):

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

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

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

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

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

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

c _{2j}	$\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2 \times n_j^2}}{p_{iHHO}}$												
	\bar{n}_j												
	0,67	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	1,103
c _{2j}													
c ₂₈							0.73	0.78	0.84	0.89	0.95	1.01	1.07

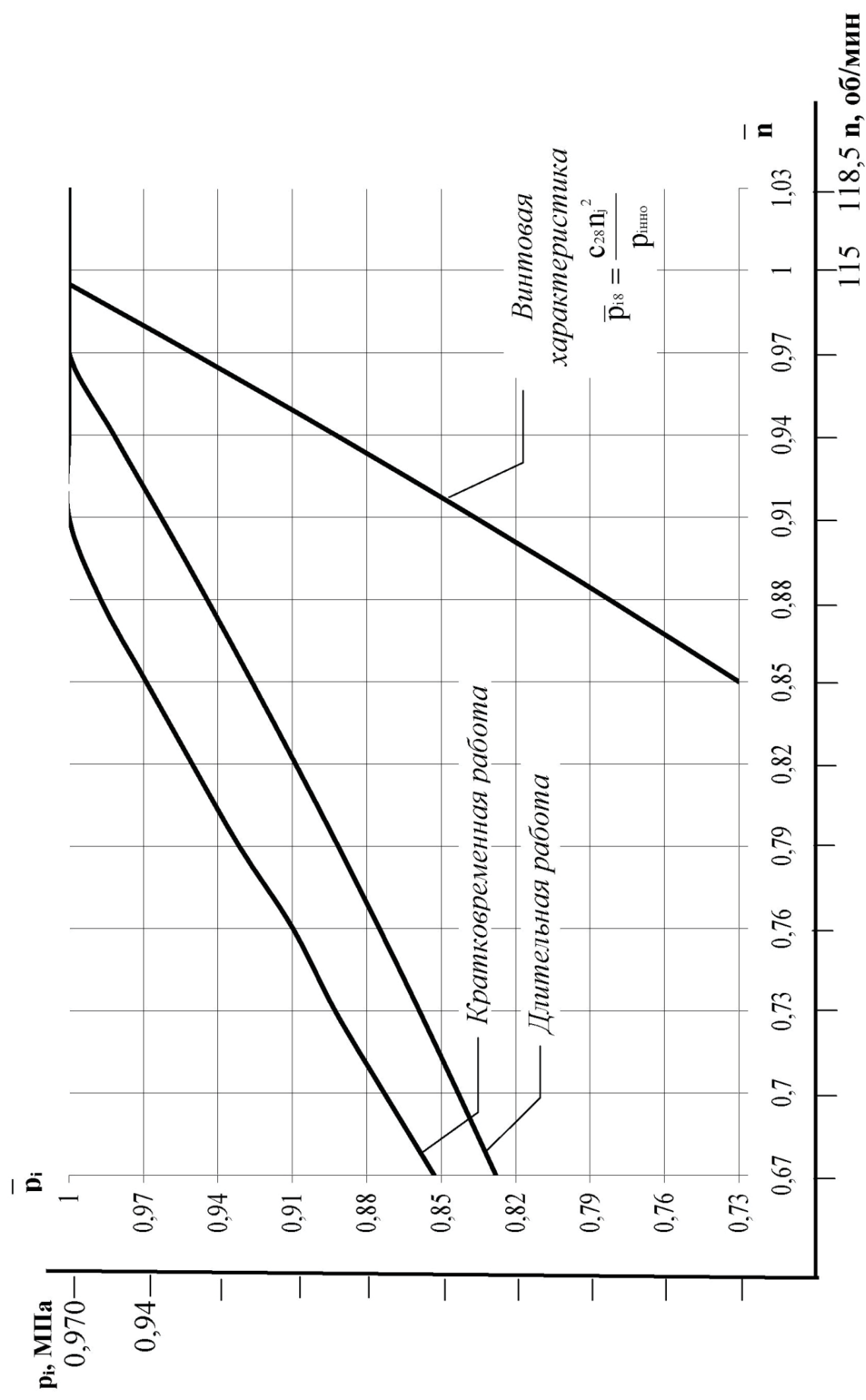


Рисунок 7 – Ограничительные характеристики дизеля 8 74VTBF160 при работе на винт

Таблица 3– Исходные данные для построения характеристик $\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x} n_j^2}{p_{ном}}$

C _{2x}	$\bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x} n_j^2}{p_{инн}}$													
	$n_i,$													
	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 ₂₁														
C ₂₂														
C ₂₃														
C ₂₄														
C ₂₅														
C ₂₆														
C ₂₇														
C ₂₈														
C ₂₉														
C ₂₁₀														
C ₂₁₁														
C ₂₁₂														
C ₂₁₃														
C ₂₁₄														
C ₂₁₅														
C ₂₁₆														
C ₂₁₇														

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

2. Ориентировочные значения p_i , входящие в рекомендуемую область построения

$$\text{характеристик } \bar{p}_{ix} = \frac{c_{2x} n_j^2}{p_{ном}}$$

2.3. 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 M . Передвигаясь от нее по винтовой характеристике до пересечения с линией AB , 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 AB , характеризуемая с точкой N ($n=85,5\%$, $p_i = 87,5 \%$).

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

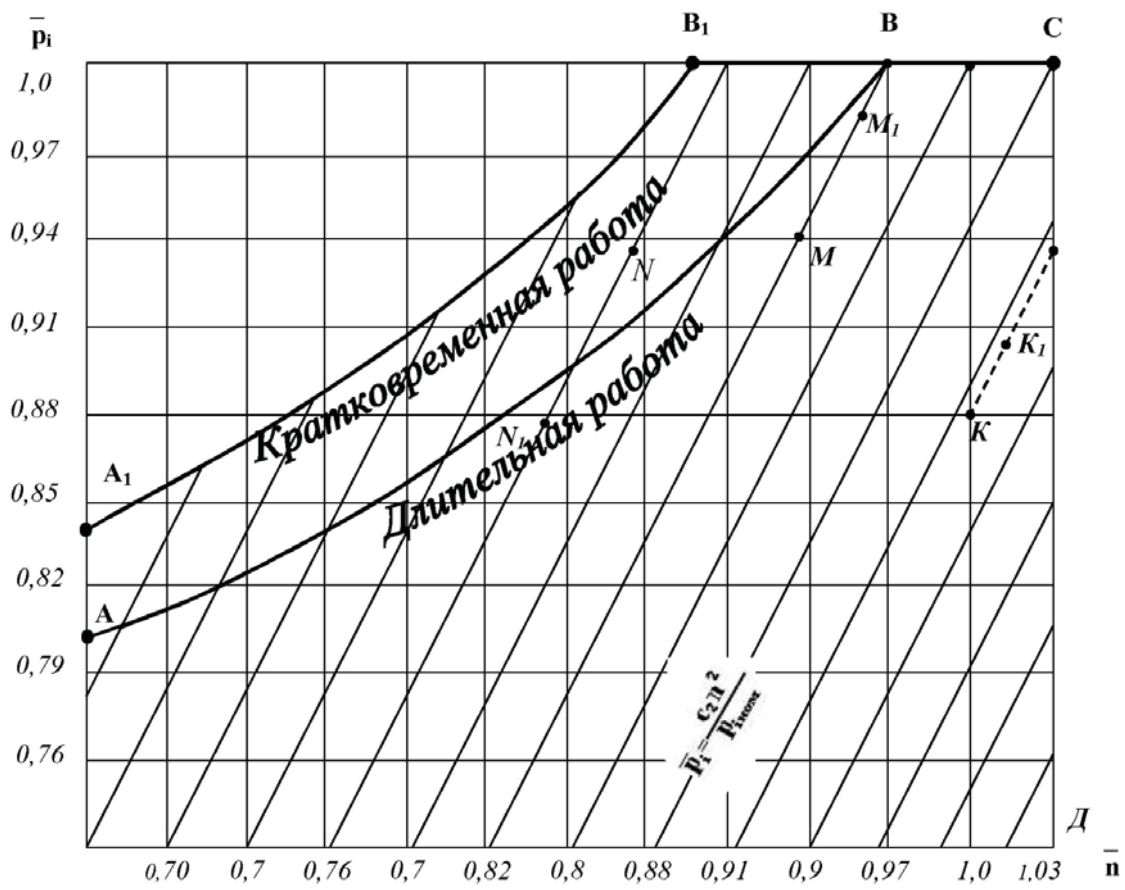


Рисунок 8 – Типовой график для выбора эксплуатационных режимов работы главного дизеля[^]

AB и BC – скоростная ограничительная характеристика для длительной работы; A_1B_1 и B_1C – скоростная ограничительная характеристика для кратковременной работы; CD – линия, ограничивающая наибольшую частоту вращения, допускаемую при длительной эксплуатации дизеля; $\bar{p}_i = \frac{c_2 n_j^2}{p_{ином}}$ – семейство винтовых характеристик.

2.4 Содержание отчета

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.

3. 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.

ЛИТЕРАТУРА, РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КУРСА «ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЭУ»

1. ОСНОВНАЯ

1. Суворов П.С. Управление режимами работы главных судовых дизелей/ П.С. Суворов. - Одесса: ЛАТСТАР, 2000. -238 с.
2. Краткий справочник судового механика/ М.А. Малиновский, А.А. Фока и др. - Одесса: Маяк, 1987. - 167 с.
3. Артемов Г.А., Волошин В.П. и др. Судовые энергетические установки, 1987. - 480 с.
4. Беляев И., Глотов Ю. Семченков В. Эксплуатация судовых энергетических установок. - М.: Транспорт, 1995.
5. Кацман Ф.М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна. - М.: Транспорт, 1974. - 223 с.
7. Мануилов В.П. Эксплуатация судовых энергетических установок. - М.: Транспорт, 1979. - 165 с.
8. Овсянников М.К., Петухов В.А. Дизели в пропульсивном комплексе морских судов. Справочник. - М.: Транспорт, 1990. - 240 с.
9. Овсянников Б.И. Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности.

2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. 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.
2. Карпович В.А. Дизельные установки с винтами регулируемого шага/ В.А. Карпович. -Л.: Судостроение, 1964. - 204 с.
3. 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 Сев- НТУ, 2005. - 74 с.
4. Овсянников М.К. Дизели в пропульсивном комплексе морских судов/ М.К. Овсянников, В.А. Петухов. Справочник. - Л.: Судостроение, 1987. - 255с.
5. 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.
6. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Дизели. КНД 31.2.002.03-96. -70 с.
Дополнительная
7. Беляев И., Глотов Ю., Семченков В. Дизельные автоматизированные установки морских судов. - М.: Транспорт, 1995.
8. Бубер Б.И.. Использование топлива на промысловых судах. - М.:

Агропромиздат, 1986. - 176 с.

9. Верете А.Г., Дельвиг А.К. Судовые паровые и газовые энергетические установки. - М.: Транспорт, 1990. - 240 с.

10. Гаврилов В.С., Комкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. - М.: Транспорт, 1985. - 288 с.

11. Зуев А.В., Силуков Г.Д. и др. ВРШ на промысловых судах и их совместная работа с пропульсивно-траловым комплексом. - Мурманск: Книжное издательство, 1987.

12. Маслов В.В.. Совершенствование эксплуатации систем судовых дизелей. - М.: Транспорт, 1984. - 254 с.

13. небесов В.И.. Оптимальные режимы работы судовых комплексов. - М.: Транспорт, 1974. - 200 с.

14. Правила классификации и постройки морских судов. - М.: Транспорт, 1990.

15. Сайгин М.Ф., Гуляев А.Б. и др. Судовые ядерные реакторы. - Л.: Судостроение, 1967. - 608 с.

16. Соловьев Е.М. Пособие механика крупнотоннажного промыслового судна. - М.: В. О. Агропромиздат, 1989. - 302 с.

Приложение А. Справочный материал для выполнения практической работы №1

Таблица А.1. – Варианты заданий для эксплуатационных расчётов ходкости судна с ВФШ

№ Вари анта	1.2.	1.3.	1.5.	1.6.	1.9.	1.10.	1.11.	1.12.	1.13.	1.14.	1.15.	1.17.
	n	v , v ,	погода	n	n	n	n	n	v ,	v ,	n_h	h
1	130	9	т.п.	360	205	130	180	220	12	15	120	9
2	255	6	3 б.	205	330	230	230	210	8	18	150	15
3	360	3	6 б.	305	180	330	170	180	11	13	170	10
4	230	7	т.п.	130	305	155	220	210	8	16	130	14
5	345	4	3 б.	230	155	255	180	250	12	14	160	11
6	205	8	6 б.	330	280	345	240	200	9	17	140	13
7	330	5	т.п.	155	345	280	160	245	13	13	170	12
8	180	9	3 б.	255	280	180	250	190	10	18	130	5
9	305	6	6 б.	345	180	205	170	240	14	15	160	20
10	155	3	т.п.	280	230	305	245	180	8	17	120	12
11	280	7	3 б.	180	330	155	180	230	14	14	150	5
12	130	4	6 б.	230	255	280	240	170	9	16	170	20
13	255	8	т.п.	330	360	130	190	220	13	18	120	8
14	360	5	3 б.	155	230	255	245	180	10	15	160	17
15	230	9	6 б.	360	345	360	190	240	12	13	140	11
16	345	6	т.п.	205	205	345	240	180	11	16	120	15
17	205	3	3 б.	305	330	280	180	160	14	14	170	13
18	330	7	6 б.	130	330	180	230	250	10	17	150	6
19	180	4	т.п.	230	280	205	180	170	8	15	130	18
20	305	8	3 б.	330	130	130	240	245	12	18	160	20
21	155	5	6 б.	155	360	330	190	180	9	16	120	5
22	280	9	т.п.	255	345	255	230	240	13	14	140	190
23	130	6	3 б.	345	180	360	200	190	10	17	170	6
24	255	3	6 б.	280	305	130	220	230	14	13	150	18
25	360	7	т.п.	180	155	255	245	200	8	16	130	7

Продолжение табл. А.1

№ Вари анта	1.2.	1.3.	1.5.	1.6.	1.9.	1.10.	1.11.	1.12.	1.13.	1.14.	1.15.	1.17.
	n	V ,	пог	n	n	n	n	n			n_h	h
26	230	4	3 б.	205	130	330	160	240	8	18	120	20
27	345	8	6 б.	330	230	180	250	190	14	15	150	5
28	205	5	т.п	280	330	305	170	245	9	17	170	190
29	330	9	3 б.	130	155	155	245	190	13	14	120	6
30	180	6	6 б.	360	255	280	180	240	10	16	160	18
31	305	3	т.п	345	230	130	240	180	12	18	140	7
32	155	7	3 б.	180	345	255	190	230	11	15	120	17
33	280	4	6 б.	360	205	360	230	180	14	13	170	8
34	130	8	т.п	205	330	230	200	240	10	16	150	16
35	255	5	3 б.	305	180	345	220	190	13	15	150	9
36	360	9	6 б.	130	205	330	210	230	9	13	130	15
37	230	6	т.п	230	305	155	170	200	12	16	160	10
38	345	3	3 б.	330	130	360	210	220	8	14	120	14
39	205	7	6 б.	155	230	205	250	245	11	17	140	11
40	330	4	т.п	255	280	305	200	180	8	15	170	13
41	180	8	3 б.	345	130	130	245	230	12	18	150	12
42	305	5	6 б.	280	255	230	190	170	9	16	130	5
43	155	9	т.п	180	360	330	240	220	13	14	120	20
44	280	6	3 б.	205	205	155	180	190	10	15	150	8
45	130	3	6 б.	130	330	255	230	240	14	18	170	17
46	255	7	т.п	330	180	280	170	160	11	13	130	11
47	360	4	3 б.	255	305	130	220	250	8	16	160	15
48	230	8	6 б.	360	155	255	180	170	12	14	140	13
49	345	5	т.п	205	280	180	240	245	9	17	170	6
50	205	9	3 б	305	130	230	180	170	13	13	130	18

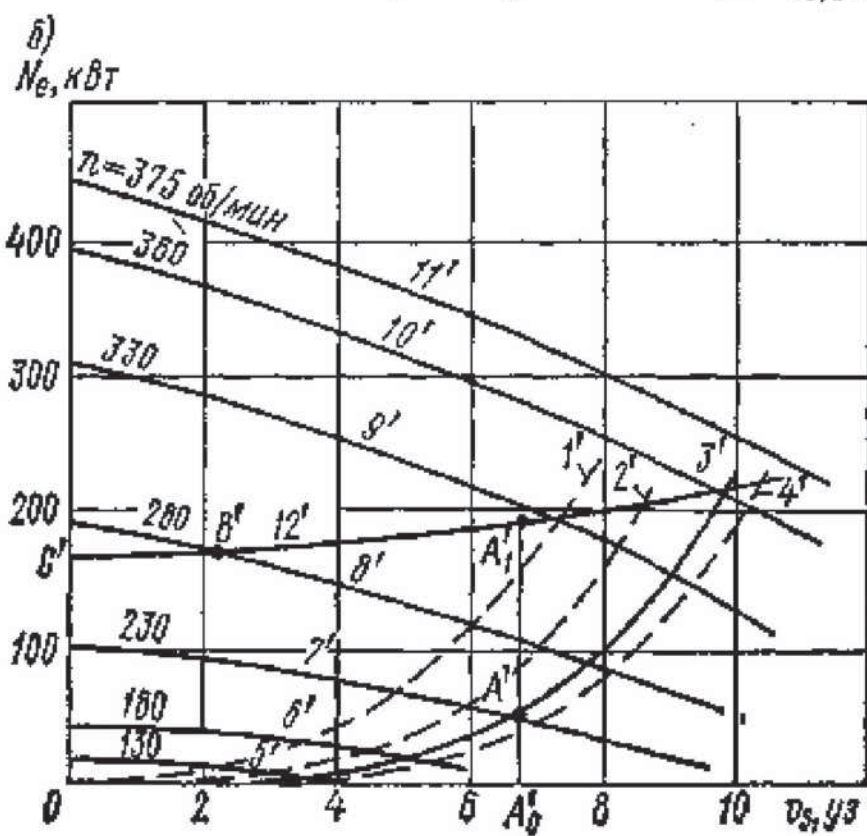
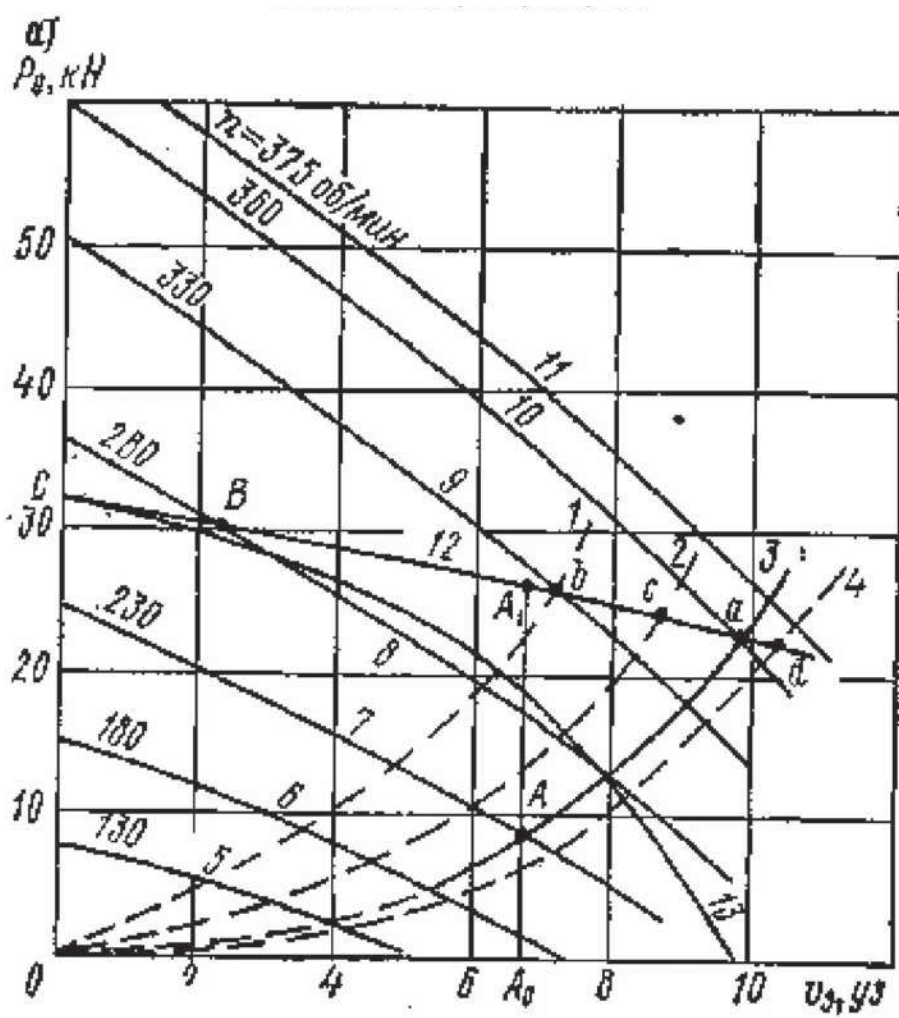


Рисунок А1 – Паспортная диаграмма

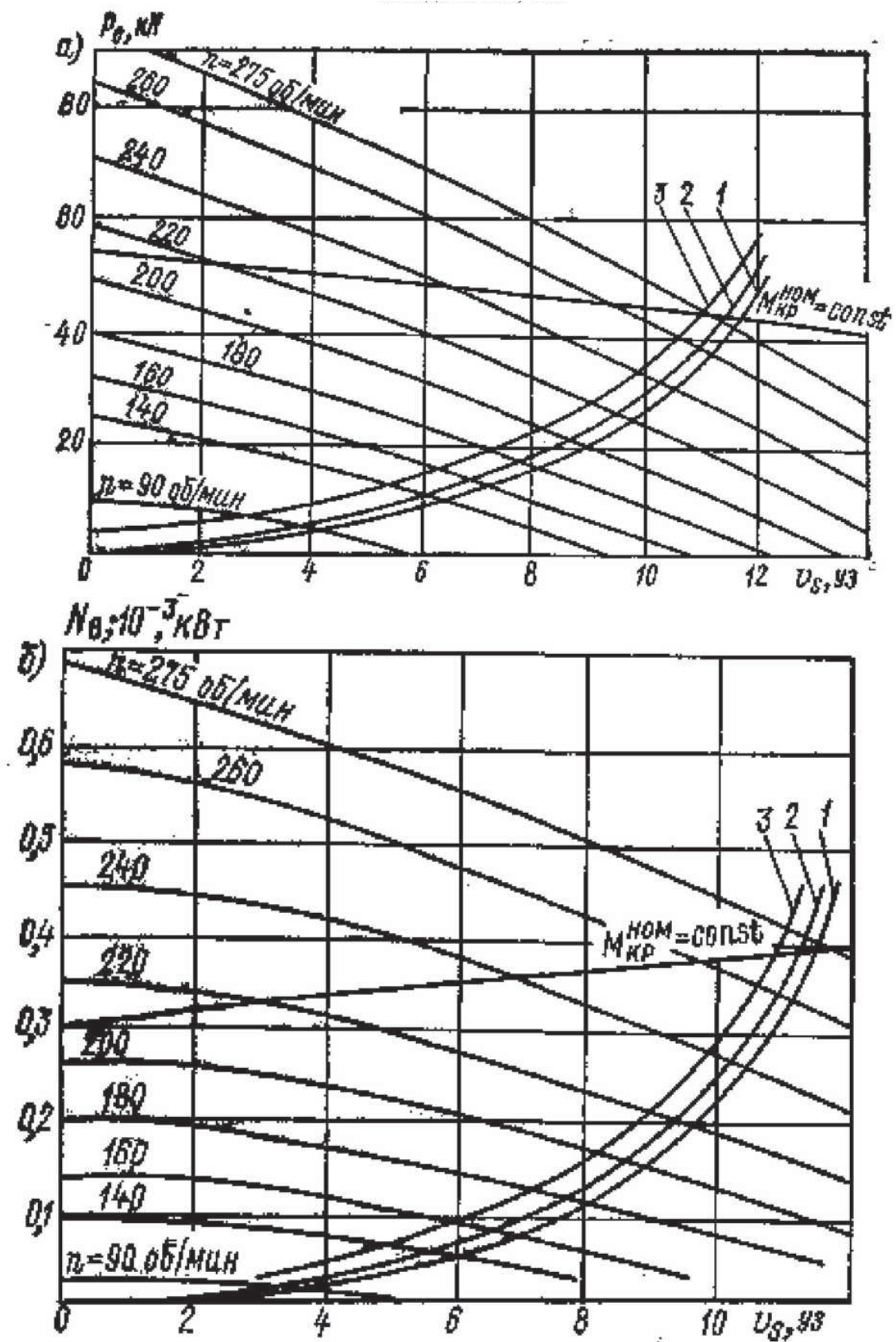


Рисунок А2 – Паспортная диаграмма:

а – диаграмма полезной тяги; б – диаграмма мощности; 1 – в тихую погоду;
2 – при встречном ветре 3 балла; 3 – при встречном ветре 6 баллов

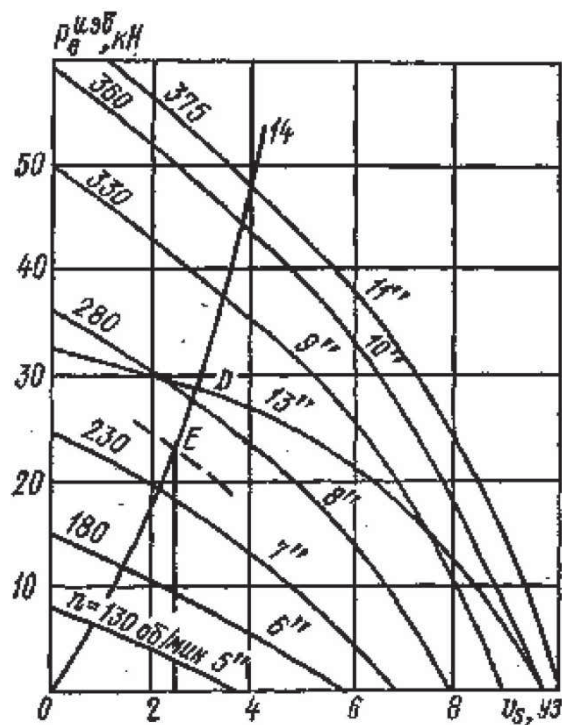


Рисунок А3 – Тяговые характеристики судна

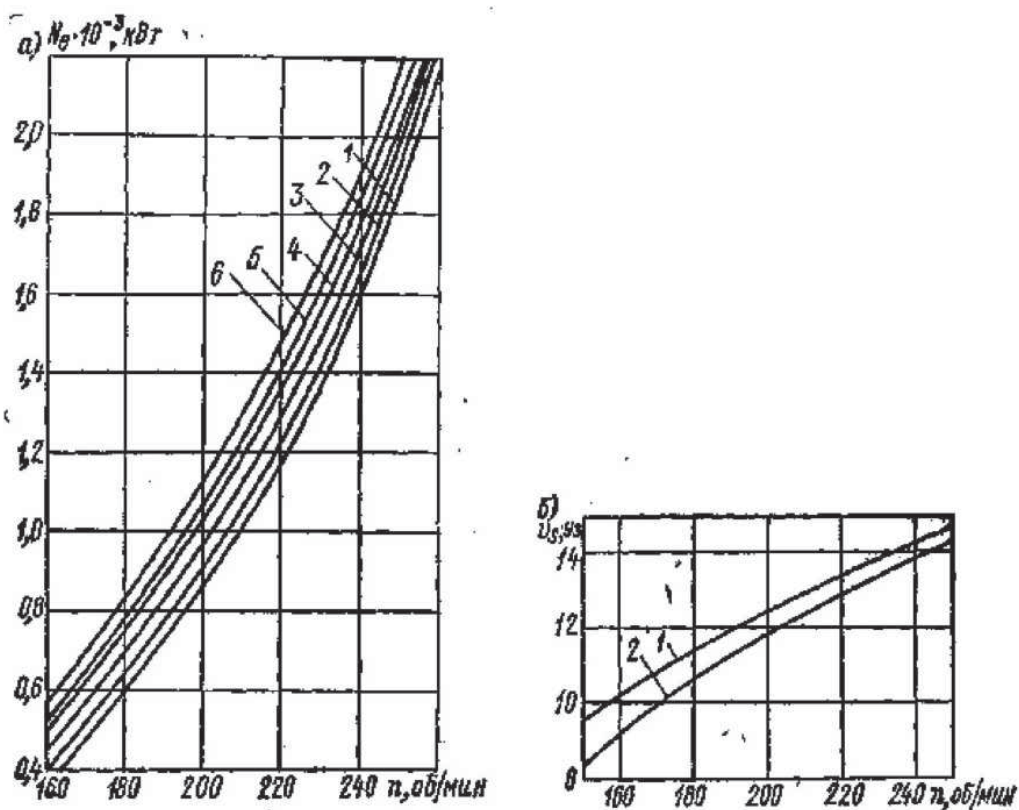


Рисунок А4 – Ходовые характеристики судна:

а – зависимость эффективной мощности ГД от частоты вращения гребного винта; б – зависимость скорости судна от частоты вращения гребного винта.

1, 2 – тихая вода; 3, 4 – ветер встречный 3...4 балла; 5, 6 – ветер встречный 7...8 баллов; $d_{ср1}=4,1$ м (кривые 1, 3, 5); $d_{ср2}=5,23$ м (кривые 2, 4, 6)

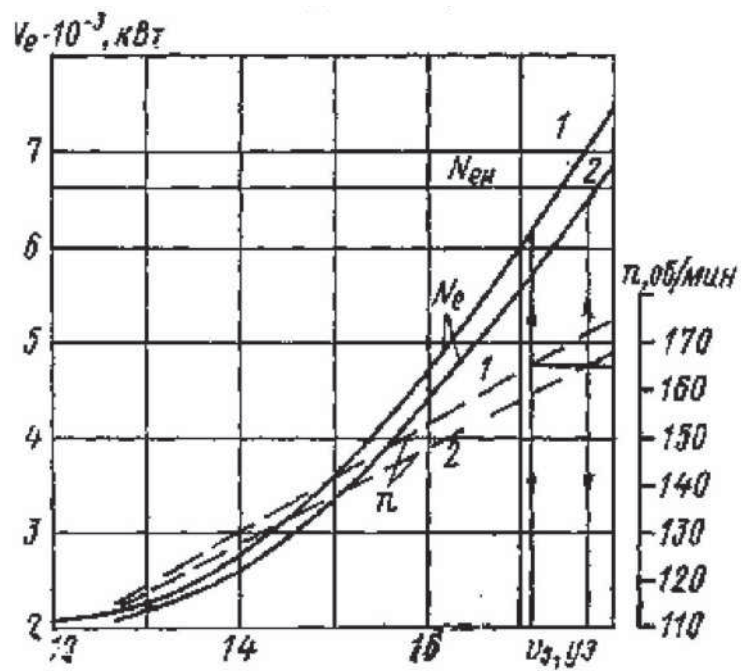


Рисунок А5 – Ходовые характеристики судна:
 1 – $d_{cp1} = 7,4$ м; $d_{cp2} = 6,1$ м

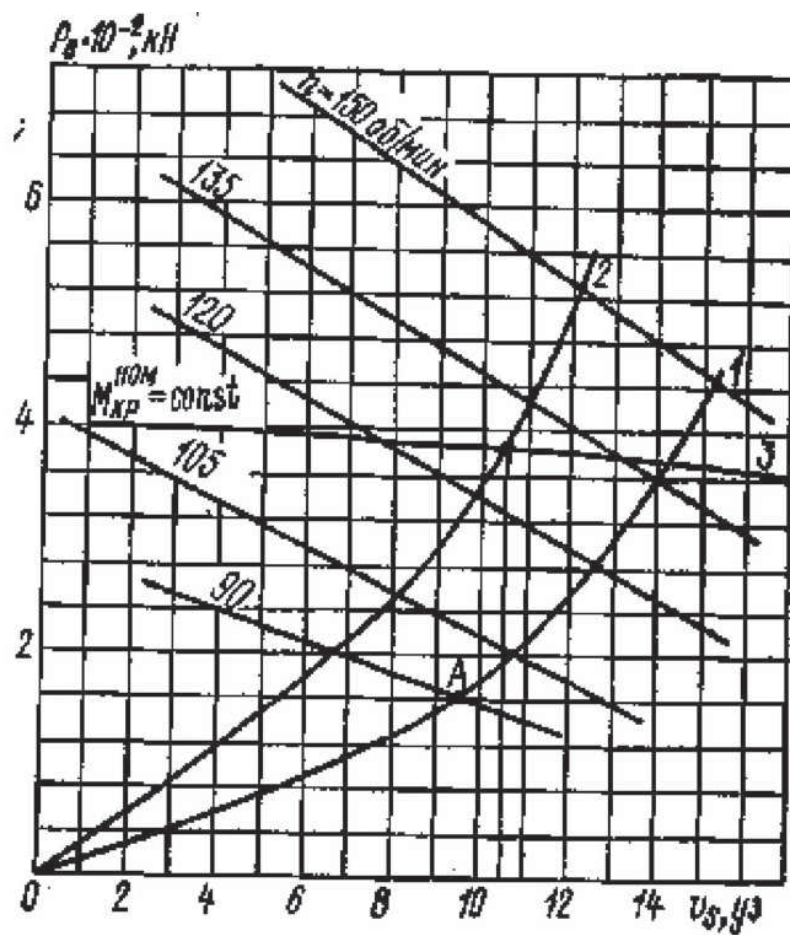


Рисунок А6 – Диаграмма полезной тяги

Приложение Б. Справочный материал для выполнения практической работы №2

Таблица Б.1 – Для эксплуатационных расчётов ходкости судна с ВРШ

№ Варианта	2.2.	2.9.	2.14.	2.15.	2.16.	2.17.		2.18.		2.32.	2.33	2.35.
	n	n	H/D	H/D	v_i	n	v_i	$\sum Ne$	H/D	$\sum Ne$	v_i	v_i
1	150	285	0,65	0,2	7	120	8	300	0,65	300	12	14
2	300	300	0,98	0,65	11	220	11	500	0,75	500	9	12
3	175	225	0,675	0,25	12	150	11,75	700	0,6	700	6	3
4	285	285	0,94	0,625	9	210	7,5	900	0,35	900	3	11
5	200	175	0,7	0,3	11,5	130	9	1100	0,55	1100	11	4
6	270	285	0,9	0,6	7	200	11,25	1300	0,3	1300	8	10
7	225	225	0,75	0,35	12	160	12	400	0,94	400	5	5
8	260	260	0,85	0,55	9	190	10	600	0,45	600	2	9
9	250	150	0,98	0,4	11,5	140	9	800	0,6	800	10	6
10	200	300	0,85	0,50	9	180	11,25	1000	0,85	1000	7	8
11	270	225	0,7	0,45	11	200	12	1200	0,98	1200	4	7
12	175	260	0,94	0,2	12	170	10	300	0,625	300	2	12
13	260	150	0,8	0,4	7	160	11,75	600	0,3	600	12	9
14	150	300	0,675	0,6	11,5	220	7	900	0,9	900	3	13
15	250	200	0,9	0,25	7	130	11	1200	0,75	1200	11	11
16	300	150	0,75	0,45	11	160	9	400	0,65	400	4	4
17	225	300	0,65	0,675	12	190	10	700	0,25	700	10	10
18	285	175	0,85	0,3	9	220	8	1000	0,7	1000	5	5
19	175	285	0,6	0,45	11,5	140	9	1300	0,45	1300	9	9
20	285	200	0,8	0,6	7	150	11	500	0,2	500	6	6
21	225	270	0,7	0,35	9	180	10	1300	0,98	1300	8	8
22	260	200	0,9	0,55	11,5	210	7	300	0,675	300	7	7
23	150	270	0,65	0,25	9	120	10	1100	0,25	1100	12	12
24	300	175	0,94	0,65	11	180	11,5	500	0,65	500	9	9
25	200	260	0,75	0,045	12	170	8	190	0,75	700	6	13

Продолжение табл. Б.1

№ Вари анта	2.2.	2.9.	2.14.	2.15.	2.16.	2.17.		2.18.		2.32.	2.33	2.35.
	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>H/D</i>	<i>H/D</i>	<i>v</i> ,	<i>n</i>	<i>v</i> ,	<i>n</i>	<i>H/D</i>	$\sum Ne$	<i>v</i> ,	<i>v</i> ,
26	200	225	0,940	0,400	11,5	190	12,00	170	0,850	1100	11	13
27	270	260	0,800	0,500	9,0	170	7,00	130	0,980	1300	8	9
28	175	250	0,675	0,450	11,0	160	11,75	200	0,625	400	5	6
29	260	200	0,900	0,200	12,0	180	8,00	140	0,300	600	2	8
30	150	270	0,750	0,400	7,0	210	11,50	160	0,900	800	10	7
31	250	175	0,650	0,600	11,5	160	9,00	120	0,750	1000	7	12
32	300	260	0,850	0,250	7,0	190	11,00	200	0,650	1200	4	9
33	225	150	0,650	0,450	11,0	220	10,00	150	0,250	300	2	6
34	285	250	0,850	0,675	12,0	150	7,00	130	0,940	600	12	12
35	300	300	0,600	0,300	11,0	180	10,00	140	0,700	1200	3	9
36	225	225	0,800	0,450	12,0	210	11,50	180	0,450	400	11	6
37	285	285	0,700	0,675	9,0	200	8,00	150	0,200	700	4	3
38	175	175	0,900	0,300	11,5	140	10,00	120	0,980	1000	10	14
39	285	285	0,650	0,450	7,0	170	11,00	210	0,675	1300	5	13
40	225	225	0,940	0,600	9,0	120	7,00	130	0,250	500	9	11
41	260	260	0,750	0,350	11,5	200	9,00	210	0,650	1300	6	8
42	150	150	0,650	0,550	9,0	150	11,25	190	0,750	300	8	5
43	300	300	0,980	0,250	11,0	190	12,00	170	0,650	1100	7	2
44	200	150	0,675	0,650	12,0	140	10,00	160	0,350	500	12	10
45	150	300	0,940	0,450	7,0	180	12,00	180	0,550	700	9	7
46	300	175	0,700	0,200	11,0	150	7,00	210	0,300	300	6	4
47	175	285	0,900	0,650	12,0	200	11,00	140	0,940	500	12	2
48	285	200	0,750	0,250	9,0	220	9,00	190	0,450	700	9	12
49	200	270	0,850	0,625	11,5	130	10,00	220	0,600	900	6	3
50	270	225	0,980	0,300	7,0	210	8,00,	150	0,900	1100	3	14

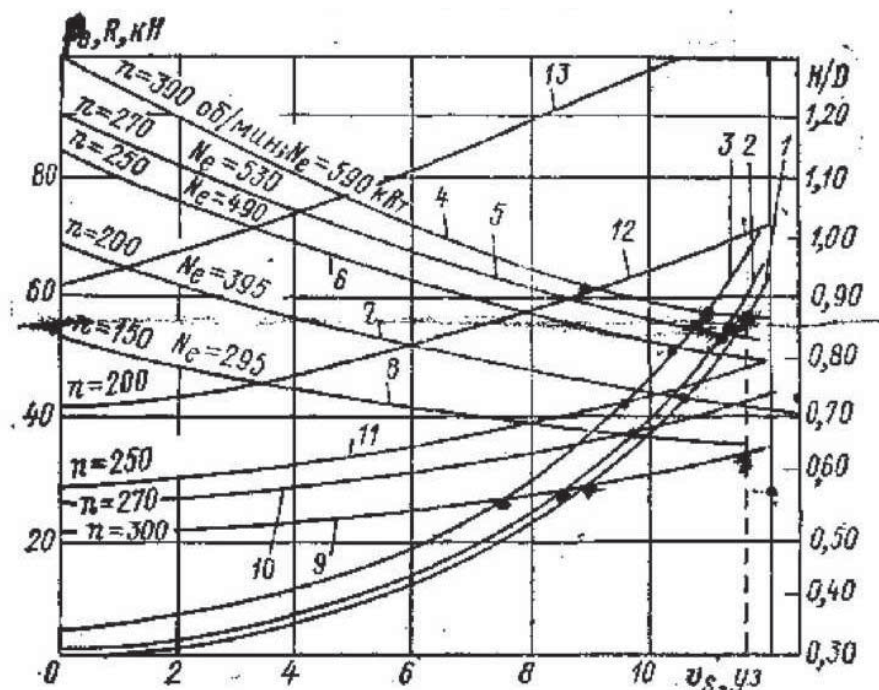


Рисунок Б.1 – Зависимости располагаемой тяги винта P_e и сопротивления движению корпуса R от скорости судна:
1 – в тихую погоду; 2 – при встречном ветре 3 бала; 3 – при встречном ветре 6 баллов

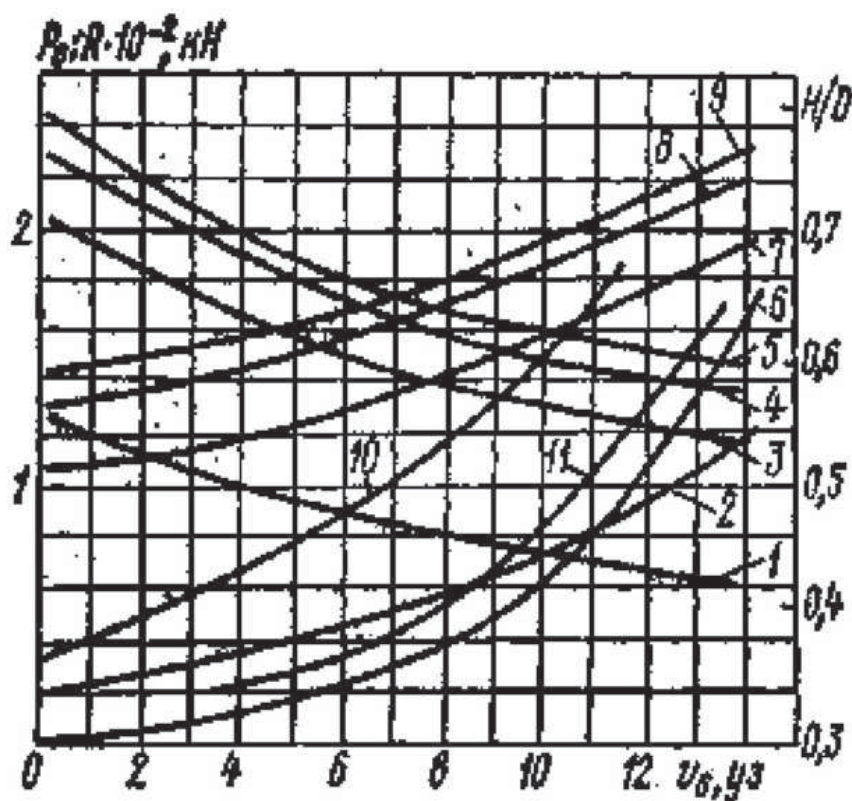


Рисунок Б.2 – Зависимости располагаемой тяги винта, шагового отношения винта и сопротивления движению корпуса от скорости судна при $n = 176 \text{ мин}^{-1} = \text{const}$
1, 3, 4, 5 – $P_e = f(v_s)$ соответственно при $N_e = 860 \text{ кВт}$ (один ГД), 1450 кВт (два ГД с отбором мощности на валогенератор), 1940 кВт (два ГД и валомотор); 6 – $R = f(v_s)$; 2, 7, 8, 9 – $H/D = f(v_s)$ соответственно при $N_e = 860, 1450, 1710, 1940 \text{ кВт}$; 10 – $R_{\lambda} = f(v_s)$; $R = f(v_s)$ на встречном волнении 5 баллов

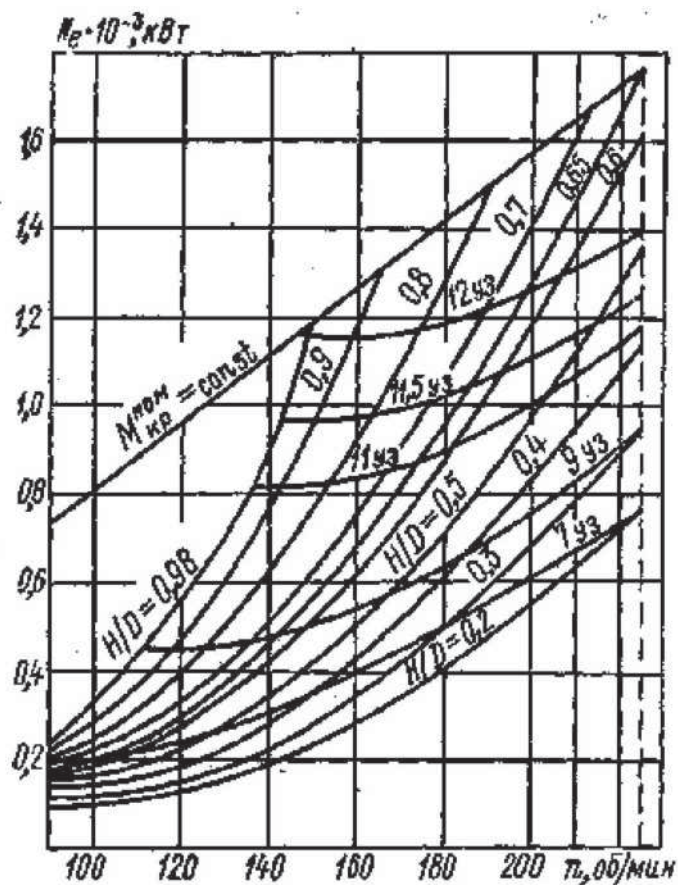


Рисунок Б.3 – Ходовые характеристики судна в координатах N_e - n ($M = 3620 \text{ т}$)

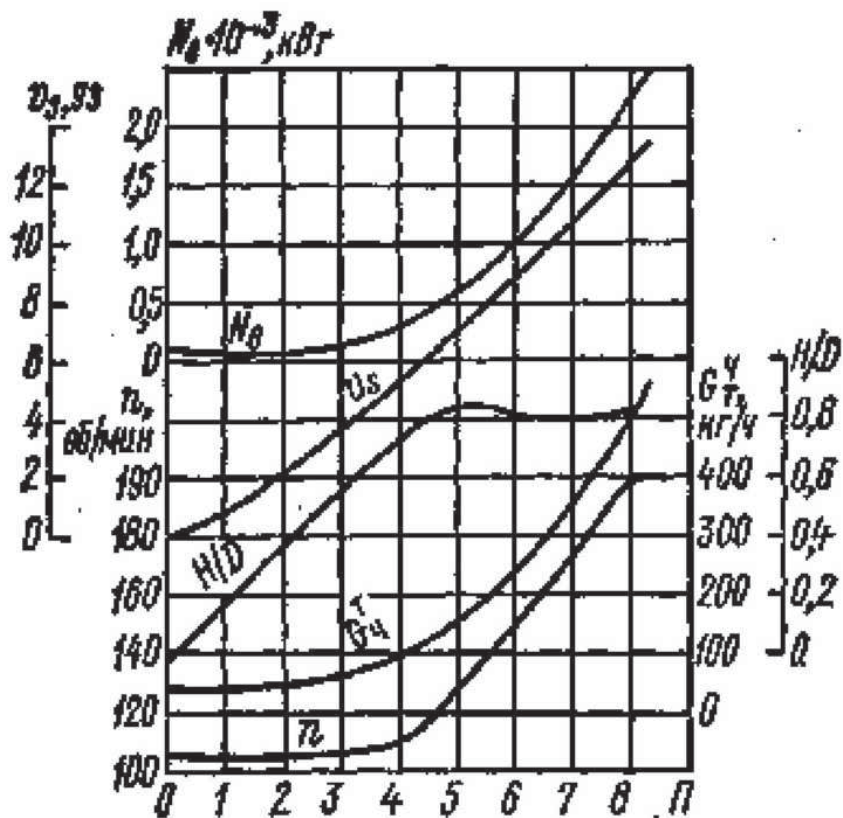


Рисунок Б.4 – Програмные характеристики совместной работы ВРШ и ГД судна при $d_{cp} = 5,4 \text{ м}$

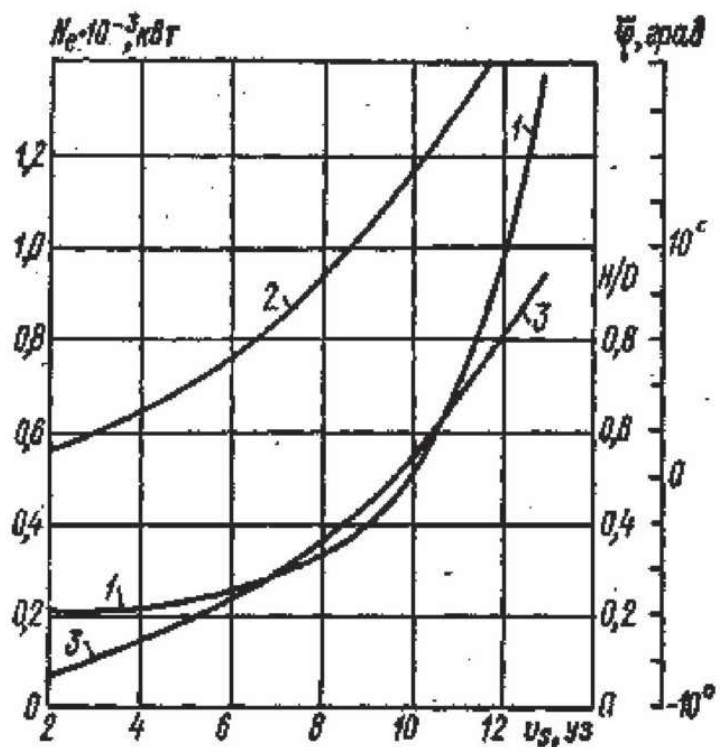


Рисунок Б.5 – Зависимость мощности установки (1), угла разворота лопастей (2) и шагового отношения ВРШ(3) от скорости свободного хода судна при постоянной номинальной частоте вращения винта

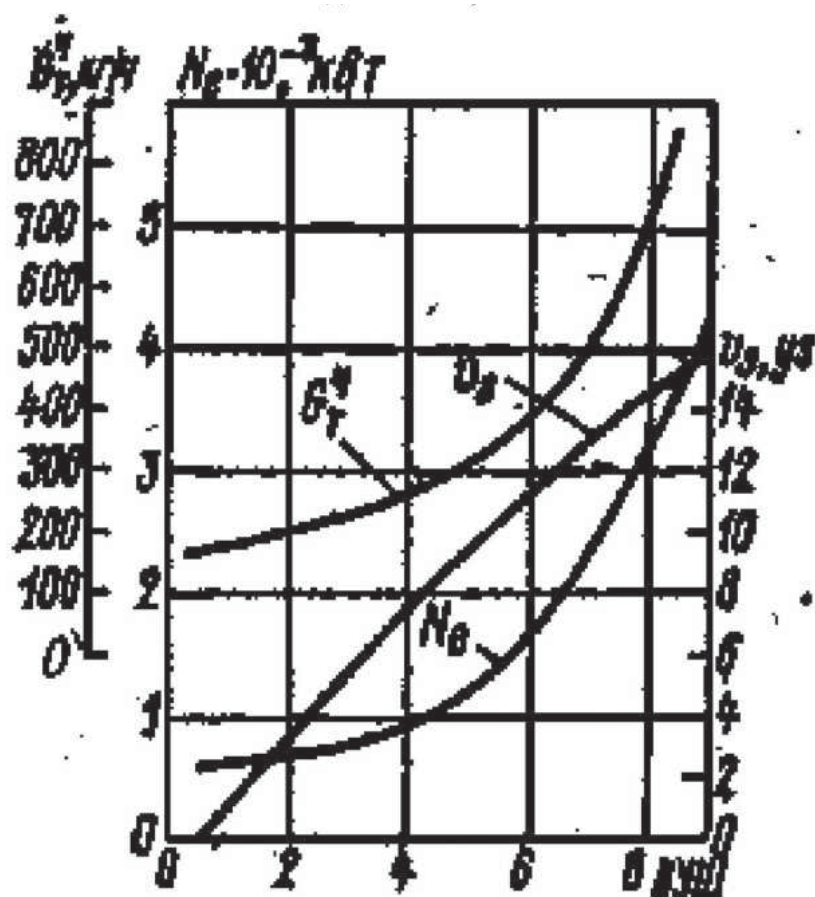


Рисунок Б.6 – Зависимости суммарной мощности ГД, расхода топлива и скорости свободного хода судна от положения лопастей ВРШ при $n = 250 \text{ мин}^{-1} = \text{const}$

Приложение В. Справочный материал для выполнения практической работы №3

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

Скоростные ограничительные характеристики системы наддува, продолжительность работы	\bar{n}													
	p_k МПа	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	<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	
	>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	<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	
	>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	
постоянное давление наддува														
Длительная работа	<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	
Кратковременная работа	>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	
	<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	
Кратковременная работа	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	
	>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	

Таблица В.2 – Варианты задания для выполнения работы

Вариант	Марка дизеля	Обозначение по ГОСТ 10150-88	Тип сист. надд.	$N_{\text{еном}},$ кВт	$n,$ мин^{-1}	$P_{\text{к}},$ МПа
1	8 74VTBF160	8ДКРН74/160	имп.	8800	115	0,12
2	8L60МС	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	0,20
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	0,10
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	0,20
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	0,20
20	6UEC60L	6ДКРН60/190	пост.	9260	110	0,2
21	8L60/МС	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