



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Калининградский государственный технический университет»

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

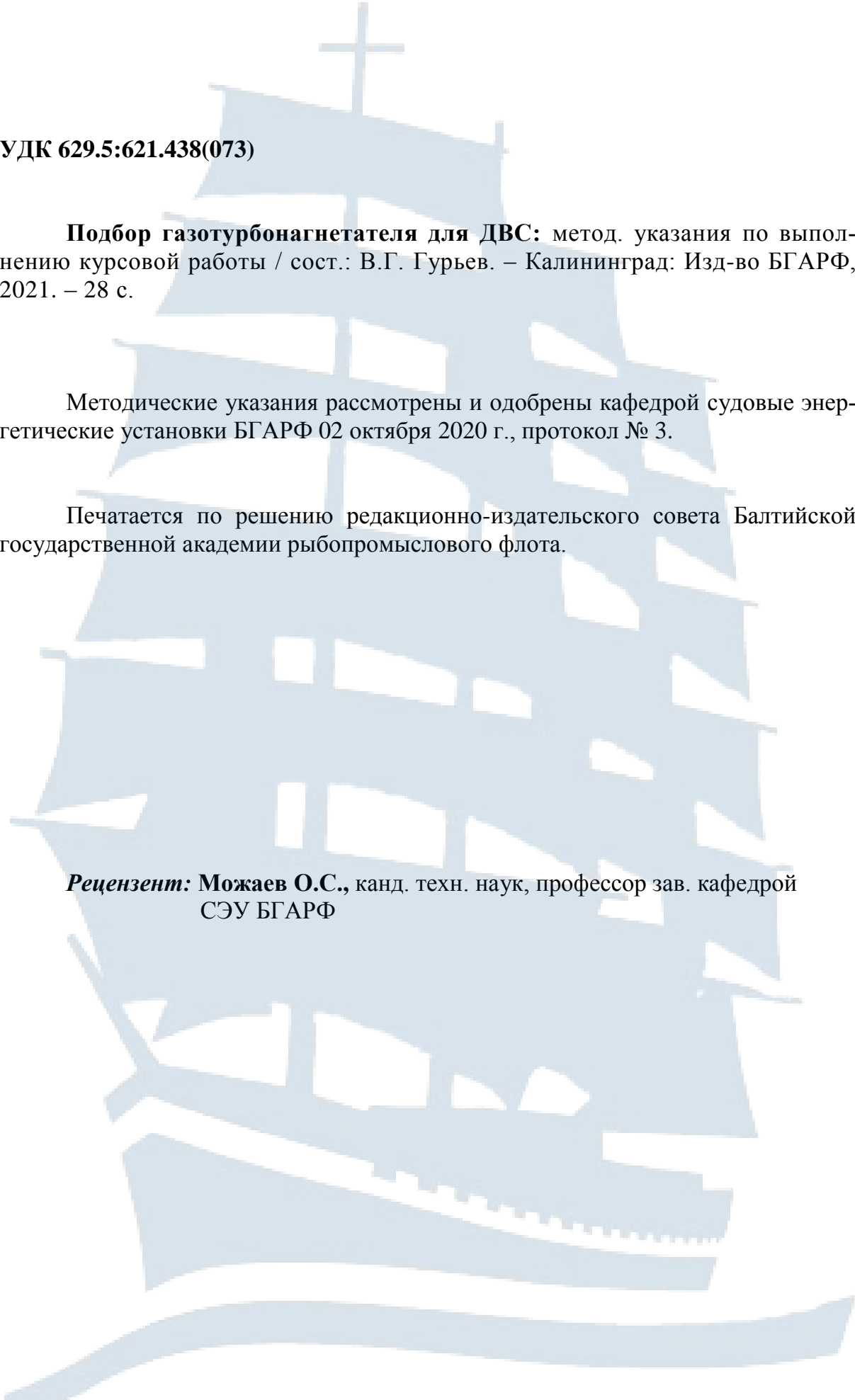
В.Г. Гурьев

ПОДБОР ГАЗОТУРБОАГНЕТАТЕЛЯ ДЛЯ ДВС

Методические указания
по выполнению курсовой работы
для курсантов специальности 26.05.06.
«Эксплуатация судовых энергетических установок»
всех форм обучения

Калининград
Издательство БГАРФ
2021

БГАРФ



УДК 629.5:621.438(073)

Подбор газотурбонагнетателя для ДВС: метод. указания по выполнению курсовой работы / сост.: В.Г. Гурьев. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2021. – 28 с.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой судовые энергетические установки БГАРФ 02 октября 2020 г., протокол № 3.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

Рецензент: **Можаев О.С.**, канд. техн. наук, профессор зав. кафедрой СЭУ БГАРФ

© БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021

БГАРФ

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	4
2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	4
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ (порядок написания пояснительной записки)	5
3.1. Анализ конструкции и эксплуатационных качеств двигателя – прототипа.....	5
3.2. Выбор типа ГТНА	6
3.3. Анализ конструкции и эксплуатационных качеств типового ГТНА	7
3.4. Эксплуатация ГТНА.....	7
3.5. Техническое обслуживание ГТНА	7
3.6. Исходные данные для расчета рабочего процесса.....	8
3.7. Влияние эксплуатационных и внешних факторов на совместную работу ГТНА и дизеля.....	8
3.8. Упрощенный расчет основных характеристик ГТНА и системы безразборной очистки.....	9
4. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	18
Приложение 1	19
Приложение 2.....	20
Приложение 3.....	21
Приложение 4.....	24
Приложение 5.....	24
Приложение 6.....	26

1. ВВЕДЕНИЕ

Особенностью флота рыбной промышленности, да и в целом транспортных судов, является преимущественное применение дизелей в качестве главных и вспомогательных двигателей. Современные ДВС имеют газотурбинный наддув. Поэтому в курсовой работе по дисциплине «Судовые турбомашинны» целесообразно рассматривать вопросы, относящиеся к газотурбинным наддувочным агрегатам (ГТНА) судовых дизелей.

В соответствии с требованиями международной конвенции ПДНВ-78 (с поправками), а также национальных руководящих документов каждый инженер-механик с целью успешной эксплуатации судовых дизелей обязан знать теорию и конструкцию ДВС, средства и методы оценки надежности и технического состояния турбонаддувочных агрегатов, причины износа и загрязнения элементов ГТНА.

Курсовая работа является заключительным этапом изучения курса «Судовые турбомашинны». При его выполнении теоретические положения изучаемой дисциплины получают практическое применение, позволяющее курсантам:

- закрепить знания, приобретенные при изучении дисциплины;
- углубить знания по устройству, конструктивным особенностям и эксплуатации ГТНА;
- приобрести навыки в применении технической и справочной литературы, методов и средств вычислений;
- получить опыт составления отчетной технической документации, обосновывающей принятые технические решения;
- подготовиться к дипломному проектированию.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовой проект включает расчетно-пояснительную записку и графическую часть.

Расчетно-пояснительная записка может быть оформлена от руки, набрана на компьютере и напечатана. Текст должен быть кратким, сопровождаться необходимыми рисунками, схемами, графиками, ссылками на литературу, приложениями, содержать оглавление и список литературы.

Расчетно-пояснительная записка включает:

- титульный лист (Приложение 1);
- задание на работу (Приложение 2);
- оглавление;
- список условных обозначений, регулярно встречающихся в записке;
- краткое описание схемы, принципа действия, основных технико-экономических характеристик выбранного типа двигателя-прототипа и выбранного к нему турбокомпрессора, области его применения и периодических осмотров и ремонтов;
- анализ влияния эксплуатационных и внешних факторов на совместную работу дизеля и турбокомпрессора;
- упрощенный расчет основных технических характеристик ГТНА для выбранного ДВС и системы безразборной очистки компрессора и турбины.

Графическая часть курсовой работы выполняется на листе формата А-3 и включает в себя:

- схему турбокомпрессора;
- устройство для безразборной очистки компрессора и турбины (раздельно).

Пояснительная записка и графическая часть оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД, и подразделяются на части в соответствии с пунктами задания [14].

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ (порядок написания пояснительной записки)

3.1. Анализ конструкции и эксплуатационных качеств двигателя-прототипа

При выполнении этого раздела курсант должен ознакомиться с рекомендованной литературой, собрать и проанализировать имеющиеся данные о двигателе-прототипе. Двигатель выбирается исходя из заданной в варианте тактности и мощности.

В частности, следует обратить внимание на следующие характеристики:

- мощность ДВС;
- количество цилиндров;

- диаметр цилиндра;
- ход поршня;
- обороты ДВС;
- удельный расход топлива.

Желательно приложить общий вид выбранного двигателя прототипа.

3.2. Выбор типа ГТНА

Выбор турбокомпрессора выполняется по исходным параметрам дизеля по варианту задания (Приложение 3).

1. Рассчитываем суммарный массовый расход воздуха турбокомпрессором:

$$G_k = \frac{(b_e \cdot N_e \cdot \alpha_1 \cdot \varphi_a)}{3600}, \text{ (кг/сек),}$$

где $\alpha_1 = \alpha \cdot L_0$;

b_e – удельный расход топлива в дизеле, кг/кВт. ч;

N_e – мощность дизеля, кВт;

α_1 – воздушно-топливное отношение при сгорании;

φ_a – коэффициент продувки;

α – коэффициент избытка воздуха при сгорании;

L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания топлива, кг воздуха/кг топлива (14,35 кг/кг).

2. Переводим массовый в объемный расход воздуха турбокомпрессором:

$$Q_v = G_k \cdot 0,834, \text{ (м}^3\text{/сек).}$$

3. Рассчитываем степень повышения давления в компрессоре:

$$\pi_k = P_k / P_o,$$

где P_k – давление воздуха за компрессором (колонка 7 в таблице Приложения 3, перевести в Па);

P_o – давление перед компрессором $P_o = P_a - \Delta P_{вх}$;

P_a – давление атмосферного воздуха (колонка 9 в таблице Приложения 3, Па);

$\Delta P_{вх}$ – потери давления в воздушном фильтре компрессора (колонка 11 в таблице Приложения 3, Па);

4. По кривым отношения степени повышения давления π_k к объемному расходу воздуха турбокомпрессором Q_v находим типовой турбокомпрессор (Приложение 6).

3.3. Анализ конструкции и эксплуатационных качеств типового ГТНА

а) тип ГТНА и его параметры:

- частота вращения ротора ГТНА;
- степень повышения давления в компрессоре;
- максимальная допустимая температура газа на входе в ГТНА;
- средний диаметр турбинной ступени;
- наружный диаметр колеса компрессора;
- масса и габаритные размеры ГТНА;
- ресурсные показатели;
- маркировка по ГОСТу;

б) конструктивные особенности узлов и систем:

- корпуса ГТНА;
- ротора;
- подшипников;
- крепления лопаток турбины к колесу;
- системы охлаждения ротора;
- системы охлаждения корпуса;
- системы масляного охлаждения;

в) применяемые сорта масла;

г) требования к качеству охлаждаемой воды;

д) материал основных узлов и деталей.

Описание конструктивных особенностей выполняется в сжатой форме.

3.4. Эксплуатация ГТНА

Используя предложенную литературу, практические работы, проводимые на лабораторной установке с двигателем типа 6ЧН18/22, на лабораторных работах по дисциплине «Судовые турбомашин» описать типовые правила подготовки, запуска и эксплуатации ГТНА [1; 2; 13].

3.5. Техническое обслуживание ГТНА

Описать, используя предложенную литературу и материал лекционных и практических занятий, периодические осмотры и ремонты ГТНА [1; 2; 13].

3.6. Исходные данные для расчета рабочего процесса

В качестве исходных данных (задание на КР, Приложение 2) задаются тип и мощность двигателя, на котором установлен газотурбинный наддувочный агрегат, удельный расход топлива, воздушно-топливное отношение при сгорании, коэффициент избытка продувочного воздуха, температура выпускных газов дизеля на входе в турбину, давление и температура окружающей среды, давление наддува, число сопловых и рабочих лопаток турбины и др.

Курсанты и студенты очной и заочной формы обучения определяют вариант исходных данных по двум последним цифрам шифра своей зачетной книжки (Приложение 3).

3.7. Влияние эксплуатационных и внешних факторов на совместную работу ГТНА и дизеля

Используя предложенную литературу, практические работы, проводимые на лабораторной установке с двигателем типа 6ЧН18/22 и в компьютерном классе по предложенной программе, описать причины, вызывающие ухудшение технического состояния ГТНА (уменьшение массы и давления воздуха, подаваемого в ДВС, нарушение процесса сгорания; увеличение удельного расхода топлива и тепловой напряженности и др.).

При этом необходимо учитывать внешние факторы, влияющие на работу ДВС: температура и давление окружающего воздуха; влажность воздуха; температура забортной воды; пыль, грязь и др.

В дальнейших расчетах необходимо учитывать степень технического состояния ГТНА по данным задания и указать это в пояснительной записке. Потери давления на входе в компрессоре (сопротивление воздушного фильтра) $\Delta P_{вх}$; потери давления между компрессором и цилиндрами двигателя (сопротивление воздухоохладителя) $\Delta P_{ох}$; потери давления за турбиной $\Delta P_{вых}$ и другие факторы.

Влияние приведенных выше факторов на совместную работу ДВС и ГТНА исследовано недостаточно. В настоящее время имеются только качественные зависимости. Отсутствуют аналитические зависимости, отражающие влияние системы приведенных факторов на характеристики работы ГТНА и ДВС. Поэтому данный раздел курсового проекта является научно-исследовательской работой, выполняемой экспериментальным или расчетным способом.

Эксперименты проводятся на лабораторной установке с двигателем типа 6ЧН18/22, расчеты – на ЭВМ по программе СЭУ ОДЗ.

Каждый курсант получает индивидуальное задание по исследованию влияния группы эксплуатационных факторов и после анализа литературных источников обосновывает способ решения поставленной задачи.

В пояснительной записке необходимо подробно изложить качественное влияние системы эксплуатационных и внешних факторов на работу ГТНА и ДВС, а затем – результаты расчетного (экспериментального) исследования [1; 7; 13].

3.8. Упрощенный расчет основных характеристик ГТНА и системы безразборной очистки

Многолетний опыт эксплуатации судовых дизелей с турбонаддувом свидетельствует о том, что в процессе их работы происходит неизбежное постепенное ухудшение технического состояния и характеристик турбокомпрессора (ТК). Основной причиной изменения характеристик ТК является занос (загрязнение) проточных частей турбины и компрессора, приводящий к снижению их КПД и изменению пропускной способности. В результате уменьшается расход воздуха на дизель, повышаются температура выпускных газов и удельный расход топлива. Таким образом, в процессе эксплуатации степень согласованности характеристик дизеля и ТК, достигнутая при расчете, проектировании и доводке, частично или полностью нарушается. Агрессивность химических соединений, входящих в состав отложений, снижает надежность элементов ТК.

Отложения на лопатках турбины подразделяются на зольные сухие отложения с относительно высокой шероховатостью толщиной 0,1-1,3 мм, сажистые мазеобразные отложения толщиной до 3 мм, твердые пористые отложения, образующиеся при работе дизелей на вязких сортах топлива или в результате выгорания сажистых мазеобразных отложений.

Химический анализ отложений, образующихся на лопатках турбины, показал, что наиболее легко удаляются зольные сухие отложения. Они смываются полностью при движении воды по поверхности лопаток. Сажистые мазеобразные отложения достаточно хорошо удаляются водой, при ударном воздействии капель, при условии, что его толщина не превышает 1 мм. Установлено, что промывка в зависимости от сорта топлива и гистограмм нагрузок должна выполняться через 80-150 часов работы.

Загрязнение проточной части компрессора происходит вследствие попадания частиц масла через уплотнения между колесом компрессора и подшипником и наличия мелкодисперсного аэрозоля в воздухе, поступающем после фильтра, наличия в воздухе паров топлива и масла.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что для удаления отложений толщиной 0,5 мм с поверхности лопаток компрессора требуется ударное воздействие жидкости под давлением 2,5 МПа. При этом отложения удаляются только с части поверхности. Поэтому, в отличие от турбины, безразборная очистка компрессора должна осуществляться под действием моющих средств, воздействие которых будет превышать силы сцепления отложений с поверхностью лопаток. В настоящее время на судах применяют воду, дизельное топливо, керосин, растворы поверхностно-активных веществ: АСС, «Чистра», «Синвал», МС, «Термос» и др. [1; 9; 13].

Таблица 1.1

Упрощенный расчет компрессора и системы промывки

Показатель	Расчетная формула	Пример расчета ТК	Примечание
1. Расчет воздуха через компрессор G_k , кг/с. Расход газа через турбину G_r , кг/с	$G_k = \frac{(b_e \cdot N_e \cdot \alpha_1 \cdot \varphi_a)}{3600};$ $G_r = G_k \cdot \left(1 + \frac{1}{(\alpha \cdot L_o)}\right)$	1,1 1,16	
2. Давление за воздухоохладителем P'_k , Па. ΔP_{ox} – потери давления в воздухоохладителе (между компрессором и цилиндрами двигателя)	$P'_k = P_k - \Delta P_{ox}$	197 000	Задано P_k ; ΔP_{ox}
3. Давление перед компрессором P_o , Па. ΔP_{vx} – потери давления на входе в компрессор	$P_o = P_a - \Delta P_{vx}$	99 000	Задано P_a ; ΔP_{vx}

Продолжение табл. 1.1

Показатель	Расчетная формула	Пример расчета ТК	Примечание
4. Степень повышения давления π_k	$\pi_k = \frac{P_k^1}{P_0}$	1,98	
5. Адиабатная работа компрессора H_k , Дж/кг	$H_k = 1005 \cdot T_a \cdot \Delta t'_k$ Проверка: $H_k = 1005 \cdot T_a \cdot (\pi_k^{0,285} - 1)$	61 867	$\Delta t'_k$ – в Приложении 5; T_a – задано
6. Коэффициент напора H_k^1	H_k^1 (с лопаточными диффузорами)	1,39	Приложение 4, в зависимости от D_k
7. Окружная скорость U_k (на диаметре D_k), м/с	$U_k = \sqrt{2 \cdot \frac{H_k}{H_k^1}}$	294	
8. Частота вращения ротора n , об/мин	$n = \frac{60 U_k}{\pi \cdot D_k}$	18 122	D_k – задано
9. Мощность привода компрессора на валу N_k , кВт	$N_k = G_k \cdot H_k \cdot \eta_k$		η_k – в Приложении 4, в зависимости от D_k (большие значения относятся к более мощным ДВС)
10. Коэффициент расхода компрессора C_m^1		0,2	Принимается 0,20-0,35
11. Скорость потока воздуха перед колесом C_1 , м/с	$C_1 = C_m^1 \cdot U_k$	58,8	
12. Скорость потока воздуха в колесе компрессора C_k , м/с	$C_k = (0,9 - 1,0) \cdot C_1$	52,9	
13. Температура воздуха после компрессора T_k , К	$T_k = T_a + 130$	415	
14. Плотность воздуха ρ_k , кг/м ³	$\rho_k = \frac{P_k^1}{(R \cdot T_k)}$	1,65	$R = 287$ Дж/кг К
15. Ширина колеса компрессора b_k , мм	$b_k = \frac{P_k^1 \cdot 10^3}{\pi \cdot D_k \cdot C_k \cdot \rho_k}$	12,9	D_k в метрах

Окончание табл. 1.1

Показатель	Расчетная формула	Пример расчета ТК	Примечание
16. Число лопаток колеса компрессора Z_k , шт		16	Принимается: $Z_k = 12-23$
17. Длина канала компрессора L_k , м	$L_k = (1 - 1,1) \cdot D_k$	0,31	L_k – принимается в зависимости от D_k
18. Параметры диффузора: – число лопаток Z_d , шт; – ширина b_d , мм		15 11,6	Принимается: $Z_d = 13-31$; $b_d = (0,9-1,0) \cdot b_k$
19. Площадь омываемой поверхности $F_{гр}$, м ²	$F_{гр} = [(2 Z_k \cdot b_k) + (2 Z_d \cdot b_d)] \cdot L_k$	0,24	
20. Расход моющего состава T_1 , G_{T1} , кг/с	$G_{T1} = q_{T1} \cdot F_{гр}$	0,012	$q_{T1} = 0,05$ кг/с
21. Количество раствора, кг: $T_1 Q_{T1}$, $T_2 Q_{T2}$	$Q_{T1} = q'_{T1} \cdot F_{гр}$, $Q_{T2} = 2Q_{T1}$	0,108 0,216	$q'_{T1} = 0,45$ кг/м ²
22. Давление воздуха в емкости для моющего состава P_x , Па	$P_x = P_k$	200 000	
23. Скорость выхода моющего состава из форсунки C_ϕ , м/с	$C_\phi = \varphi_\phi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_k}{\rho \cdot T_1}}$	19,5	Принимается: $\varphi_\phi = 0,95-0,96$; $\rho_{T1} = 950$ кг/м ³
24. Суммарная площадь проходных сечений форсунки F_ϕ , мм ²	$F_\phi = \frac{(G_{T1} \cdot 10^6)}{C_\phi \cdot \rho_{T1}}$	0,64	
25. Количество отверстий в форсунке Z_ϕ		$Z_\phi = 6$	Принимается: $Z_\phi = 4-8$
26. Диаметр отверстий форсунки $d_{оф}$, мм	$d_{оф} = \sqrt{\frac{4 F_\phi \cdot \pi}{Z_\phi}}$	2	$\pi = 3,14$

Таблица 1.2

Упрощенный расчет турбины и алгоритм расчета системы промывки

Показатель	Расчетная формула	Пример для ТК	Примечание
1. Температура газа перед турбиной на режиме промывки T_T , К	Задано	873	
2. Скорость выхода газа из рабочих лопаток на режиме промывки w_2 , м/с		150	Принимается: $w_2 = 130-330$ (большие значения относятся к более мощным ДВС)
3. Температура газа на выходе из турбины T_{2T} , К; 3.1. Поправочный коэффициент $\eta_{\text{попр}}$ (см. рис.1 метод. указаний); 3.2. КПД турбины $\eta_T = \eta_i \cdot \eta_m$; 3.3. КПД турбины с учетом импульсивности $\eta_{\text{ти}} = \eta_T \cdot \eta_{\text{попр}}$; 3.4. Общий КПД турбокомпрессора $\eta_{\text{тк}} = \eta_k \cdot \eta_T$; 3.5. Адиабатная работа турбины H_T , Дж/кг $H_T = (G_k \cdot H_k) / (G_T \cdot \eta_{\text{ти}} \cdot \eta_m)$; 3.6. Адиабатный перепад температур $\Delta t = H_T / 1130$	$T_{2T} = T_T - (\Delta t \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{попр}})$	520,5	Принимается: $\eta_i = 0,8-0,9$; Принимается: $\eta_m = 0,92-0,98$; Принимается: $\eta_k = 0,7-0,84$ (большие значения относятся к более мощным ДВС)
4. Мощность турбины $N_T = G_T \cdot H_T \cdot \eta_{\text{ти}}$, кВт	$N_T = G_T \cdot H_T \cdot \eta_{\text{ти}}$	64,8	
Производится сравнение мощностей турбины и компрессора (N_T и N_k). В случае, когда $N_T > N_k$ на величину, превышающую 3 % необходимо отметить способы обеспечения баланса мощностей турбины и компрессора [2]			

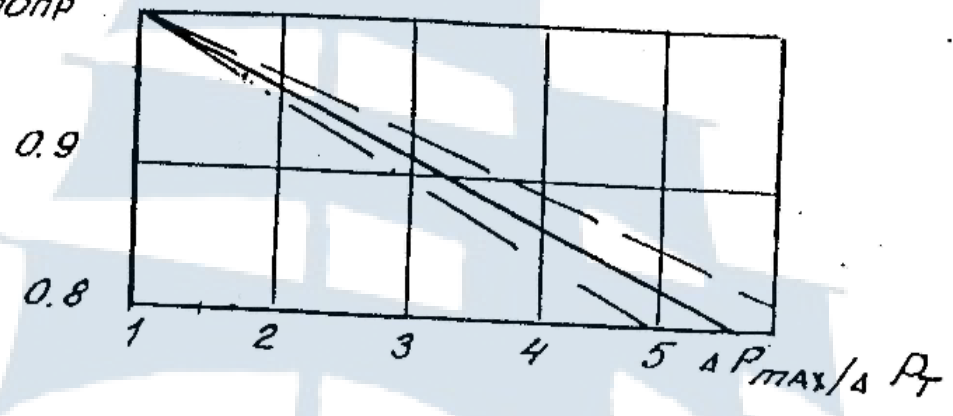
Показатель	Расчетная формула	Пример для ТК	Примечание
5. Температура поверхности рабочих лопаток, $T_{л}$, К	$T_{л} = \delta_{т} \cdot (T_{2т} + \frac{w_2^2}{2 \cdot C_{p2}^1})$	525	$\delta_{т} = 0,99$; $C_{p2}^1 = 1080$ Дж/кг К
6. Коэффициент теплопроводности, $\lambda_{т}$ Вт/м К	$\lambda_{т}$	0,044	[10] Принимается: 0,044
7. Коэффициент кинематической вязкости газа, ν_2 , м ² /с	ν_2	0,000033	[10] Принимается: 0,000033
8. Критерий Прандтля Pr	Pr	0,67	[10] Принимается: 0,67
9. Критерий Рейнольдса Re	$Re = w_2 \cdot \frac{L_2}{\nu_2}$	196 818	$L_2 = 0,0433$ м
10. Критерий Нуссельта Nu	$Nu = 0,037 \cdot Re \cdot 0,8 \cdot Pr \cdot 0,43$	535	
11. Коэффициент теплоотдачи от газа к лопатке $\alpha_{т}$, Вт/(м ² °С)	$\alpha_{т} = Nu \cdot \lambda_{т} / L_2$	543	
12. Площадь охлаждаемой рабочей лопатки F'_p , м ²	$F'_p = 2 b'_2 \cdot L_2$	0,002	$b'_2 = 0,0239$ м
13. Длину лопатки подбирают в соответствии с диаметром колеса турбины			
14. Длина лопатки $h_{л}$, мм	$h_{л} = (0,12-0,24) \cdot D_{т}$	37,5	$D_{т}$ – задано
15. Объем охлаждаемой лопатки V'_p , м ³	$V'_p = F'_p \cdot h_{л}$	0,000075	$h_{л}$ – в мм
16. Требуемой теплотъем с рабочих лопаток $Q_{т}$, Дж	$Q_{т} = C_{рл} \cdot V'_p \cdot (T_{л} - T'_1) \cdot Z_p \cdot \rho_{л}$	1 431 612	$\rho_{л} = 7800$ кг/м ³ ; $C_{рл} = 460$ Дж/кг К; $T'_1 = 373$ К; $Z_p = 35$
17. Средняя температура лопатки в процессе охлаждения, $T_{ср}$, К	$T_{ср} = \alpha'_{т} \cdot \frac{(T_{т} + T'_1)}{2}$	630	$\alpha'_{т} = 1,1$
18. Количество теплоты, передаваемой от газа лопаткам в процессе их охлаждения до 373 К $q_{г}$, Вт	$q_{г} = \alpha_{т} \cdot F'_p \cdot (T_{л} - T_{ср}) \cdot Z_p$		

Продолжение табл. 1.2

Показатель	Расчетная формула	Пример для ТК	Примечание
19. Коэффициент теплоотдачи от воды к газу α_w , Вт/(м ² К)	$\alpha_w = \alpha_T \cdot [(T_T - T_1) / (T_1 - T_w)]$		$T_w = 353 \text{ К}$
20. Количество теплоты, отбираемой водой в процессе охлаждения лопаток q_w , Вт	$q_w = Z_p \cdot F'_p \cdot (T_{cp} - T_w) \cdot X_B \cdot C_p$		$C_p = 4190 \text{ Дж/кг К};$ $X_B = 0,2$
21. Время, необходимое для охлаждения лопатки до 373 К τ_1 , с	$\tau_1 = Q_T / (q_w - q_r)$		
22. Время промывки τ_2 , с	Принимается	180	
23. Общее время промывки $\tau_{пр}$, с	$\tau_{пр} = \tau_1 + \tau_2$		
24. Площадь сопловой лопатки F'_c , м ²	$F'_c = 2b_1 \cdot L_1$		$L_1 = 0,0445 \text{ м};$ $b_1 = 0,049 \text{ м}$
25. Омываемая поверхность сопловых и рабочих лопаток F , м ²	$F = (F'_c \cdot Z_c) + (F'_p \cdot Z_p)$		$Z_c = 30$
26. Расход моющей жидкости G'_w , кг/с	$G'_w = G_{ж} \cdot F \cdot \delta'_{пл} \cdot \rho_w$		$\delta'_{пл} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м};$ $\rho_w = 972 \text{ кг/м}^3;$ $G_{ж} = 1,2 \text{ кг/с}$
27. Требуемое количество моющей жидкости, C_w кг	$C_w = G'_w \cdot \tau_{пр}$		
28. Давление газов за турбиной P_1 , Па	$P_1 = P_a + \Delta P_{вых}$		Задано $\Delta P_{вых}$; $\Delta P_{вых}$ – потери давления за турбиной
29. Относительный перепад температур $\Delta t'_T$	$\Delta t'_T = \Delta t / T_T$		Δt – формула в пп. 3.6
30. Давление газов перед турбиной P_T , Па	$P_T = P_1 \cdot \pi_T$		π_T находится в Приложении 5 по данным $\Delta t'_T$

Показатель	Расчетная формула	Пример для ТК	Примечание
31. Плотность газа перед турбиной ρ_T , кг/м ³	$\rho_T = P_T / (R \cdot T_T)$		R = 288 Дж/кг, К
32. Скорость течения газа перед турбиной \check{C}_T , м/с	$\check{C}_T = G_T / z_{пр} \cdot \rho_T \cdot F$		$z_{пр} = 0,2$
33. Диаметр канала $d_{кан}$, мкм	Принимается: (50-550)	200	
34. Требуемая скорость движения капли C_w , м/с	$C_w = \check{C}_T + [(16 \cdot (G'_w)^{1,5} - 4860) / d_{кан}]$		$d_{кан}$ в мкм
35. Коэффициент теплопроводности воды λ_w , Вт/(м ² °С)	λ_w	0,00668	[10] Принимается: 0,00668
36. Коэффициент кинематической вязкости ν_w , м ² /с	ν_w	0,000000365	[10] Принимается: 0,000000365
37. Коэффициент температуропроводности от газа к капле α_w , м ² /с	α_w	0,0000163	[10] Принимается: 0,0000163
38. Критерий Pr для капли Pr_w	Pr_w	2,23	[10] Принимается: 2,23
39. Критерий Re для капли Re_w	$Re_w = (C_w \cdot d_{кан}) / \nu_w$		$d_{кан}$ в метрах
40. Критерий Nu для капли Nu_w	$Nu_w = 0,66 \cdot Re_w^{0,5} \cdot Pr_w^{0,33}$		
41. Коэффициент теплоотдачи от капли к газу α'_w , Вт/(м ² °С)	$\alpha'_w = (Nu_w \cdot \lambda_w) / d_{кан}$		
42. Расхождение, %	$ \delta_{\alpha w} = (\alpha_w - \alpha'_w) / \alpha'_w \cdot 100$	При $\delta_{\alpha w} \leq 1$ % – переход к п. 43; При $\delta_{\alpha w} > 1$ % – возврат в п. 33	
43. Расстояние от соплового аппарата до места установки форсунки L_ϕ , м	$L_\phi = Y_\phi \cdot (d_{кан} \cdot 10^2 / T_T \cdot \check{C}_T)$	0,47	$d_{кан}$ в мкм $Y_\phi = 0,7$

а) $\eta_{\text{попр}}$



б) $\Delta P_{\text{max}} / \Delta P_T$

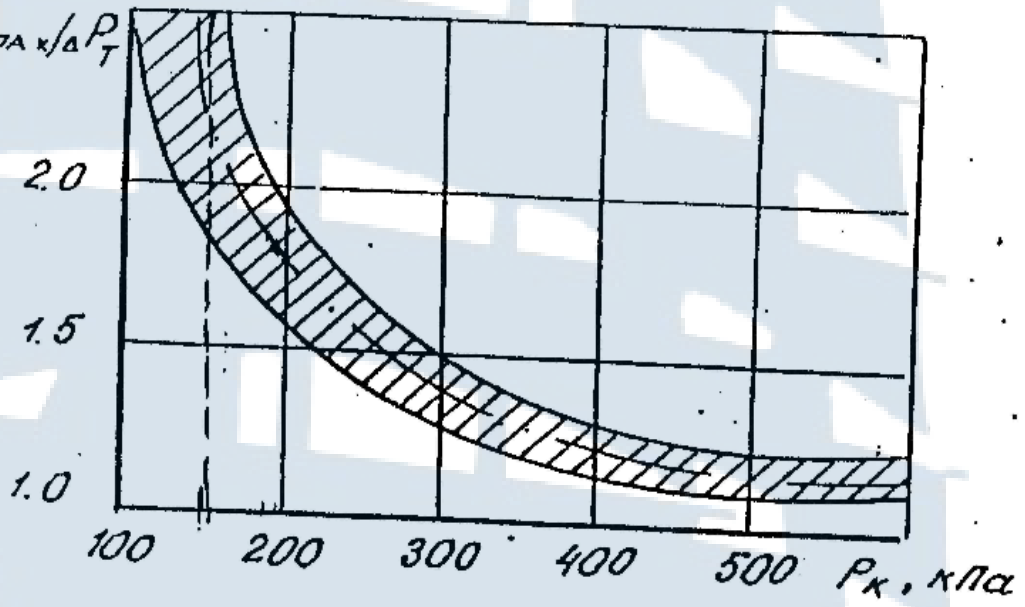


Рис. 1. Зависимости поправочного КПД от давления наддува:

а) $\eta_{\text{попр}}$, импульсной турбины от отношения $\Delta P_{\text{max}} / \Delta P_T$;

б) отношения $\Delta P_{\text{max}} / \Delta P_T$ от P_K ;

- _____ — без учета протекания газа;
- _____ — с учетом протекания при выпуске газа из трех и
- _____ — из двух цилиндров в один трубопровод

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев В.Г. Газотурбинный наддув ДВС: учебное пособие. – Калининград: БГАРФ, 2007. – 97 с.
2. Гурьев В.Г. Турбокомпрессоры газотурбинного наддува ДВС: учебное пособие. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – 104 с.
3. Курзон А.Г. Теория судовых паровых и газовых турбин. – Л.: Судостроение, 1971. – 389 с.
4. Турбокомпрессоры для наддува дизелей. Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1975. – 199 с.
5. Дизели. Справочник. –Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
6. Межеричкий А.Д. Турбокомпрессоры систем наддува судовых дизелей. – Л.: Судостроение, 1986. – 247 с.
7. Возницкий И.В. Техническая эксплуатация двигателей промысловых судов. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 367 с.
8. Инструкция по эксплуатации турбокомпрессора.
9. Семенюк А.В., Андреев А.К., Семенюк Л.А. Эксплуатационные загрязнения газотурбонагнетателей ДВС и способы их очистки. Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского. – Владивосток, 2008. – 31 с.
10. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973.
11. Журнал «Двигателестроение».
12. Атлас конструкций турбокомпрессора.
13. Конспекты лекций по дисциплине «Судовые турбомашинны».
14. Выпускная квалификационная работа: метод. указания по структуре и оформлению пояснительной записки и графической части для курсантов и студентов судомеханического факультета специальностей 26.05.06, 26.05.07, 16.03.03 всех форм обучения / В.Ф. Игушев, И.В. Безсмолова. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2020. – 47 с.

Приложение 1

Федеральное агентство по рыболовству
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
Судомеханический факультет
Кафедра: Судовые энергетические установки

Пояснительная записка к курсовой работе

На тему: Подбор газотурбонагнетателя для ДВС

Вариант № _____

Курсант _____
Группа _____
Зав. кафедрой _____
Руководитель работы _____

Калининград 20__ г.

БГАРФ

Приложение 2

Федеральное агентство по рыболовству
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
Судомеханический факультет
Кафедра: Судовые энергетические установки

ВАРИАНТ № _____
ЗАДАНИЕ на курсовое проектирование на тему:
Подбор газотурбонагнетателя для ДВС

курсанту группы _____

Ф.И.О. курсанта _____

1. Дата выдачи задания _____

2. Сроки сдачи курсантом отдельных частей и проекта в целом

Этап работы	Часть 1 § 3.1; 3.2; 3.3	Часть 2 § 3.4; 3.5	Часть 3 § 3.6; 3.7	Часть 4 § 3.8; заклучение	Защита КР
Срок сдачи					

Подобрать газотурбонагнетатель (ГТНА) ДВС по следующим данным:

1. Мощность ДВС, N_e кВт _____
2. Воздушно-топливное отношение при сгорании, $\alpha_i = \alpha L_0$ _____
3. Коэффициент избытка продувочного воздуха φ_a _____
4. Расход топлива, b_e кг/кВт час _____
5. Давление продувочного воздуха, P_k МПа _____
6. Температура газа перед турбиной, T_T °C _____
7. Коэффициент избытка воздуха при сгорании α _____
8. Параметры атмосферного воздуха: P_a _____ Па; T_a _____ К
9. Потери давления на входе в компрессор $\Delta P_{вх}$ _____ Па
10. Потери давления воздухоохладителя $\Delta P_{ох}$ _____ Па
11. Потери давления за турбиной $\Delta P_{вых}$ _____ Па
12. Наружный диаметр колеса компрессора D_k _____ мм
13. Средний диаметр турбинной ступени D_T _____ мм

СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. Краткое описание типового ДВС и выбранного турбокомпрессора.
2. Исследование влияния эксплуатационных и внешних факторов на совместную работу ГТНА и дизеля.
3. Расчет системы безразборной очистки ГТНА.
4. Выводы: обоснование подбора ГТНА для конкретного ДВС, описание безразборной очистки.

ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Система безразборной очистки ГТНА (1 лист А3).
2. Газотурбонагнетатель (1 лист общий вид А3).

Задание выдал _____

Задание получил _____

Приложение 3

Таблица

Варианты заданий

№ варианта	Тип ДВС (тактность)	Мощность ДВС, кВт № _e	Расход топлива, кг/кВт ч № _e	Коэффициент избытка воздуха при сторании α	Коэффициент избытка продувочного воздуха фа	Давление воздуха за компрессором, МПа P _к	Температура газов перед турбиной, °С T _г	Параметры атмосферного воздуха		Потери давления в воздушном фильтре компрессора, Па ΔP _{вх}	Потери давления в охлаждающем наддувочного воздуха, Па ΔP _{ох}	Потери давления газа за турбиной, Па ΔP _{вых}	Диаметр колеса компрессора, мм, ДК	Диаметр колеса турбины, мм, ДТ
								Pa	Ta					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
01	4 – такт	1 000	0,195	1,3	1,1	0,2	600	100 000	285	1 000	3 000	2 000	310	250
02	4 – такт	1 100	0,19	1,5	1,1	0,18	550	98 000	275	2 000	4 000	1 000	320	260
03	4 – такт	1 200	0,19	1,7	1,1	0,16	520	96 700	274	3 000	5 000	1 000	330	260
04	4 – такт	1 300	0,21	1,4	1,05	0,31	600	98 600	281	4 000	6 000	1 000	340	270
05	4 – такт	1 300	0,22	1,5	1,1	0,25	540	101 000	288	5 000	3 000	2 000	340	270
06	4 – такт	1 400	0,23	1,7	1,05	0,27	570	101 900	267	1 000	4 000	2 000	350	280
07	4 – такт	1 800	0,215	1,8	1,05	0,32	560	93 400	280	2 000	5 000	1 000	380	300
08	2 – такт	2 000	0,18	1,9	1,4	0,2	450	94 100	270	3 000	6 000	1 000	400	320
09	2 – такт	2 200	0,19	1,9	1,4	0,22	470	102 200	290	4 000	3 000	2 000	410	330
10	2 – такт	2 400	0,175	2	1,5	0,25	420	100 300	284	5 000	4 000	2 000	420	340
11	4 – такт	3 500	0,21	1,9	1,1	0,18	520	99 100	293	1 000	5 000	1 000	460	370
12	2 – такт	3 600	0,19	1,8	1,4	0,18	475	97 200	263	2 000	6 000	1 000	470	380
13	2 – такт	3 800	0,17	1,8	1,5	0,16	425	95 400	283	3 000	3 000	1 000	490	390

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	4 – такт	2 500	0,18	1,85	1,1	0,3	500	99 900	289	4 000	4 000	1 000	430	340
15	2 – такт	2 500	0,175	1,85	1,5	0,3	430	100 700	276	5 000	5 000	2 000	430	340
16	2 – такт	2 500	0,19	1,9	1,7	0,3	400	101 200	279	1 000	6 000	2 000	430	340
17	4 – такт	2 800	0,175	1,85	1,05	0,28	480	100 900	282	2 000	3 000	2 000	440	350
18	2 – такт	4 000	0,17	2	1,4	0,35	415	102 500	293	3 000	4 000	2 000	500	400
19	2 – такт	4 500	0,18	2	1,5	0,34	450	99 300	268	4 000	5 000	1 000	530	420
20	4 – такт	4 100	0,19	1,9	1,1	0,4	500	98 100	286	5 000	6 000	1 000	510	410
21	4 – такт	4 200	0,2	1,9	1,1	0,4	550	100 000	287	1 000	3 000	2 000	520	410
22	2 – такт	4 800	0,21	2	1,6	0,2	390	98 100	274	2 000	4 000	1 000	540	430
23	2 – такт	5 000	0,23	2	1,7	0,21	440	96 800	280	3 000	5 000	1 000	550	440
24	4 – такт	5 500	0,19	1,9	1,05	0,2	510	98 600	284	4 000	6 000	1 000	560	450
25	2 – такт	5 500	0,19	2	1,5	0,2	400	99 800	286	5 000	3 000	1 000	560	450
26	4 – такт	5 800	0,205	1,8	1,05	0,24	540	100 500	282	1 000	4 000	2 000	570	460
27	2 – такт	5 800	0,21	1,95	1,5	0,24	460	94 300	275	2 000	5 000	1 000	570	460
28	4 – такт	6 500	0,19	1,8	1,1	0,26	510	95 500	280	3 000	6 000	1 000	600	480
29	2 – такт	6 500	0,18	2	1,5	0,26	390	97 000	284	4 000	3 000	1 000	600	480
30	4 – такт	1 000	0,195	1,3	1,1	0,2	600	98 100	278	2 000	5 000	1 000	310	250
31	4 – такт	1 100	0,19	1,5	1,1	0,18	550	94 200	294	3 000	6 000	1 000	320	260
32	4 – такт	1 200	0,19	1,7	1,1	0,16	520	95 400	287	4 000	3 000	1 000	330	260
33	4 – такт	1 300	0,21	1,4	1,05	0,31	600	93 200	282	5 000	4 000	1 000	340	270
34	4 – такт	1 300	0,22	1,5	1,1	0,25	540	98 200	293	1 000	5 000	1 000	340	270
35	4 – такт	1 400	0,23	1,7	1,05	0,27	570	97 500	288	2 000	6 000	1 000	350	280
36	4 – такт	1 800	0,215	1,8	1,05	0,32	560	95 600	284	3 000	3 000	1 000	380	300
37	2 – такт	2 000	0,18	1,9	1,4	0,2	450	96 200	294	4 000	5 000	1 000	400	320
38	2 – такт	2 200	0,19	1,9	1,4	0,22	470	94 600	292	1 000	3 000	1 000	410	330
39	2 – такт	2 400	0,175	2	1,5	0,25	420	101 000	296	2 000	4 000	2 000	420	340
40	4 – такт	3 500	0,21	1,9	1,1	0,18	520	100 500	289	3 000	5 000	2 000	460	370
41	2 – такт	3 600	0,19	1,8	1,4	0,18	475	101 000	288	4 000	6 000	2 000	470	380

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
42	2 – такт	3 800	0,17	1,8	1,5	0,16	425	101 800	286	5 000	3 000	2 000	490	390
43	4 – такт	2 500	0,18	1,85	1,1	0,3	500	99 600	284	1 000	4 000	1 000	430	340
44	2 – такт	15 000	0,23	2	1,7	0,21	440	96 800	280	3 000	5 000	1 000	550	440
45	2 – такт	9 500	0,19	1,9	1,05	0,2	510	98 600	284	4 000	6 000	1 000	560	450
46	2 – такт	10 500	0,19	2	1,5	0,2	400	99 800	286	5 000	3 000	1 000	560	450
47	2 – такт	9 800	0,205	1,8	1,05	0,24	540	100 500	282	1 000	4 000	2 000	570	460
48	2 – такт	15 800	0,21	1,95	1,5	0,24	460	94 300	275	2 000	5 000	1 000	570	460
49	2 – такт	10 500	0,19	1,8	1,1	0,26	510	95 500	280	3 000	6 000	1 000	600	480
50	2 – такт	11 500	0,18	2	1,5	0,26	390	97 000	284	4 000	3 000	1 000	600	480
51	2 – такт	14 100	0,19	1,9	1,1	0,4	500	98 100	286	5 000	6 000	1 000	510	410
52	4 – такт	10 200	0,2	1,9	1,1	0,4	550	100 000	287	1 000	3 000	2 000	520	410
53	4 – такт	9 800	0,21	2	1,6	0,2	390	98 100	274	2 000	4 000	1 000	540	430
54	4 – такт	8 800	0,175	1,85	1,05	0,28	480	100 900	282	2 000	3 000	2 000	440	350

Приложение 4

Средние значения η_k и N_k^1 компрессоров ТК

D_k .мм	Безлопаточный диффузор		Лопаточный диффузор	
	η_k	N_k^1	η_k	N_k^1
85-110	0,68-0,72	1,18-1,25	0,72-0,76	1,25-1,3
120-180	0,72-0,75	1,22-1,28	0,75-0,8	1,3-1,35
190-380	0,74-0,77	1,25-1,32	0,77-0,83	1,35-1,42
390-640	0,75-0,78	1,3-1,35	0,78-0,84	1,38-1,45

Приложение 5

Таблица

Вспомогательная таблица для расчета характеристик компрессора и турбины

$\Delta t'_k = \pi_k^{k-1/k} - 1$ и $\Delta t'_T = 1 - 1/(\pi_T^{k-1/k} - 1)$							
π_T, π_k	Показатель изоэнтропы			π_k, π_T	Показатель изоэнтропы		
	$K = 1,4$		$K = 1,33$		$K = 1,4$		$K = 1,33$
	для воздуха		для газа		для воздуха		для газа
	$\Delta t'_k$	$\Delta t'_T$	$\Delta t'_T$		$\Delta t'_k$	$\Delta t'_T$	$\Delta t'_T$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,000	0,00000	0,0000	1,92	0,205	0,17	0,1525
1,02	0,006	0,00564	0,005	1,94	0,208	0,1725	0,1547
1,04	0,011	0,01116	0,01	1,96	0,212	0,1749	0,1572
1,06	0,017	0,0165	0,0145	1,98	0,216	0,1773	0,1595
1,08	0,022	0,02175	0,0205	2	0,219	0,1797	0,1606
1,1	0,028	0,02686	0,024	2,05	0,227	0,185	0,166
1,12	0,033	0,03186	0,0282	2,1	0,236	0,191	0,172
1,14	0,038	0,03675	0,0327	2,15	0,245	0,196	0,177
1,16	0,043	0,04152	0,037	2,2	0,252	0,202	0,182
1,18	0,048	0,04619	0,0411	2,25	0,261	0,207	0,186
1,2	0,054	0,05075	0,0451	2,3	0,269	0,212	0,191
1,22	0,058	0,05562	0,049	2,35	0,276	0,217	0,195
1,24	0,063	0,0596	0,053	2,4	0,284	0,221	0,2
1,26	0,068	0,0639	0,057	2,45	0,292	0,226	0,204
1,28	0,073	0,0681	0,0607	2,5	0,299	0,23	0,207
1,3	0,078	0,0722	0,0645	2,55	0,306	0,235	0,211
1,32	0,083	0,0763	0,068	2,6	0,314	0,239	0,215

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
1,34	0,087	0,0802	0,0717	2,65	0,321	0,243	0,219
1,36	0,092	0,0841	0,0751	2,7	0,328	0,247	0,223
1,38	0,096	0,0879	0,0785	2,75	0,335	0,251	0,226
1,4	0,101	0,0917	0,0821	2,8	0,342	0,255	0,23
1,42	0,105	0,0953	0,0853	2,85	0,349	0,259	0,234
1,44	0,11	0,0989	0,0884	2,9	0,355	0,262	0,237
1,46	0,114	0,1025	0,0917	2,95	0,362	0,266	0,24
1,48	0,118	0,106	0,0949	3	0,369	0,269	0,243
1,5	0,123	0,1094	0,0979	3,1	0,382	0,276	0,249
1,52	0,127	0,1128	0,1009	3,2	0,395	0,283	0,256
1,54	0,131	0,1161	0,104	3,3	0,407	0,289	0,261
1,56	0,136	0,1193	0,1069	3,4	0,419	0,295	0,267
1,58	0,14	0,1225	0,1098	3,5	0,431	0,301	0,272
1,6	0,144	0,1257	0,1126	3,6	0,442	0,307	0,277
1,62	0,148	0,1288	0,1155	3,7	0,454	0,312	0,283
1,64	0,152	0,1318	0,1181	3,8	0,465	0,317	0,287
1,66	0,156	0,1348	0,121	3,9	0,476	0,323	0,292
1,68	0,16	0,1373	0,1234	4	0,487	0,328	0,297
1,7	0,164	0,1407	0,1262	4,1	0,497	0,332	0,301
1,72	0,168	0,1435	0,1286	4,2	0,508	0,337	0,305
1,74	0,172	0,1464	0,1315	4,3	0,518	0,341	0,309
1,76	0,176	0,1495	0,1338	4,4	0,528	0,346	0,313
1,78	0,179	0,1519	0,1361	4,5	0,538	0,35	0,317
1,8	0,183	0,1546	0,1385	4,6	0,547	0,354	0,321
1,82	0,187	0,1573	0,141	4,7	0,557	0,358	0,325
1,84	0,19	0,1699	0,1434	4,8	0,566	0,361	0,328
1,86	0,194	0,1625	0,1458	4,9	0,575	0,365	0,332
1,88	0,138	0,165	0,148	5,0	0,580	0,369	0,338
1,9	0,201	0,1676	0,1501	5,1	0,585	0,373	0,342

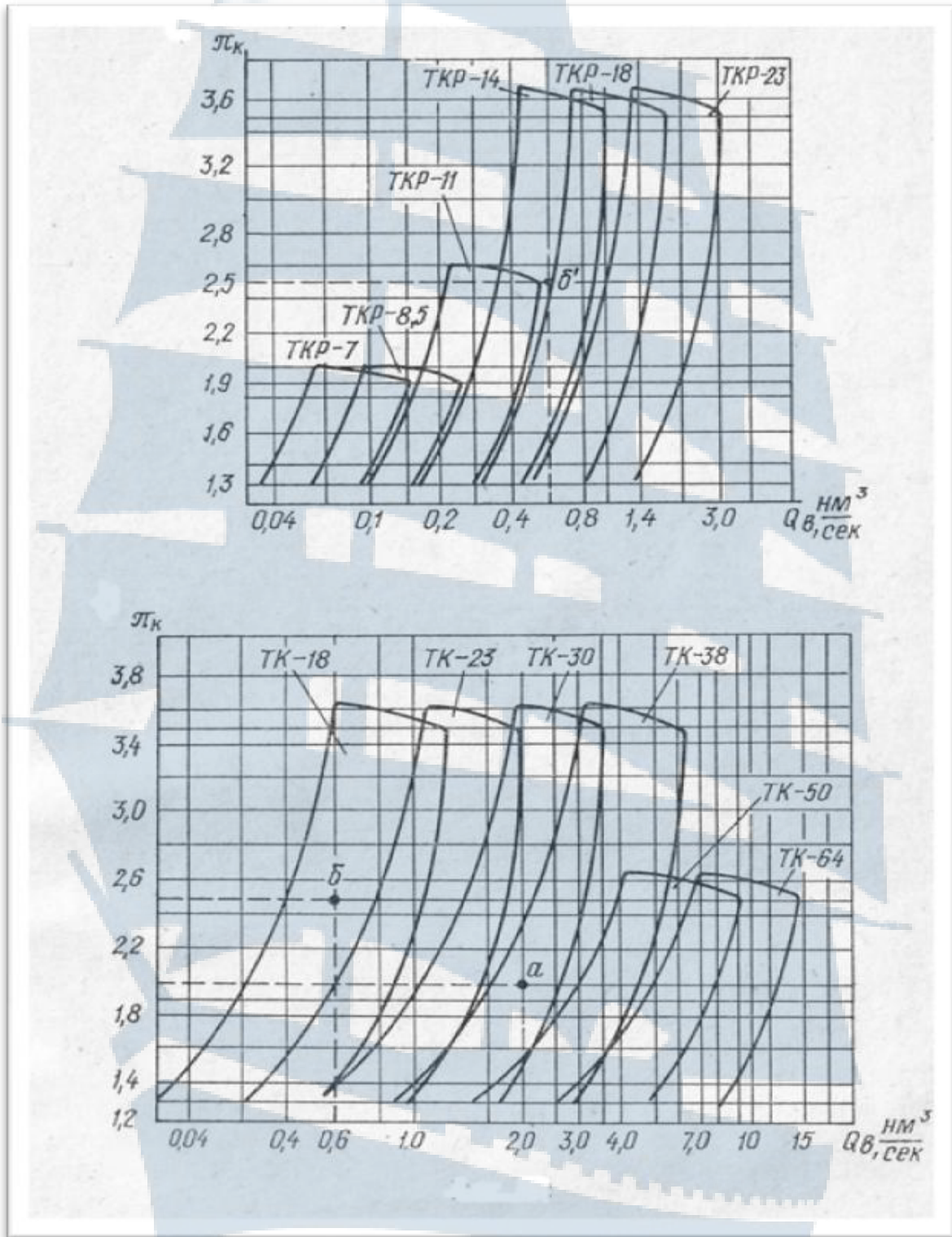


Рис. 1. Подбор ТКР и ТК в зависимости от π_k и Q_b м³/с
 (Q_b кг/с = $0,834 \cdot G_b$ м³/с)

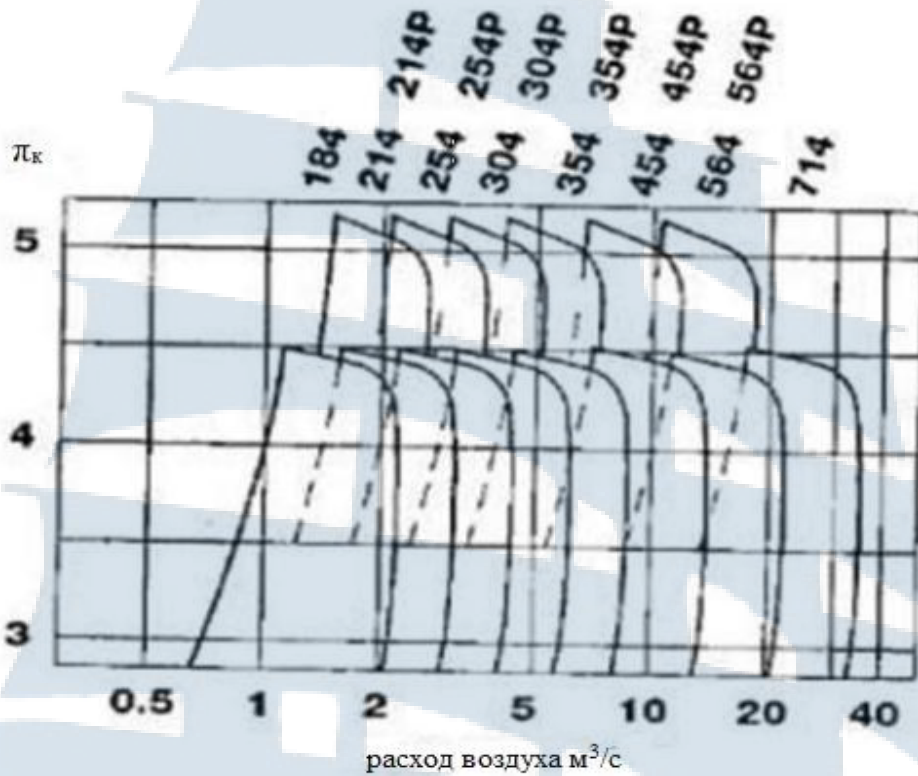


Рис. 2. Подбор ТК серии VTR в зависимости от π_k и $Q_v \text{ м}^3/\text{с}$
 $(Q_v \text{ кг/с} = 0,834 \cdot G_v \text{ м}^3/\text{с})$

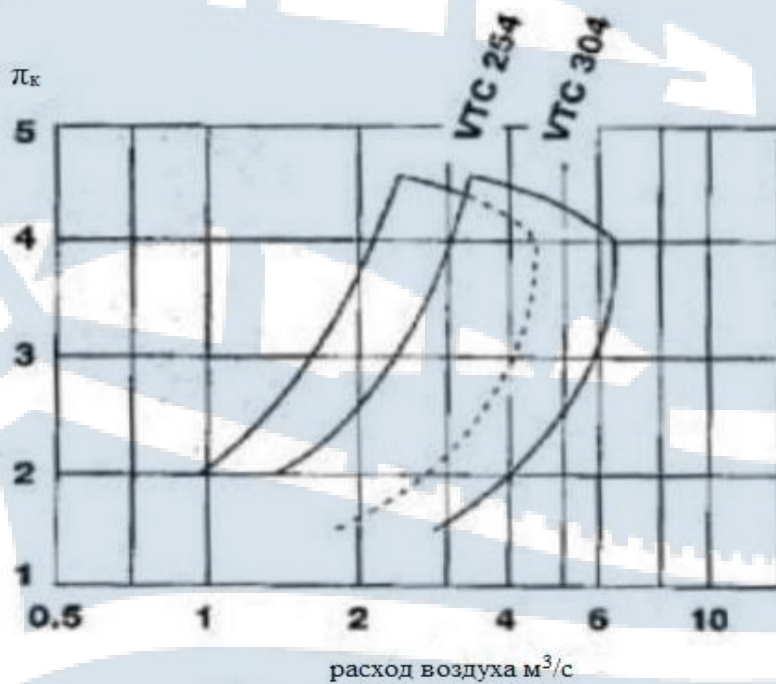


Рис. 3. Подбор ТК серии VTC в зависимости от π_k и $Q_v \text{ м}^3/\text{с}$
 $(Q_v \text{ кг/с} = 0,834 \cdot G_v \text{ м}^3/\text{с})$

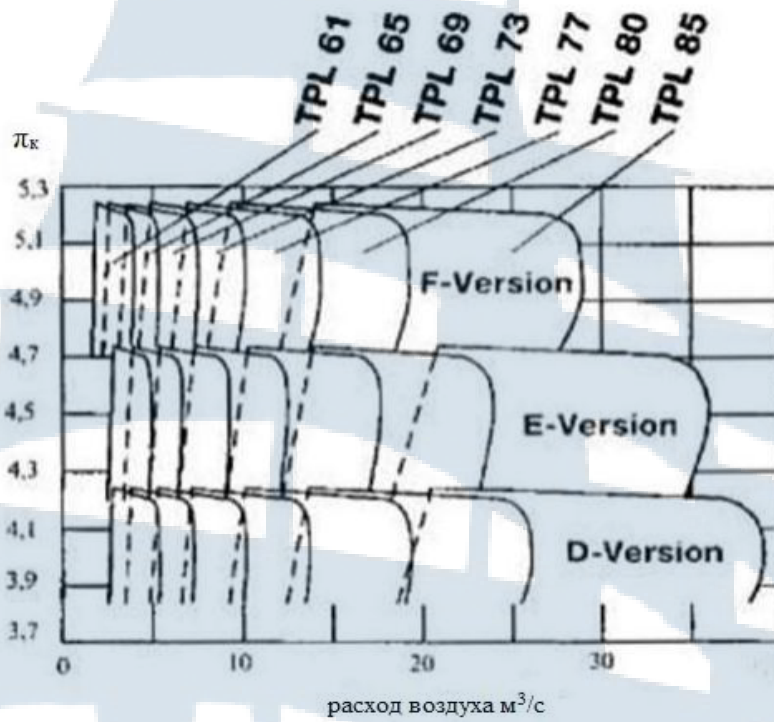


Рис. 4. Подбор ТК серии TPL в зависимости от π_k и $Q_v \text{ м}^3/\text{с}$
 $(Q_v \text{ кг/с} = 0,834 \cdot G_v \text{ м}^3/\text{с})$

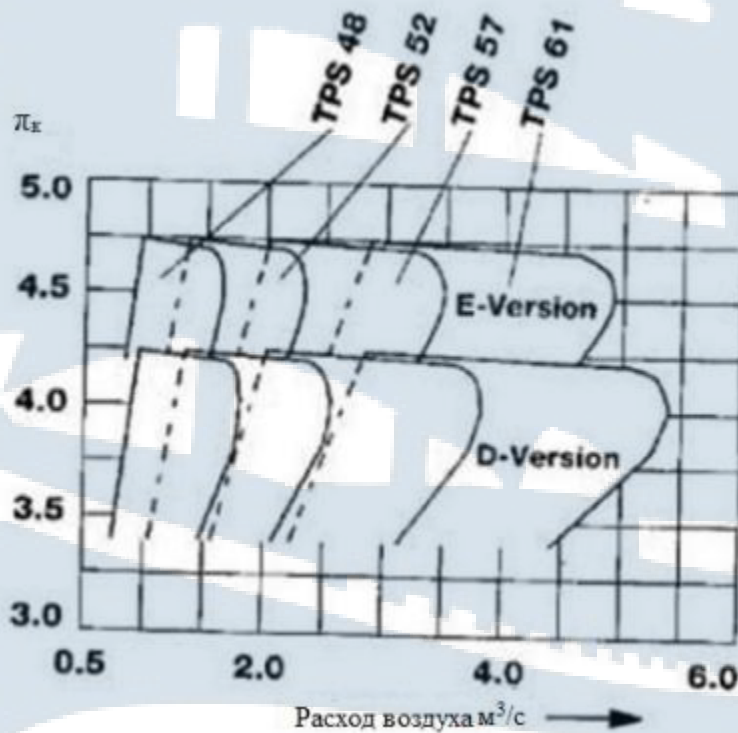


Рис. 5. Подбор ТК серии TPS в зависимости от π_k и $Q_v \text{ м}^3/\text{с}$
 $(Q_v \text{ кг/с} = 0,834 \cdot G_v \text{ м}^3/\text{с})$



Владимир Георгиевич Гурьев

**ПОДБОР ГАЗОТУРБОАГНЕТАТЕЛЯ
ДЛЯ ДВС**

Методические указания
по выполнению курсовой работы
для курсантов специальности 26.05.06.
«Эксплуатация судовых энергетических установок»
всех форм обучения

*Ведущий редактор Н.В. Желтухина
Младший редактор Г.В. Деркач*

Лицензия № 021350 от 28.06.99.

*Компьютерное редактирование
И.В. Леонова*

Печать офсетная.

*Подписано в печать 22.04.2021 г.
Усл. печ. л. 1,8. Уч.-изд. л. 1,8.*

Формат 60 x 90 1/16.

Заказ № 1666. Тираж 80 экз.

Доступ к архиву публикации и условия доступа к нему:
<https://bgarf.ru/akademia/#biblioteka>

БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»

*Издательство БГАРФ,
член Издательско-полиграфической ассоциации высших учебных заведений
236029, Калининград, ул. Молодежная, 6.*

БГАРФ