

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

С.Н. Шевченко

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА,
РУЛЕВОЙ МАШИНЫ И ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ
ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Методические указания
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Судовые вспомогательные механизмы,
системы и устройства» для студентов/курсантов
специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых
энергетических установок»
всех форм обучения

БГАРФ

Калининград
Издательство БГАРФ
2019

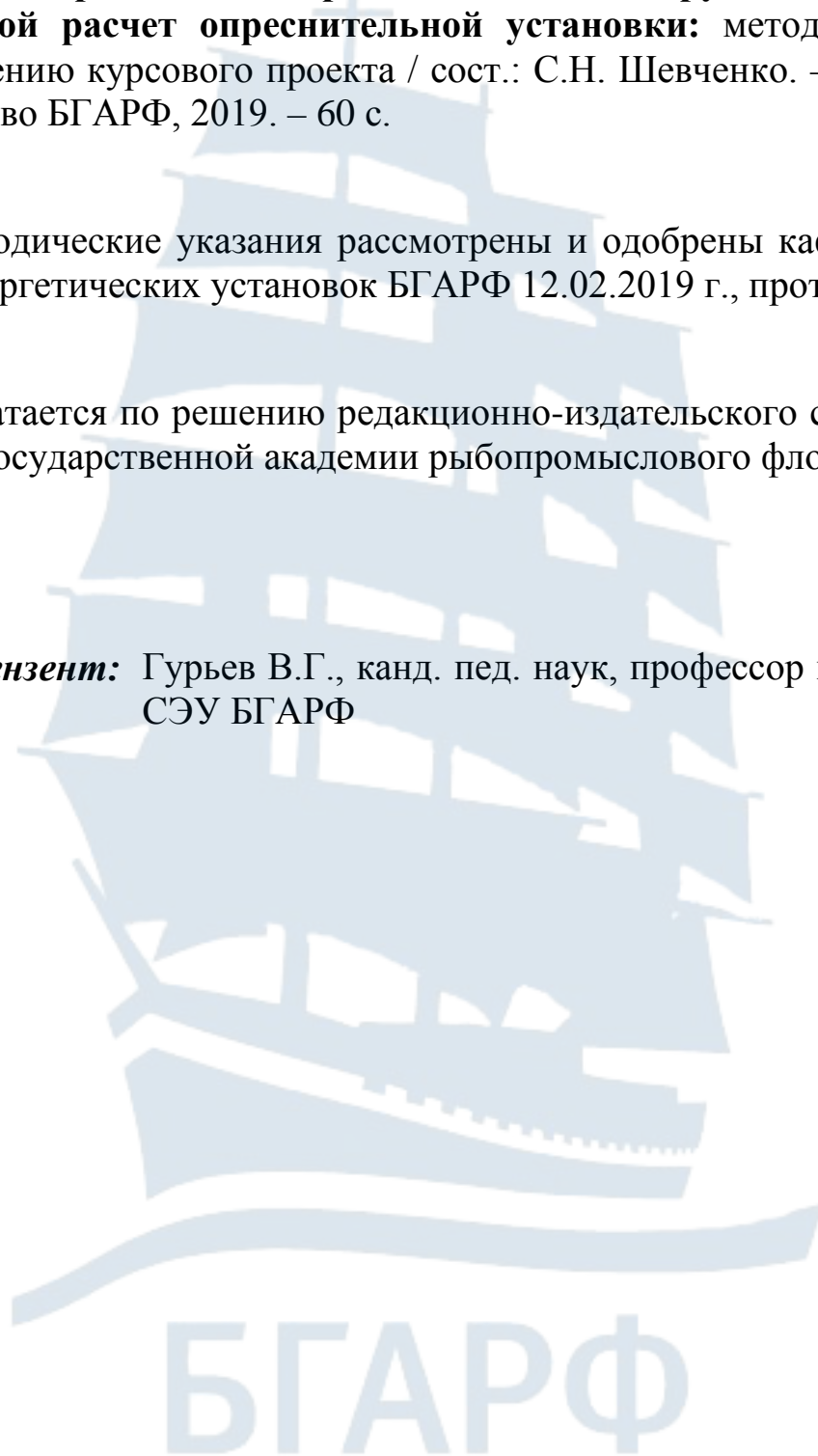
УДК 629.12:639.2.061

Проектирование центробежного насоса, рулевой машины и тепловой расчет опреснительной установки: метод. указания к выполнению курсового проекта / сост.: С.Н. Шевченко. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2019. – 60 с.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой судовых энергетических установок БГАРФ 12.02.2019 г., протокол № 7.

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

Рецензент: Гурьев В.Г., канд. пед. наук, профессор кафедры СЭУ БГАРФ



ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	5
ЧАСТЬ 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА	6
Построение лопасти насоса дугой окружности	15
ЧАСТЬ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ.....	22
Расчет гидравлической рулевой машины с плунжерным исполнительным механизмом	23
Расчет гидравлической рулевой машины с лопастным исполнительным механизмом.....	26
Расчет электрической рулевой машины с секторным исполнительным механизмом	29
ЧАСТЬ 3. ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	32
ПРИЛОЖЕНИЯ	43
Приложение 1	43
Приложение 2.....	45
Приложение 3.....	47
Приложение 4.....	51
Приложение 5.....	52
Приложение 6.....	57

БГАРФ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства» (СВМ СУ) является неотъемлемой составной частью специальной подготовки инженеров-механиков по эксплуатации судовых энергетических установок, которым в практической деятельности будет необходимо знание принципов работы, конструкции и расчета, а также эффективных методов технической эксплуатации судовых вспомогательных механизмов, установок и систем.

Курсовой проект является заключительным этапом изучения курса СВМ СУ, целью которого является закрепление и углубление знаний по изучаемому курсу. Поэтому работе над проектом должно предшествовать глубокое освоение теории.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Особенностью изучаемого курса является то, что он объединяет в себе механизмы, устройства и системы, существенно различные по назначению, принципу действия, конструкции и методам эксплуатации. Проектно-расчетная часть этого оборудования базируется на положениях и зависимостях, изучаемых в курсах гидромеханики, термодинамики и теплопередачи, сопротивления материалов, теории механизмов и машин, деталей машин и грузоподъемных механизмов и др. Кроме того, здесь есть и специфичные агрегаты, устройства и системы, которые требуют специальных методов проектирования.

В отличие от других дисциплин инженерной подготовки в качестве предмета для курсового проектирования здесь невозможно выбрать какой-нибудь один механизм или устройство, которые могли бы с наибольшей полнотой охватить программу всего курса, т. е. обеспечить достижение поставленной цели. Поэтому проект состоит из трех совершенно не связанных между собой частей, посвященных проектированию механизмов и устройств, наиболее важных, с нашей точки зрения, в подготовке специалиста-судомеханика.

Первая часть проекта ставит задачей спроектировать центробежный насос (эти насосы входят в состав большинства судовых систем).

Вторая часть проекта посвящена определению основных параметров одного из типов рулевого устройства судна.

В третьей части выполняется тепловой расчет опреснительной установки, работающей на нерасчетном режиме.

Пояснительная записка к трем частям проекта оформляется на стандартных листах писчей бумаги формата А4 и в сшитом виде или в переплете. Графический материал, выполненный на миллиметровой бумаге, вшивается в записку в местах, к которым он относится.

Курсовой проект выполняется под руководством преподавателя в соответствии с настоящими методическими указаниями, предъявляется ему на проверку и с его разрешения допускается к защите. Все расчеты должны быть выполнены в табличной форме в системе СИ; чертежи должны отвечать требованиям ЕСКД.

Задание на проект выдается курсанту персонально руководителем проекта или его вариант определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки (см. приложения).

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тё А.М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства: Учебное пособие. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 208 с.

2. Скиба А.Н., Мурашко М.Г. Судовые вакуумные опреснительные установки и обслуживающие системы (устройство, эксплуатация и расчет): Учебное пособие. – Новороссийск: ФГОУ ВПО «МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова», 2006. – 84 с.

3. Воронин В.П. Судовые вспомогательные механизмы: Учебное пособие. – Одесса, 2010. – 266 с.

4. Лабунец В.А., Яворский В.Я. Судовые вспомогательные механизмы, системы и их эксплуатация: Учебное пособие. – Одесса: МКТФ ОНМА, 2013. – 300 с.

5. Бабич, А.В. Судовые вспомогательные механизмы и системы. Раздел «Судовые насосы»: Курс лекций. – Министерство транспорта Российской Федерации, Московская государственная академия водного транспорта. – Москва: Альтаир-МГАВТ, 2013. – 43 с.

ЧАСТЬ 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Первая часть проекта посвящена проектированию горизонтального одноступенчатого центробежного насоса типа К для перекачивания пресной воды с нормальной температурой, подачей Q , напором H и получающего энергию от асинхронного электродвигателя с частотой вращения n .

Первая часть проекта должна содержать следующие графические материалы, выполненные на миллиметровке и вшитые в пояснительную записку:

- вспомогательный график для определения угла лопасти на выходе;
- треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса;
- построение лопасти насоса дугой окружности в масштабе 1:1;
- зависимость коэффициента стеснения от радиуса;
- профилирование меридианного сечения рабочего колеса в масштабе 1:1;
- восемь сечений спиральной камеры в масштабе 1:1 либо в масштабе 2:1 (для сечений малых размеров), спиральная камера и диффузор в масштабе 1:1, либо 1:2 для крупных насосов;
- внешняя характеристика насоса.

Чертеж насоса – продольный разрез – выполняется на чертежной бумаге в масштабе 1:1, либо 1:2 для крупных насосов.

Пояснительная записка должна содержать краткое описание конструкции насоса и перечень основных работ по его обслуживанию.

Порядок расчета приведен в табл. 1.

Необходимые пояснения к некоторым пунктам расчета приведены в сносках.

БГАРФ

Таблица 1

Порядок расчета центробежного насоса

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетное уравнение, рекомендации, вычисление	Значение
1	2	3	4	5	6
1	Производительность	Q	л/с	(задано)	
2	Напор	H	м	(задано)	
3	Частота вращения	n	об/мин	(задано)	
4	Плотность воды	$\rho_{\text{в}}$	кг/м ³	(задано)	1000
5	Коэффициент быстроходности	n_s	—	$n_s = 3,65n \sqrt{Q} / H^{3/4} =$	
6	Приведенный диаметр	$D_{\text{пр}}$	мм	$D_{\text{пр}} = (4 \div 4,5) 10^3 \sqrt[3]{Q/n} =$	
7	Объемный КПД насоса	η_o	—	$\eta_o = 1 / (1 + 0,68n_s^{-2/3}) =$	
8	Гидравлический КПД насоса	η_z	—	$\eta_z = 1 - 0,42 / (\lg D_{\text{пр}} - 0,172)^2 =$	
9	Внутренний механический КПД	$\eta_{i \text{ мех}}$	—	$\eta_{i \text{ мех}} = 1 / (1 + 820 \cdot n_s^{-2}) =$	
10	Внешний механический КПД	$\eta_{\text{вн. мех}}$	—	(принято)	0,98
11	КПД насоса	η	—	$\eta = \eta_o \cdot \eta_z \cdot \eta_{i \text{ мех}} \cdot \eta_{\text{вн. мех}} =$	
12	Теоретический напор	H_T	м	$H_T = H / \eta_z$	
13	Теоретическая производительность	Q_T	м ³ /с	$Q_T = Q / \eta_o$	
14	Потребляемая мощность	N	кВт	$N = (Q \cdot \rho \cdot g \cdot H) / 1000\eta$	
15	Коэффициент окружной скорости на выходе из колеса	K_{u2}	—	$K_{u2} = f(n_s)$, из рис.1 для $n_s =$	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
16	Окружная скорость на выходе из колеса	u_2	м/с	$u_2 = K_{u2} \sqrt{2gH} =$	
17	Диаметр рабочего колеса на выходе	D_2	м	$D_2 = 60u_2 / \pi \cdot n =$	
18	Отношение диаметров	(D_2/D_1)	–	$D_2/D_1 = f(n_s)$ из рис.1 для $n_s =$	
19	Диаметр рабочего колеса на входе	D_1	м	$D_1 = D_2 / (D_2/D_1) =$	
20	Окружная скорость на входе в колесо	u_1	м/с	$u_1 = \pi D_1 n / 60 =$	
21	Коэффициент меридианной скорости	K_{vm2}	–	$K_{vm2} = f(n_s)$, из рис.1 для $n_s =$	
22	Меридианная проекция абсолютной скорости потока на выходе из колеса	V_{m2}	м/с	$V_{m2} = K_{vm2} \sqrt{2gH} =$	
23	Меридианная проекция абсолютной скорости потока на входе в колесо	V_{m1}	м/с	принято $V_{m1} = V_{m2}$	
24	Абсолютная скорость потока на входе в колесо	V_1	м/с	при нормальном входе $V_1 = V_{m1}$	
25	Угол между скоростями окружной и относительной на входе	β_1	град	$\beta_1 = \arctg(V_1/u_1)$	
26	Угол атаки ¹	α	град	принято	

¹ Угол атаки рекомендуется делать $\alpha = + (6 \div 8)^\circ$ – жидкость на расчетном режиме должна натекать на рабочую сторону лопасти.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
27	Угол лопасти на входе	$\beta_{1л}$	град	$\beta_{1л} = \beta_1 + \alpha =$	
28	Окружная проекция абсолютной скорости потока на выходе	V_{u2}	м/с	$V_{u2} = gH_T / u_2 =$	
29	Угол между скоростями окружной и относительной на выходе	β_2	град	$\beta_2 = \arctg[V_{m2} / (u_2 - V_{u2})]$	
30	Число лопастей оптимальное ²	Z		$Z = 6,5(D_2 + D_1)(D_2 - D_1) \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2) / 2 =$	
31	Введение поправки на конечное число лопастей ³				
31.1	Угол лопасти на выходе – в первом приближении – выбранный	$\beta_{2\text{ лв}}^{(1)}$	град	$\beta_{2\text{ лв}}^{(1)} = \beta_2 + (3 \div 5)$ выбрано $\beta_{2\text{ лв}}^{(1)}$	

² Число лопастей зависит от двух факторов: коэффициента быстроходности и размеров колеса. Чем больше колесо, тем большим числом лопастей его оснащают. Оптимальное число лопастей можно рекомендовать делать четным, не менее шести и не более $Z_{max} \cong 0,08D_1$ (здесь D_1 должно быть выражено в миллиметрах), если колесо будет изготовлено литьем с толщиной лопасти $4 \div 5$ мм. При несоблюдении указанного ограничения колесо должно быть комбинированной конструкции с лопастями, штампованными из стального листа толщиной $1,5 \div 2$ мм. В этом случае $Z_{max} \cong 0,15D_1$

³ Введение поправки на конечное число лопастей осуществляется методом последовательных приближений: выбрав в первом приближении угол $\beta_{2\text{ лв}}^{(1)}$, несколько больший угла потока β_2 , определяют, какой при этом получится угол лопасти в первом приближении $\beta_{2\text{ лп}}^{(1)}$ (п.п. 31.2÷31.5). Если полученный угол $\beta_{2\text{ лп}}^{(1)} > \beta_{2\text{ лв}}^{(1)}$, то во втором приближении выбирают $\beta_{2\text{ лв}}^{(1)} > \beta_{2\text{ лп}}^{(1)}$ и снова проделывают вычисления. Расчеты следует повторять до тех пор, пока выбранный и полученный углы будут различаться не более, чем на $0,5^\circ$. Для облегчения решения рекомендуется построить вспомогательный график (см. рис. 2), на котором по оси абсцисс откладывают выбранные углы, по оси ординат – соответствующие им полученные углы. На рис. 2 точка А представляет первое приближение, точка В – второе. Решение (точка С) находится на пересечении прямой АВ и биссектрисы угла между осями координат. С помощью вспомогательного графика введение поправки достигается в большинстве случаев с помощью трех приближений.

1	2	3	4	5	6
31.2	Поправочные коэффициенты	$\Psi^{(1)}$ $P^{(1)}$		$\Psi^{(1)} = (0,55 \div 0,65) + 0,6 \sin \beta_{2лв}^{(1)}$ $P^{(1)} = 2(\Psi^{(1)}/Z) \cdot 1/[1 - (D_1/D_2)^2]$	
31.3	Теоретический напор при $Z = \infty$	$H_{T\infty}^{(1)}$	м	$H_{T\infty}^{(1)} = (1 + P^{(1)})H_T =$	
31.4	Окружная проекция абсолютной скорости потока на выходе при $Z = \infty$	$V_{u2\infty}^{(1)}$	м/с	$V_{u2\infty}^{(1)} = gH_{T\infty}^{(1)}/U_2 =$	
31.5	Угол лопасти на выходе из колеса – полученный	$\beta_{2лв}^{(1)}$	град	$\beta_{2лв}^{(1)} = \arctg V_{m2} / [U_2 - V_{u2\infty}^{(1)}] =$	
32	Коэффициент реакции рабочего колеса ⁴	ρ_∞		$\rho_\infty = 1 - (V_{u2\infty} / 2u_2) =$	
33	Сравнение относительных скоростей потока на входе и выходе из колеса ⁵	–	–	$W_{2\infty} / W_{1\infty} =$	
34	Толщина лопасти ⁶	δ_l	мм	принято $\delta_2 = \delta_l = \delta$	

⁴ Значение коэффициента реакции должно находиться в пределах **0,6÷0,8**. Если он будет меньше **0,6**, то необходимо увеличить диаметр колеса D_2 и наоборот, повторив расчеты с п. 15.

⁵ Межлопастной канал должен быть слегка диффузным, для чего рекомендуется делать $W_{2\infty} = (0,75 \div 0,95)W_{1\infty}$. Если окажется, что $W_{2\infty} \geq 0,95W_{1\infty}$, то следует уменьшить диаметр рабочего колеса D_2 (не забывая при этом проверить значение коэффициента реакции) или увеличить диаметр D_1 , что менее желательно, так как приводит к увеличению скоростей потока на входе в колесо, что ведет к ухудшению противодавления качества насоса. Если же $W_{2\infty} < 0,75W_{1\infty}$, то следует увеличить D_2 или уменьшить D_1 .

Определив скорости V_{m1} , U_1 , U_2 , V_{u2} , $V_{u2\infty}$ и углы $\beta_{1л}$ и $\beta_{2л}$, выбрав удобный масштаб, строят совмещенные треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса (см. рис. 3), а также производят построение лопасти насоса дугой окружности (см. рис. 4) в масштабе 1:1.

⁶ Лопастей рабочих колес центробежных насосов, изготовляемых литьем, делают, как правило, равнотолщинными: $\delta = \delta_l = \delta_2 = 4 \div 5$ мм.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
35	Коэффициент стеснения на выходе из рабочего колеса	K_2	–	$K_2 = 1/[1 - Z\delta_2 / (\pi D_2 \sin \beta_{2,r})]$	
36	Ширина рабочего колеса на выходе	b_2	м	$b_2 = Q_T K_2 / \pi D_2 V_{m2} =$	
37	Коэффициент стеснения на входе	K_1	–	$K_1 = 1/[1 - Z\delta_1 / (\pi D_1 \sin \beta_{1,r})] =$	
38	Ширина рабочего колеса на входе	b_1	м	$b_1 = Q_T K_1 / \pi D_1 V_{m1} =$	
39	Профилирование меридианного сечения рабочего колеса ⁷				
39.1	Константа меридианного сечения	C_m	мм ²	$C_m = (b_2 r_2 / K_2) \cdot 10^6$	
39.2	Ширина сечений $b(i)$ на выбранных радиусах $r(i)$	$b(i)$	мм ²	$b(1) = C_m K(1) / r(1) =$ $b(2) = C_m K(2) / r(2) =$ $b(n) = C_m K(n) / r(n) =$	
40	Крутящий момент	M	Нм	$M = 9550 N / n =$	
41	Допускаемое напряжение материала вала	$[\tau]$	Мпа	рекомендуется $[\tau] = 15 \div 25$	

⁷ При профилировании меридианного сечения рабочего колеса:
 а) задаются линейной зависимостью коэффициента стеснения от радиуса. Эту зависимость выражают графически (см. рис. 5);
 б) ведущий диск в зоне лопастей делают плоским, нормальным к оси вала;
 в) выбрав не менее 4÷5 сечений с радиусами $r^{(1)}, r^{(2)}, \dots, r^{(n)}$ с шагом профилирования $\Delta r = (r_2 - r_1) / n$ и определив по графику рис. 5 соответствующие коэффициенты стеснения, находят ширину этих сечений $b^{(1)}, b^{(2)} \dots b^{(n)}$, которые являются диаметрами окружностей, вписанными в меридианное сечение рабочего колеса касательно к плоскости ведущего диска;
 г) через центры окружностей проводят осевую линию канала – среднюю струйку меридианного сечения. Огибающая окружностей представляет собой внутреннюю поверхность ведомого диска рабочего колеса (см. рис. 6).
 Толщину дисков на выходе из колеса делают равной толщине лопастей, на радиусе уплотнительного кольца – удвоенной толщине лопастей. Ведущий диск плавным скруглением соединяется со ступицей колеса.
 Построения выполняются на миллиметровке в масштабе 1:1.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
42	Диаметр вала	d	м	принято $d = \sqrt[3]{M / (0,2[\tau])} =$	
43	Диаметр ступицы колеса	d_{cm}	м	рекомендуется $d_{cm} = (1,6 \div 1,8)d$	
44	Скорость потока во входном патрубке колеса	V_0	м/с	принято $V_0 = V_1 / K_1 =$	
45	Диаметр входного патрубка колеса ⁸	D_0	м	$D_0 = \sqrt{(4Q_T / \pi V_0 + d_{cm}^2)} =$	
46	Диаметр уплотнительного кольца ⁹	$D_{упл}$	мм	принято	
47	Радиальный зазор в уплотнительных кольцах	δ_y	мм	$\delta_y = 0,0015 D_{упл}$	
48	Длина щели уплотнения	ℓ	мм	принято	
49	Ширина спиральной камеры на входе	b_3	м	$b_3 \cong 1,5 b_2 + 2\delta$	
50	Коэффициент диаметра входа в спиральную камеру	K_{D3}	–	$K_{D3} = f(n_s)$, из рис.7 для $n_s =$	
51	Диаметр входа в спиральную камеру	D_3	м	$D_3 = K_{D3} D_2 =$	
52	Коэффициент скорости потока в спиральной камере	K_{vcn}	–	$K_{vcn} = f(ns)$, из рис.7 для $ns =$	
53	Средняя скорость потока в спиральной камере	V_{cn}	м/с	$V_{cn} = K_{vcn} \sqrt{2gH} =$	

⁸ Диаметр входного патрубка колеса может быть изменен по конструктивным соображениям, что определяется формой входной части меридианного сечения.

⁹ Диаметр уплотнительного кольца определяется конструкцией колеса. Ориентировочно $D_{упл} = 10^3 D_0 + (12 \div 20)$ мм. Длину щели уплотнения рекомендуется делать $\ell = 10 \div 25$ мм. Чем больше напор насоса, тем длиннее делают щель уплотнения.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
54	Профилирование спиральной камеры ¹⁰				
54.1	Площадь сечения	F_1	м^2	$F_1 = Q \cdot 45 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_2	м^2	$F_1 = Q \cdot 90 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_3	м^2	$F_1 = Q \cdot 135 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_4	м^2	$F_1 = Q \cdot 180 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_5	м^2	$F_1 = Q \cdot 225 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_6	м^2	$F_1 = Q \cdot 270 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_7	м^2	$F_1 = Q \cdot 315 / 360 \cdot V_{cn} =$	
		F_8	м^2	$F_1 = Q / V_{cn} =$	
54.2	Высота трапеции	h_1^{mp}	м	$h_1^{mp} = \frac{\sqrt{e_3^2 + 4F_1 \text{tg}(\Theta/2)} - e_3}{2 \text{tg}(\Theta/2)}$	
		h_2^{mp}	м	
		h_8^{mp}		$h_8^{mp} = \frac{\sqrt{e_3^2 + 4F_8 \text{tg}(\Theta/2)} - e_3}{2 \text{tg}(\Theta/2)}$	
54.3	Высота скругленных сечений (из чертежа)	h_1	м		
		h_2	м		
		
		h_8	м		

¹⁰ Спрофилировать спиральную камеру – это значит определить величину и форму ее восьми сечений (см. рис. 9 и 10), равномерно расположенных по окружности (угол между двумя соседними сечениями равен 45°). Наиболее распространенная форма живого сечения спиральной камеры – трапеция со скругленными углами (см. рис. 8). Угол раскрытия боковых сторон трапеции $\Theta=35\div 45^\circ$ (меньшие значения рекомендуются для насосов с $n_s=45\div 70$; большие – для насосов с $n_s=200\div 240$). Площадь трапеции определяется из уравнения неразрывности; далее вычисляется высота трапеции данной площади. Все восемь трапеций вычерчивают на миллиметровке, наложенными друг на друга в масштабе 1:1 (для сечений малых размеров рекомендуется применить масштаб 2:1). Затем производят скругление углов каждого сечения так, чтобы отсеченная площадь f_1 равнялась добавленной площади f_2 (см. рис. 8). Скругляющие кривые должны иметь одинаковую форму. Высоты сечений со скругленными углами откладываются на соответствующих радиусах. По полученным точкам проводится плавная кривая (см. рис. 10).

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
55	Скорость жидкости в напорном патрубке насоса	V_n	м/с	рекомендуется $V_n = (3 \div 5)$	
56	Диаметр напорного патрубка насоса ¹¹	D_n	м	принято $D_n = \sqrt{4Q / (\pi V_n)} =$	
57	Диаметр условного круга, равновеликого восьмому сечению спиральной камеры	D'	м	принято $D' = \sqrt{4F_8 / \pi} =$	
58	Длина диффузора ¹²	L	м	$L = (D_n - D') / 2 \operatorname{tg}(\Theta / 2)$	
59	Скорость жидкости во всасывающем патрубке насоса	V_{ec}	м/с	рекомендуется $V_{ec} = 1 \div 3$	
60	Диаметр всасывающего патрубка	D_{ec}	м	$D_{ec} = \sqrt{4Q / (\pi V_{ec})} =$	
61	Динамическое падение напора на лопастях рабочего колеса ¹³	$\Delta h_{d \max}$	м	принято $\Delta h_{d \max} = 10(n\sqrt{Q} / C)^{4/3} =$	
62	Вакуумметрическая высота всасывания максимальная ¹⁴	$H_{\text{вак}}^{\max}$	м	$H_{\text{вак}}^{\max} = H_{\text{атм}} - \Delta h_{d \max} =$	

¹¹ Диаметры патрубков как напорного D_n , так и всасывающего D_{ec} (п.60) должны быть округлены до ближайшего диаметра условного прохода D_y труб, применяемых в судостроении (в миллиметрах): 3, 6, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 70, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500.

¹² Угол раскрытия диффузора принимают из условия минимальных потерь напора в нем $\Theta = 6 \div 8^\circ$.

¹³ Кавитационный коэффициент быстроходности для насосов с нормальным противокавитационным свойством $C = 600 \div 800$.

¹⁴ Атмосферный запас для воды с температурой $t \cong 20^\circ \text{C}$ при нормальном атмосферном давлении P_B соответствующем 760 мм рт.ст., $H_{\text{атм}} = (P_B - P_{\text{н.н.}}) / \rho g \cong 10$ м.

1	2	3	4	5	6
63	Вакуумметрическая высота всасывания допустимая ¹⁵	$H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$	м	$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{max}} / K =$	
64	Внешняя характеристика насоса:				
64.1	Максимальный теоретический напор насоса при $Q = 0$	$H_{T\text{max}}$	м	$H_{T\text{max}} = U_2^2 / g =$	
64.2	Максимальная теоретическая подача насоса при $H_T = 0$	Q_{max}	м ³ /с	$Q_{\text{max}} = (1 / K_2) U_2 \pi D_2 v_2 \cdot \text{tg} \beta_{2\text{л}} =$	
64.3	Коэффициент напора		K_H	$K_H = f(n_s)$, из рис.11 для $n_s =$	
64.4	Напор насоса при $Q = 0$ ¹⁶	$H_{Q=0}$	м	$H_{Q=0} = K_n \cdot H$	

Построение лопасти насоса дугой окружности

Наиболее простая, но не лучшая с точки зрения гидродинамики, форма лопасти – это дуга окружности с углом на входе $\beta_{1\text{л}}$ и углом на выходе $\beta_{2\text{л}}$.

Построить такую лопасть можно следующим образом (см. рис. 4). Под углом $\beta_{1\text{л}} + \beta_{2\text{л}}$ к прямой OA проводят луч OB до пересечения с окружностью r_1 . Через точки A и B проводят прямую до пересечения с окружностью r_1 в точке C . Отрезок AC делят пополам, его середина – точка D . Из точки D восстанавливают перпендикуляр DE . Под углом $\beta_{2\text{л}}$

¹⁵ Коэффициент запаса рекомендуется принимать $K = 1,2 \div 1,3$.

¹⁶ Характеристика насоса $H = f(Q)$ строится как показано на рис. 12. Эта кривая касательна к лучу $Q_{\text{max}}A$ в точке A , представляющей собой расчетный режим насоса. Форма кривой должна быть такой же, как у существующих подобных насосов.

На миллиметровке в удобном масштабе вычерчиваются внешние характеристики $H = f(Q)$, $N = f(Q)$ и $\eta = f(Q)$. Кривую $H = f(Q)$ переносят с рис. 12. Остальные кривые, проходящие через соответствующие точки расчетного режима, также должны иметь форму, соответствующую n_s спроектированного насоса (см. рис. 13).

к прямой OA проводят луч AE до пересечения с перпендикуляром DE . Точка E является центром дуги AC окружности с радиусом $R = EA = EC$. Дуга AC является осевой линией лопасти. Радиусами $(R + \delta/2)$ и $(R - \delta/2)$ очерчивают рабочую и тыльную поверхности лопасти.

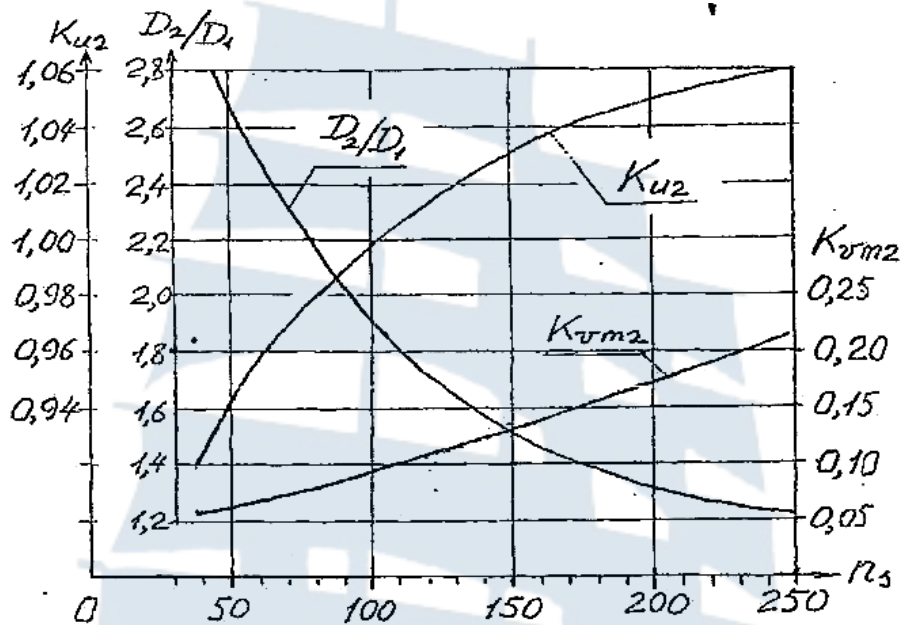


Рис. 1. Расчетные коэффициенты рабочего колеса центробежного насоса

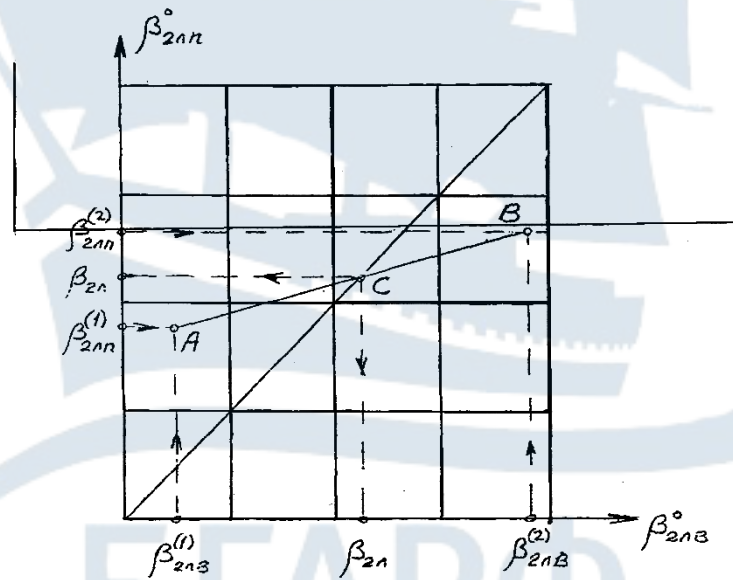


Рис. 2. Вспомогательный график для определения β_{2n} методом последовательных приближений

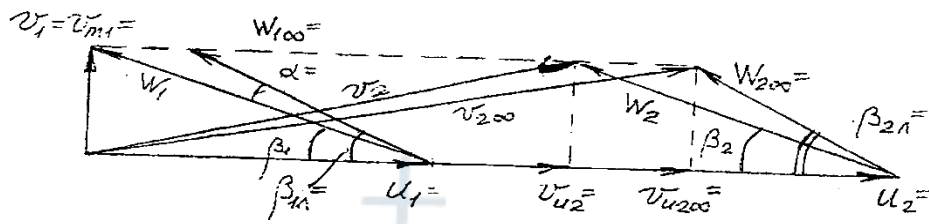


Рис. 3. Треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса насоса

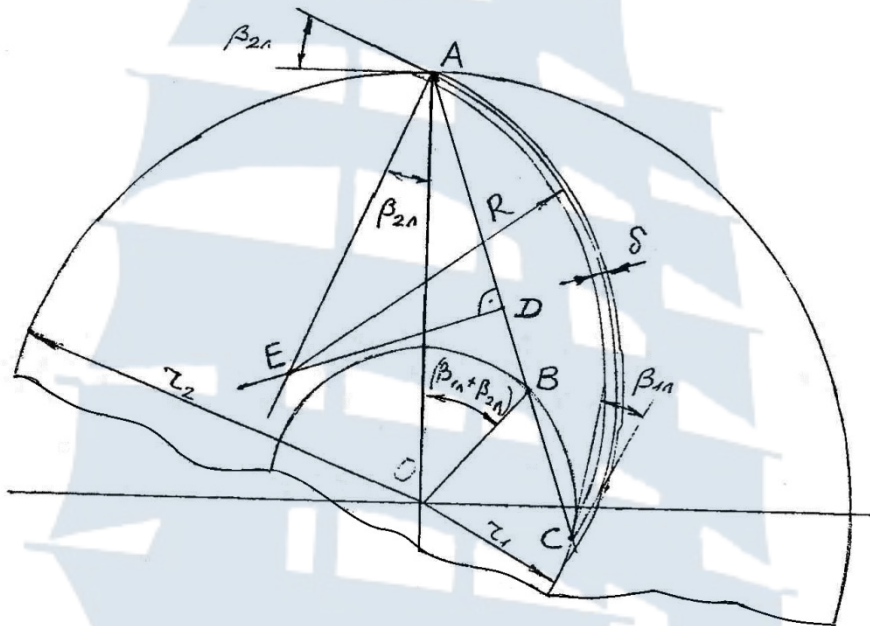


Рис. 4. Построение лопасти насоса дугой окружности

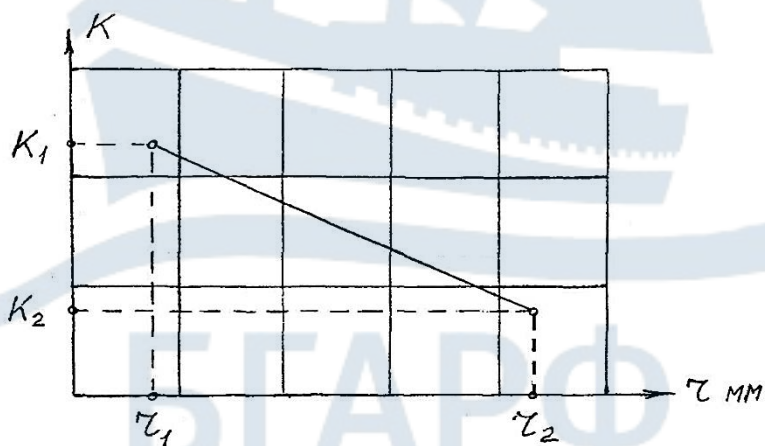


Рис. 5. Зависимость коэффициента стеснения от радиуса

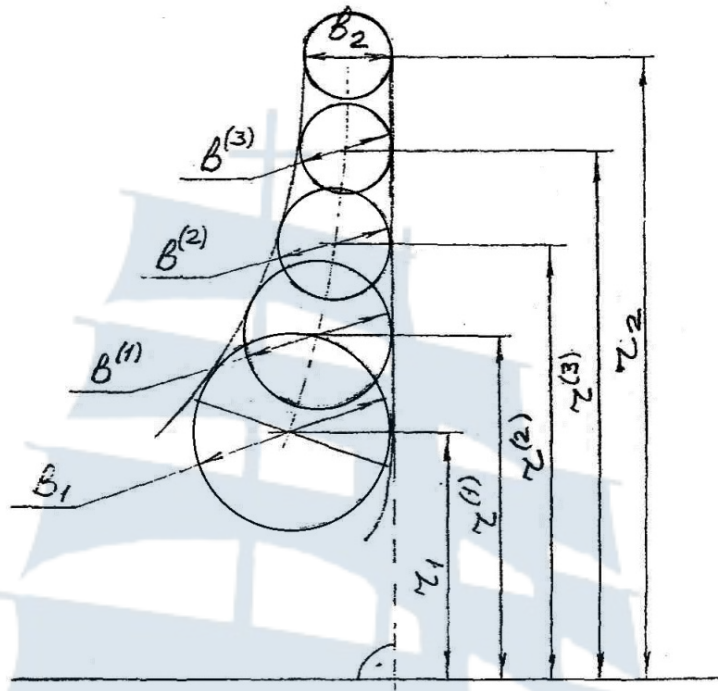


Рис. 6. Профилирование меридианного сечения рабочего колеса насоса

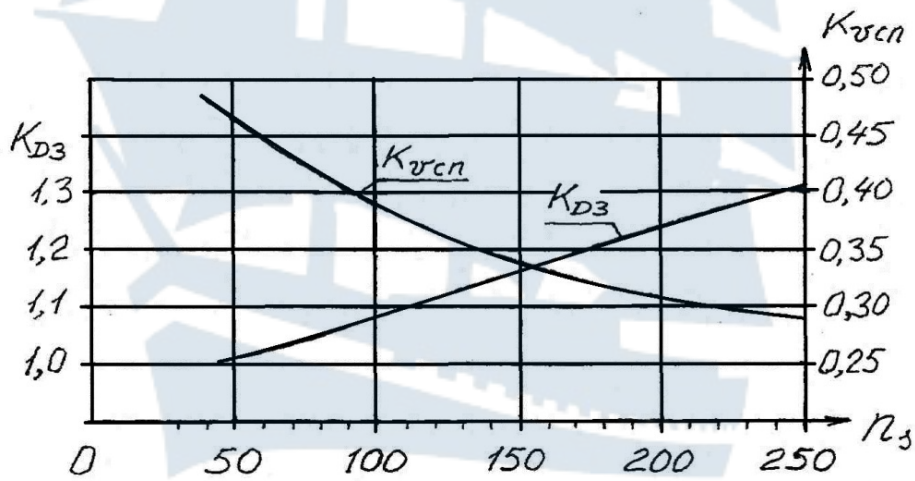


Рис. 7. Расчетные коэффициенты спиральной камеры центробежного насоса

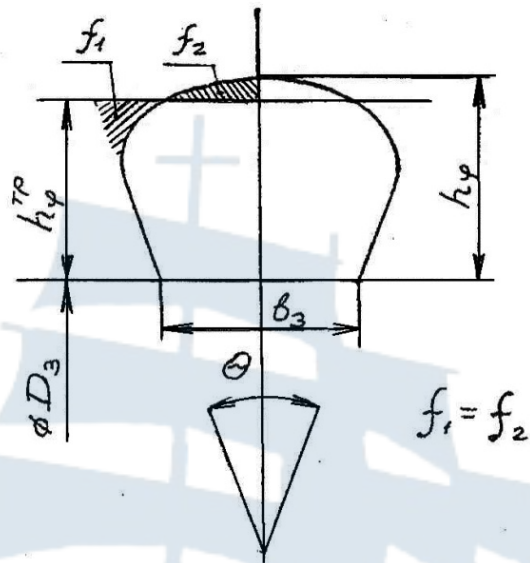


Рис. 8. Принцип скругления углов трапеции

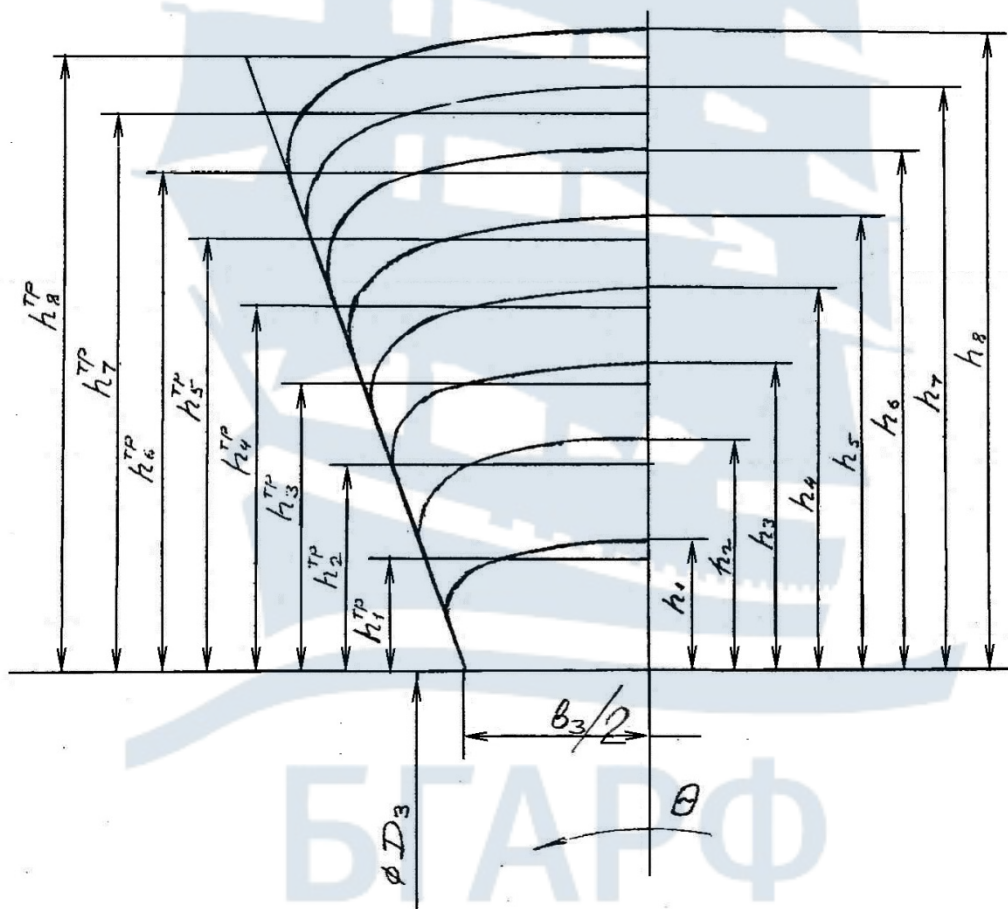


Рис. 9. Восемь сечений спиральной камеры

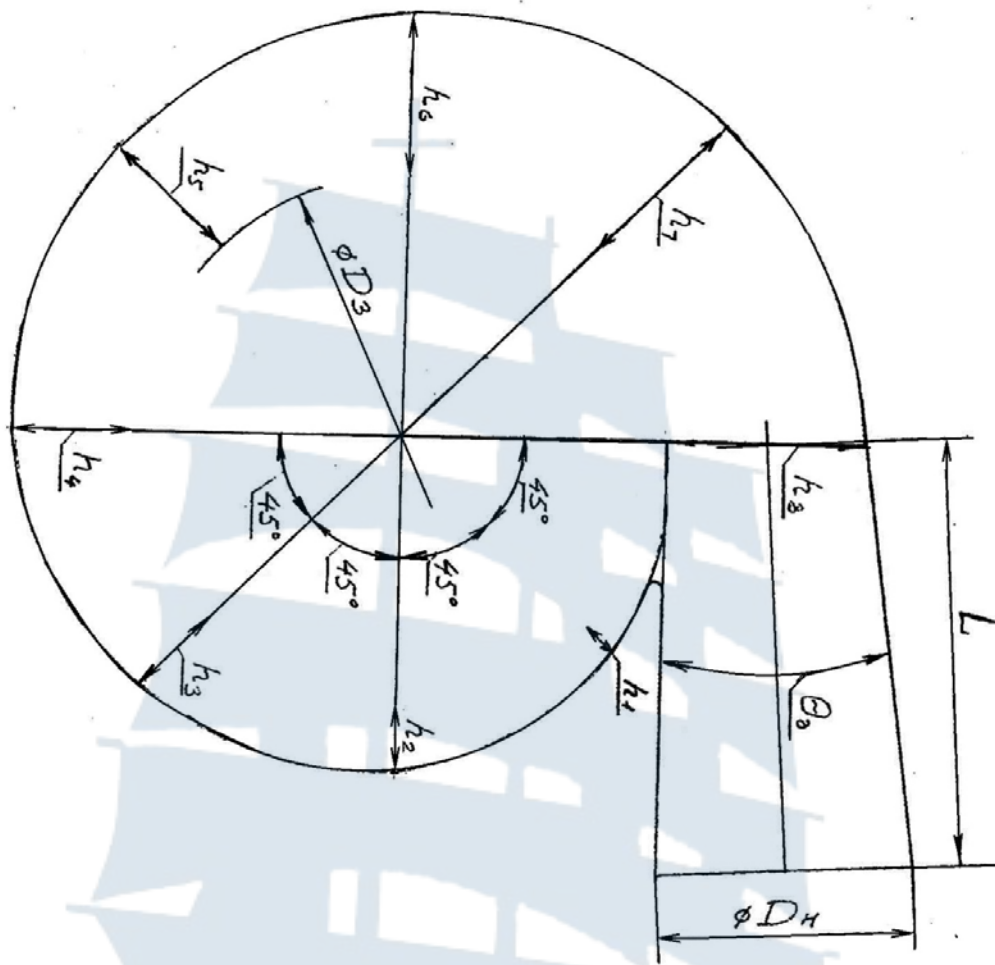


Рис. 10. Стиральная камера и диффузор

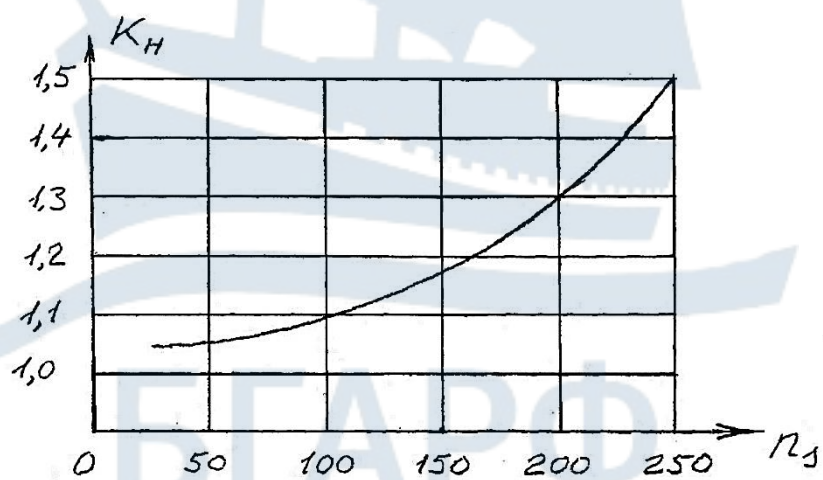


Рис. 11. Зависимость коэффициента напора \$K_H\$ от коэффициента быстроходности

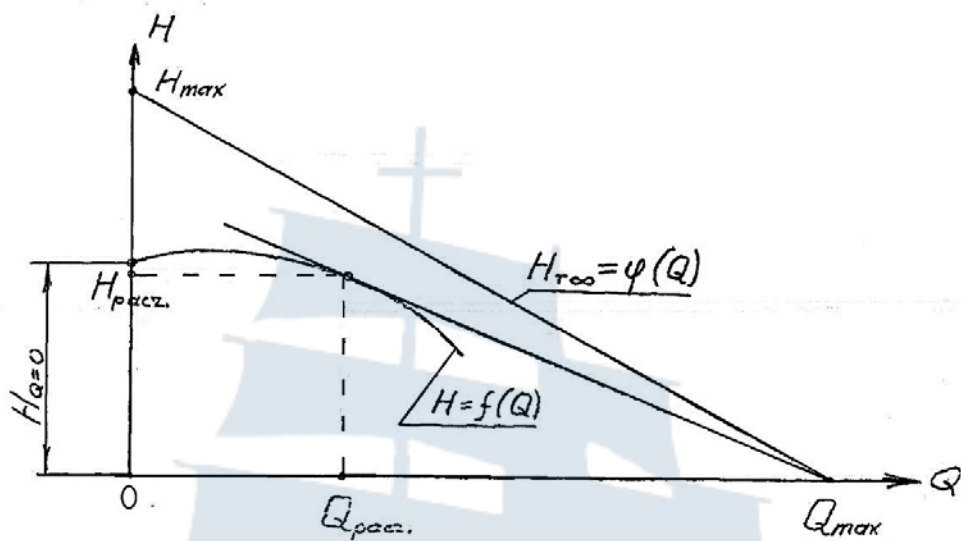


Рис. 12. Построение внешней характеристики насоса $H = f(Q)$

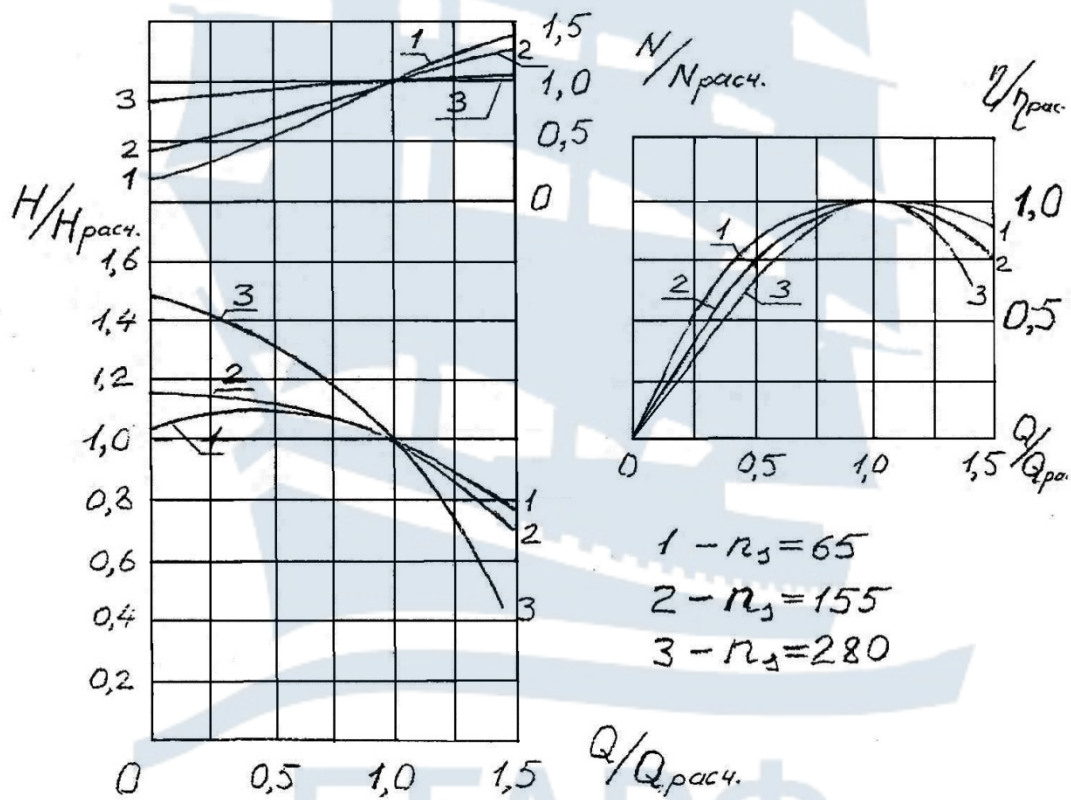


Рис. 13. Влияние коэффициента быстроходности на внешние характеристики центробежных насосов $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$

ЧАСТЬ 2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ

Во второй части проекта определяются основные параметры одного из трех типов рулевых машин: электрической с секторным исполнительным механизмом, гидравлической с плунжерным или лопастным исполнительным механизмом.

Исходными параметрами для проектирования рулевой машины любого типа являются максимальный крутящий момент на баллере руля и диаметр головы баллера. Эти величины в свою очередь зависят от размерений, скорости и типа судна и типа руля. Размерения и скорость судна, тип рулевой машины определяются вариантом задания (приложение 3) по двум последним цифрам номера зачетной книжки.

В данном проекте предполагается установить рулевую машину на транспортное одновинтовое судно с рулем балансирного типа, установленным в диаметральной плоскости судна, с обтекаемым профилем (например, профилем Н.Е. Жуковского) и коэффициентом компенсации $K_B = 0,25$.

Рулевая машина должна удовлетворять требованиям Регистра: время перекладки руля от угла 35° одного борта на угол 30° другого борта на максимальной скорости переднего хода не должно превышать $\tau = 28$ с. Для этого угловая скорость баллера должна быть не менее $\omega_\delta = 4,052 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ (частота вращения $n = 0,387$ об/мин).

Порядок определения крутящего момента и диаметра головы баллера приведен в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетное уравнение, рекомендации, вычисление	Значение
1	2	3	4	5	6
1	Размерения и скорость судна:				
	длина	L	м	задано	
	ширина	B	м	задано	
	осадка	T	м	задано	
	скорость	V	уз	задано	
2	Коэффициент площади руля	K_F		(рекомендуется $K_F=0,015 \div 0,018$)	

1	2	3	4	5	6
3	Площадь руля	F	м ²	принято $F=K_F LT=$	
4	Условная гидродинамическая сила на руле	P	н	$P=147FV^2=$	
5	Высота руля	h	м	принято $h=0,7T=$	
6	Ширина руля	ϵ	м	$\epsilon=F/h =$	
7	Ширина балансирующей части руля	Z	м	$Z=K_B \cdot \epsilon =$	
8	Положение центра давления	S	м	$S = \epsilon \left(1/3 + (3/2)K_B^2 \right) =$	
9	Крутящий момент на баллере гидродинамический	M_α	кНм	$M_\alpha = P(S - Z) \cdot 10^3 =$	
10	Механический КПД баллера	η_B		рекомендуется $\eta_B = 0,9 \div 0,95$	
11	Крутящий момент на баллере	M_B	кНм	принято $M_B = M_\alpha / \eta_B$	
12	Верхний предел текучести материала баллера	R_{en}	МПа	принято для стали	300
13	Диаметр головы баллера	d	см	$d = 23,1 \sqrt[3]{M_B / R_{en}}$	

Расчет гидравлической рулевой машины с плунжерным исполнительным механизмом

Выполнив расчеты по определению крутящего момента и диаметра головы баллера (табл. 2), приступают к проектированию плунжерной рулевой машины (в соответствии с вариантом задания), порядок которого приведен в табл. 3. Целью проектирования является определение основных геометрических параметров рулевой машины: диаметра плунжеров и гидроцилиндров, габаритных размеров машины в плане, которые выявляются с помощью вычерченной в удобном масштабе на миллиметровке кинематической схемы машины (см. рис. 14), а также производительности, давления и мощности насоса.

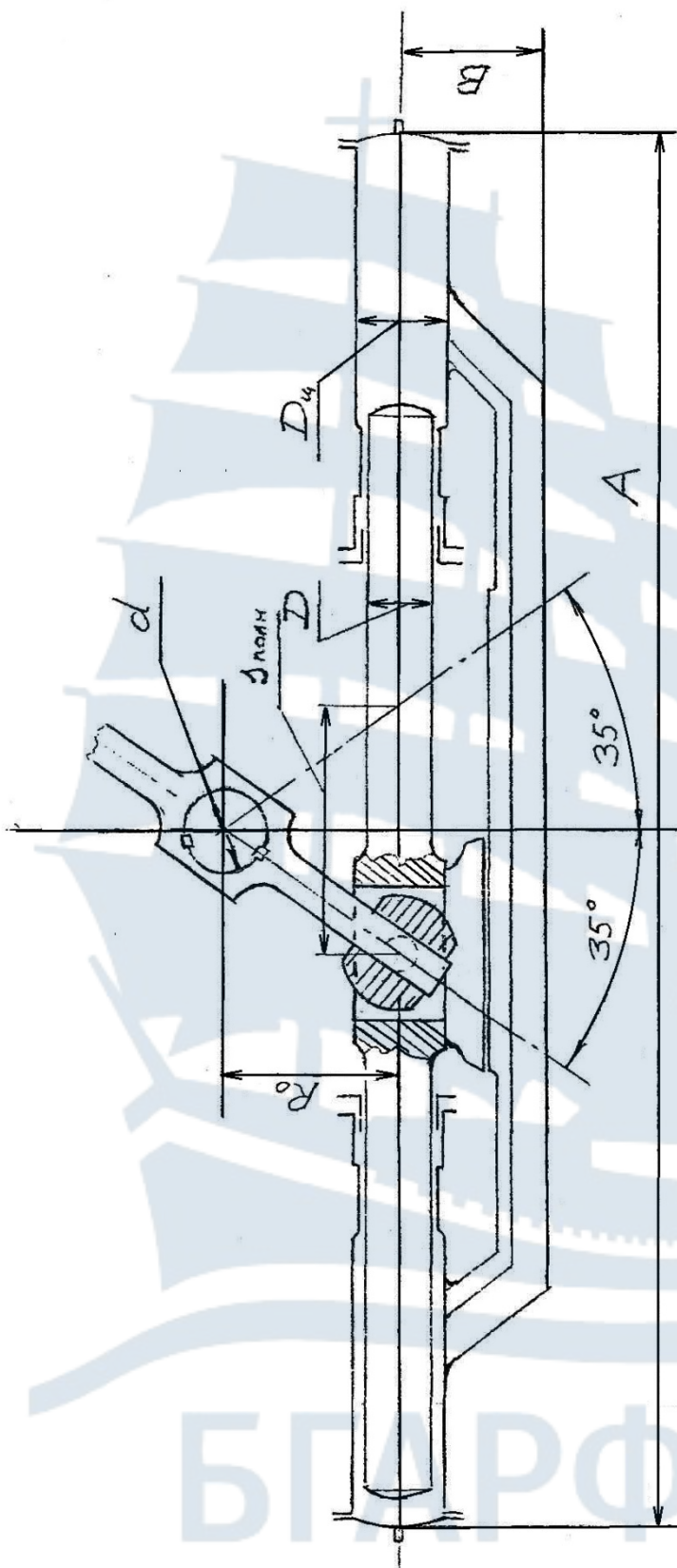


Рис. 14. Принципиальная схема плужерной рулевой машины

Таблица 3

Порядок проектирования плунжерной рулевой машины

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетное уравнение, рекомендации, вычисление	Значение
1	2	3	4	5	6
1	Число пар плунжеров	K	–	задано	
2	Расстояние между осями плунжеров и баллера	R_0	м	рекомендуется $R_0 = (2,5 \div 3,2)d \cdot 10^{-2}$	
3	Сила на румпеле	P^p	Н	принято $P_p = 10^3 M_B / (KR_0) =$	
4	Механический КПД плунжерного механизма	η_n		рекомендуется $\eta_n = 0,72 \div 0,76$	
5	Давление рабочей жидкости в цилиндре	P_u	МПа	рекомендуется $P_u = 5 \div 15 \text{ МПа}$	
6	Диаметр плунжера	D	м	принято $D = \sqrt{4P_p / (\pi p_u \eta_n \cdot 10^6)} =$	
7	Диаметр цилиндра	D_u	м	рекомендуется $D_u = (1,05 \div 1,1)D$	
8	Ход плунжера	S	м	принято $S = 1,277R_0 =$	
9	Подача жидкости в гидроцилиндры	Q	м ³ /с	$Q = K \cdot P S / (4T) =$	
10	Гидравический КПД трубопровода	$\eta_{г.тр}$	–	принято	0,97
11	Давление, развиваемое насосом	p	МПа	$p = p_u / \eta_{г.тр}$	
12	КПД насоса	η		рекомендуется $\eta = 0,7 \div 0,8$	

1	2	3	4	5	6
13	Мощность, потребляемая нерегулируемым насосом	N_1	кВт	$N_1 = 10^3 p Q / \eta =$	
14	Производительность регулируемого насоса ¹⁷	Q_n	м ³ /с	$Q_n = (1,1 \div 1,2) Q$	
15	Мощность, потребляемая регулируемым насосом	N_2	кВт	принято $N_2 = 10^3 p Q_n / \eta =$	
16	Полный ход плунжера	S_n	–	$S_n = l, 4 R_0 =$	
17	Длина плунжерной пары	L	–	$L \cong S_n + 2D$	

Расчет гидравлической рулевой машины с лопастным исполнительным механизмом

Выполнив расчеты по определению крутящего момента и диаметра головы баллера (табл. 2), приступают к проектированию лопастной рулевой машины (в соответствии с вариантом задания), порядок которого приведен в табл. 4. Целью проектирования является определение основных геометрических параметров рулевой машины: диаметра ступицы и цилиндра лопастной машины, числа и высоты лопастей, а также производительности, давления и мощности насоса. Необходимо вычертить на миллиметровке в удобном масштабе кинематическую схему машины (см. рис. 15).

¹⁷ Гидравлические рулевые машины следящего типа оснащаются либо насосом постоянной производительности (нерегулируемым) и золотниковым распределителем жидкости, либо насосом переменной производительности (регулируемым), который выполняет не только энергетическую, но и распределительную функцию. В проекте должно быть оговорено, какой насос применяется. Выполняются соответствующие пункты табл.: 13 либо 14 и 15.

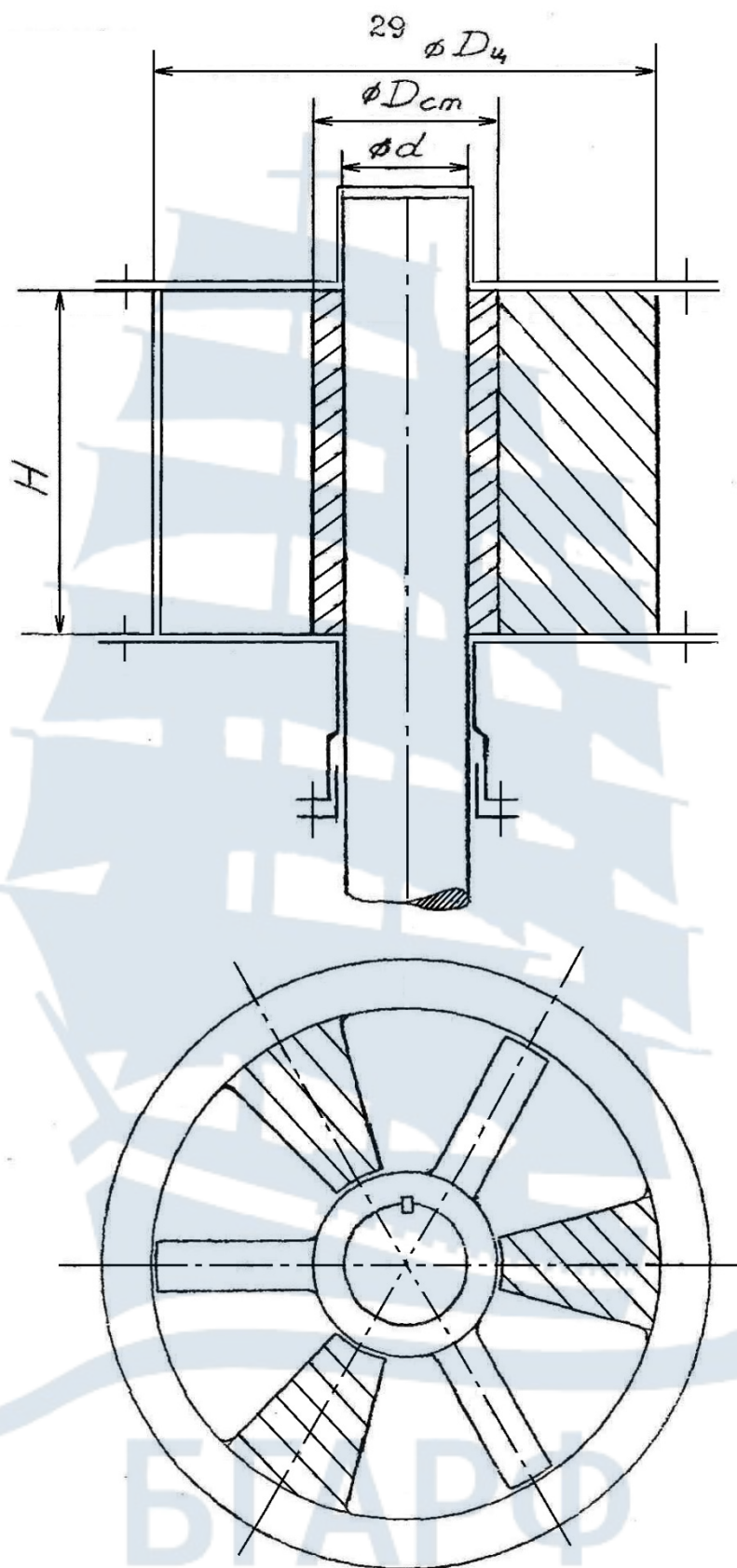


Рис. 15. Кинематическая схема лопастной рулевой машины

Таблица 4

Порядок проектирования лопастной рулевой машины

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетное уравнение, рекомендации, вычисление	Значение
1	2	3	4	5	6
1	Диаметр ступицы	D_{cm}	м	рекомендуется $D_{cm} = (1,6 \div 2)d \cdot 10^{-2}$	
2	Диаметр цилиндра	$D_{ц}$	м	принято $D_{ц} \cong 2D_{cm}$	
3	Ширина лопасти	b	м	$b = (D_{ц} - D_{cm})/2 =$	
4	Плечо силы гидростатического давления	S	м	$S = (b + D_{cm})/2 =$	
5	Число лопастей	Z	–	рекомендуется $Z = 2 \div 3$	
6	Давление рабочей жидкости на лопасти	p_l	МПа	рекомендуется $p_l = 5 \div 10$	
7	Механический КПД лопастного механизма	$\eta_{мех}$	–	принято	0,98
8	Высота лопасти ¹⁸	h	м	$h = M_B / 10^3 \cdot p_l \cdot Z$	
9	Объемный КПД лопастного механизма	η_o	–	принято	0,96
10	Подача жидкости в лопастной механизм	Q	м ³ /с	$Q = (\pi/4)(D_{ц}^2 - D_{cm}^2) \cdot h(65Z)/(360\tau\eta_o)$	
11	Гидравлический КПД трубопровода	$\eta_{гпр}$	–	принято	0,97
12	Давление, развиваемое насосом	p	МПа	$p = p_l / \eta_{гпр}$	

¹⁸ Высоту лопасти рекомендуется делать $h = -(1+2,5)b$. Если полученное значение h не соответствует этой рекомендации, то следует повторить расчет по пунктам 2÷6, изменив соответствующим образом диаметр цилиндра, давление на лопасти.

1	2	3	4	5	6
13	КПД насоса	η	–	рекомендуется $\eta = 0,7 \div 0,8$	
14	Мощность, потребляемая нерегулируемым насосом ¹⁹	N	кВт	$N = 10^3 pQ / \eta$	

Расчет электрической рулевой машины с секторным исполнительным механизмом

Выполнив расчеты по определению крутящего момента и диаметра головы баллера (табл. 2), приступают к проектированию рулевой машины с секторным исполнительным механизмом (в соответствии с вариантом задания), порядок которого приведен в табл. 5. Целью проектирования является определение геометрических размеров секторного механизма, передаточных чисел червячного и цилиндрического редукторов, частоты вращения и мощности электродвигателя. Необходимо вычертить на миллиметровке в удобном масштабе кинематическую схему рулевой машины (см. рис. 16).

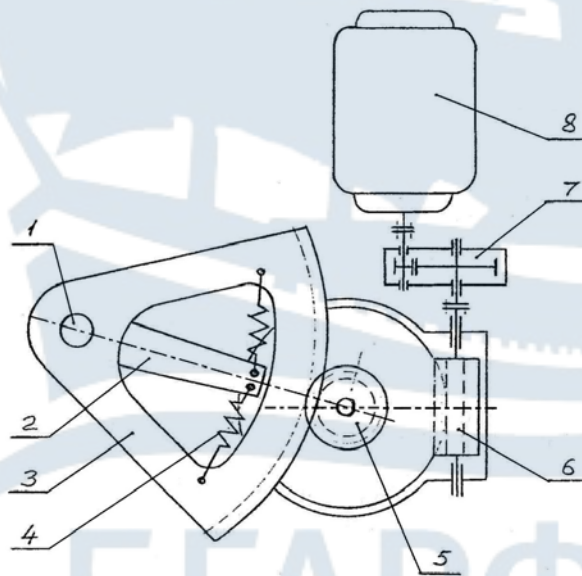


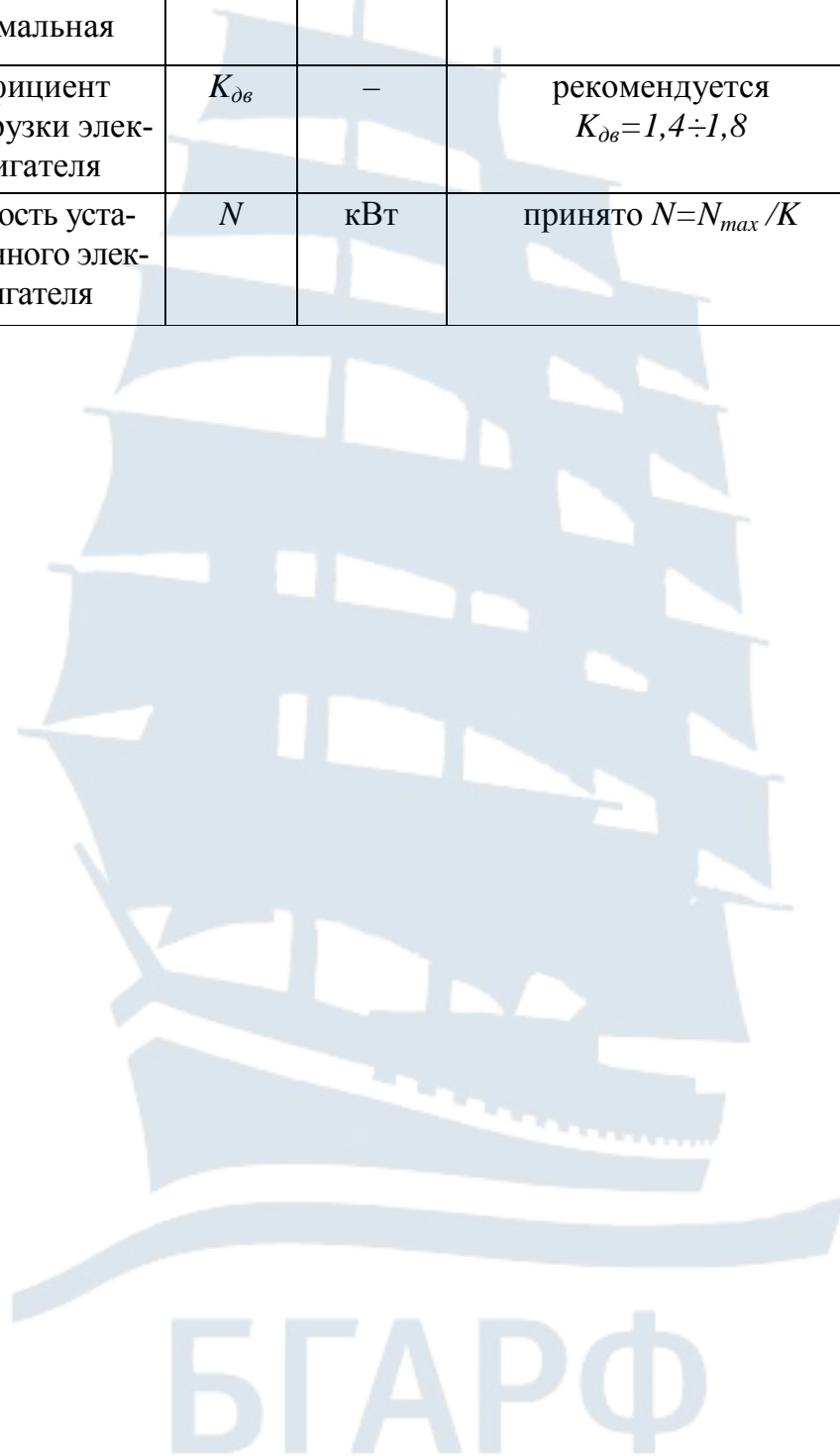
Рис. 16. Кинематическая схема секторной рулевой машины:
1 – голова баллера; 2 – румпель; 3 – зубчатый сектор; 4 – пружинный амортизатор; 5 – ведущая шестерня; 6 – червячный редуктор; 7 – цилиндрический редуктор; 8 – электродвигатель

¹⁹ См. примечание к табл. 3.

**Порядок проектирования электрической рулевой машины
с секторным исполнительным механизмом**

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетное уравнение, рекомендации, вычисление	Значение
1	2	3	4	5	6
1	Радиус начальной окружности сектора	R_c	м	рекомендуется $R_c=(4\div 6)d$	
2	Передаточное число секторной передачи	i_c	–	рекомендуется $i_c=8\div 10$	
3	Радиус начальной окружности шестерни	$r_{ш}$	м	принято $r_{ш}=R_c/i_c$	
4	Частота вращения электродвигателя	n	об/мин	рекомендуется 750 или 1000	
5	Общее передаточное число рулевой машины	i	–	принято $i=n/0,387$	
6	Передаточное число цилиндрического редуктора	$i_{ц}$	–	рекомендуется $5\div 6$	
7	Передаточное число червячного редуктора	$i_{ч}$	–	принято $i_{ч}=i/i_{ц}$	
8	КПД рулевой машины	η	–	рекомендуется $\eta=0,38\div 0,4$ принято	
9	Крутящий момент на валу электродвигателя максимальный	$M_{дв}$	$кНм$	$M_{дв}=M_б/\eta$	

1	2	3	4	5	6
10	Мощность электродвигателя максимальная	N_{max}	кВт	$N_{max}=(M_{\delta\delta} \cdot \pi n)/30$	
11	Коэффициент перегрузки электродвигателя	$K_{\delta\delta}$	–	рекомендуется $K_{\delta\delta}=1,4 \div 1,8$	
12	Мощность установленного электродвигателя	N	кВт	принято $N=N_{max}/K$	



ЧАСТЬ 3

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Целью настоящего раздела курсового проекта является изучение конструкции, принципа действия и порядка теплового расчета утилизационных опреснительных установок.

Основная задача данной части проекта состоит в расчете параметров заданного типа опреснителя на режиме работы, отличном от номинального.

В табл. 6 приводится порядок теплового расчета утилизационной вакуумной опреснительной установки типа «Д», использующей тепло пресной охлаждающей воды из замкнутого контура системы охлаждения главных двигателей. На рис. 17 и 18 показаны конструкция и принципиальная схема, а в табл. 7 – основные параметры рассчитываемой опреснительной установки. Задание и исходные данные для выполнения этой части проекта представлены в приложении 4. Остальные величины, необходимые для расчета, выбираются по рекомендациям, приведенным в последующем изложении.

Количество тепла, передаваемое в опреснителе, и температура рассола определяются методом графической интерполяции; пример решения этой задачи представлен на рис. 19.

В представленной ниже методике теплового расчета опреснительной установки не учитываются повышенный унос и, как следствие, увеличение солесодержания дистиллята, а также снижение коэффициента теплопередачи в конденсаторе вследствие повышения парциального давления неконденсирующихся газов при пониженных температурах испарения. Следует иметь в виду, что при температурах испарения ниже 35-38 °С во избежание засоления дистиллята перегрузку опреснителя относительно номинальной производительности ограничивают 10-20 %. Перегрузка в результате работы при повышенных температурах греющей воды и температуре испарения выше 42-45 °С не должна превышать 30-35 %. При дальнейшем повышении температуры испарения возникает опасность интенсивного накипеобразования и уменьшения периода между чистками опреснителя от накипи.

Пояснительная записка по третьей части курсового проекта должна содержать эскиз и принципиальную схему рассчитываемой опреснительной установки (рис. 17 и 18) с кратким их описанием, тепловой

расчет и график определения количества тепла, передаваемого в опреснителе (рис. 19). Эпюры и графики выполняются на миллиметровой или писчей бумаге и подшиваются в пояснительную записку.

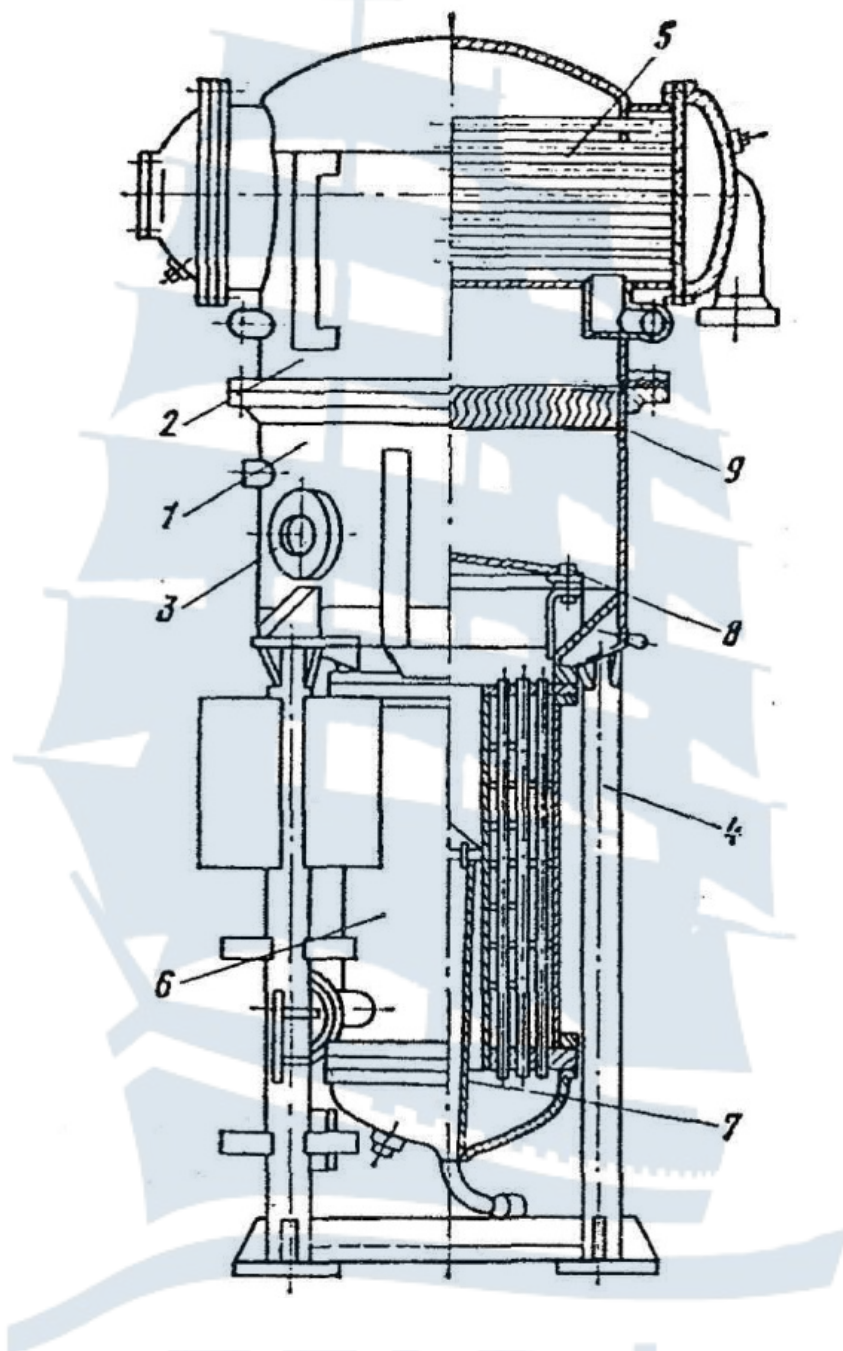


Рис. 17. Опреснительная установка типа «Д»:
1 – корпус; 2 – сухопарник; 3 – смотровое стекло; 4 – трубчатые опоры;
5 – конденсатор; 6 – нагревательная батарея; 7 – труба слива рассола;
8 – отбойный щит; 9 – жалюзийный сепаратор

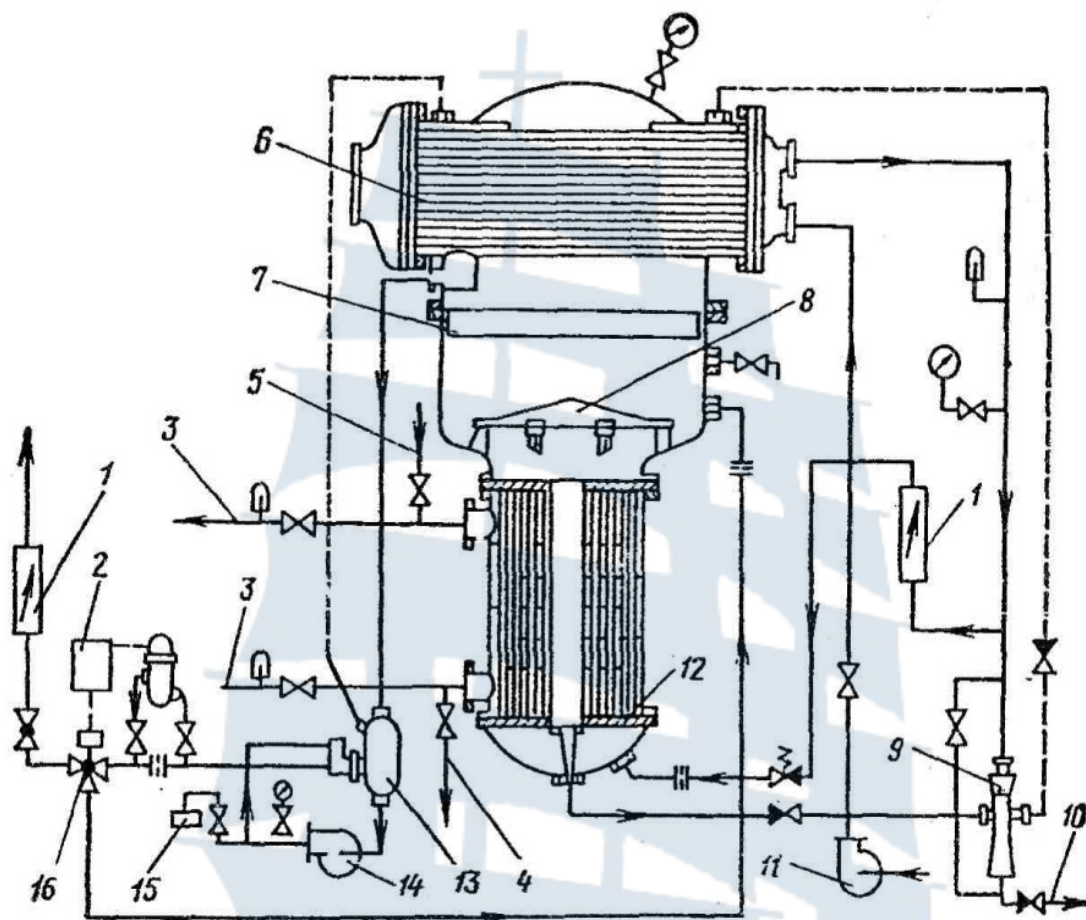


Рис. 18. Принципиальная схема опреснительной установки типа «Д»:
 1 – ротаметр; 2 – датчик солемера; 3 – патрубки подвода и отвода греющей воды;
 4 – отвод конденсата; 5 – подвод пара; 6 – конденсатор; 7 – жалюзийный сепаратор;
 8 – отбойный щит; 9 – эжектор; 10 – отвод воды от эжектора за борт;
 11 – насос забортной воды; 12 – нагревательная батарея; 13 – сборник дистиллята;
 14 – дистиллятный насос; 15 – реле давления;
 16 – электромагнитный клапан

БГАРФ

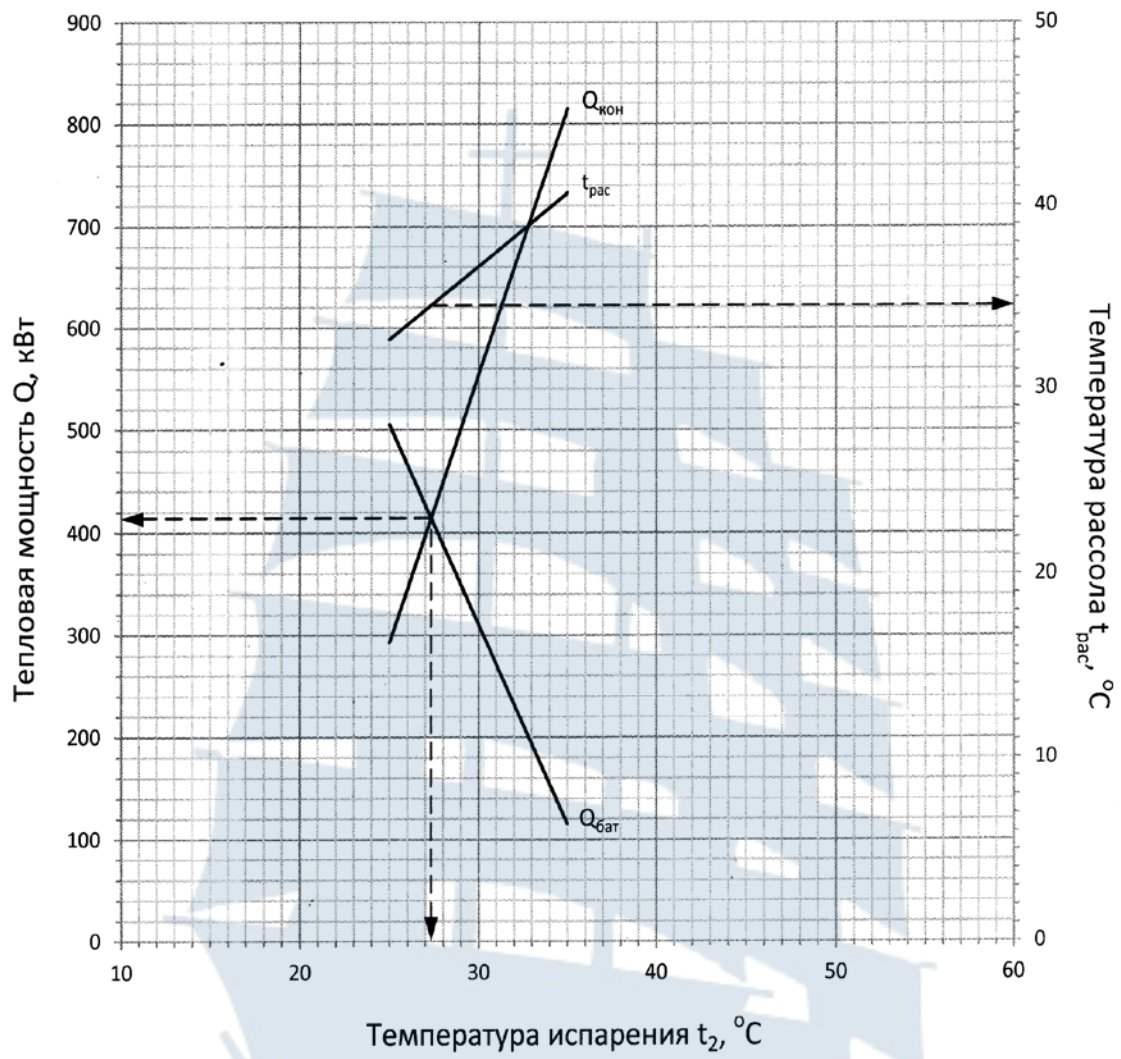


Рис. 19. Графическое решение уравнений (50) и (58)

БГАРФ

Таблица 6

Порядок теплового расчета вакуумной опреснительной установки типа «Д», использующей тепло пресной охлаждающей воды из замкнутого контура системы охлаждения главных двигателей

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Значение
1	2	3	4	5	6	7
1	Номинальная производительность	W_2	т/сут	принято по прототипу		
2	Температура заборной воды	t_o	°С	задано		
3	Солесодержание заборной воды	S_0	мг/л	принято		
4	Температура греющей воды на входе в опреснитель	$t_{гр.1}$	°С	задано		
5	Принятая предварительно температура греющей воды на выходе из опреснителя	$t_{гр.2}$	°С	задано		
6	Коэффициент продувания	ε	–	задано		
7	Поверхность нагрева батареи	$H_{бат}$	м ²	принято по прототипу		
8	Высота трубок батареи	$h_{бат}$	м	принято по прототипу		
9	Диаметр трубок батареи и конденсатора наружный	$d_{тр}$	м	принято по прототипу		
10	Толщина стенки трубок	$\sigma_{тр}$	м	принято по прототипу		
11	Поверхность нагрева конденсатора	$H_{кон}$	м ²	принято по прототипу		
12	Число трубок конденсатора	$Z_{кон}$	–	принято по прототипу		

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
13	Наружный диаметр трубок конденсатора	$d_{\text{кон}}$	м	принято по прототипу		
14	Толщина стенки трубок	$\sigma_{\text{кон}}$	м	принято по прототипу		
15	Число ходов в конденсаторе	$n_{\text{кон}}$	—	принято по прототипу		
16	Расход охлаждающей воды	$W_{\text{охл}}$	м ³ /ч	задано		
17	Приведенный уровень кипящего рассола	χ	—	принято		0,3÷0,5
18	Солесодержание рассола	$S_{\text{рас}}$	мг/л	$S_{\text{рас}} = \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon} S_0$		
19	Коэффициент теплопроводности материала трубок	$\lambda_{\text{тр}}$	Вт/(мК)	принято лагунь или мельхиор		85-115 30
20	Средняя температура греющей воды	$t_{\text{гр. ср}}$	°С	$t_{\text{гр. ср}} = \frac{(t_{\text{гр.1}} + t_{\text{гр.2}})}{2}$		
21	Коэффициент теплопроводности греющей воды	$\lambda_{\text{гр}}$	Вт/мК	$1/(2,054 - 0,130 \cdot \ln t_{\text{гр. ср}})$		
22	Коэффициент кинематической вязкости греющей воды	$\nu_{\text{гр}}$	м ² /с	$10^{-6}/(0,548 + 0,0208 \cdot t_{\text{гр. ср}} + 8,064 \cdot 10^{-7} t_{\text{гр. ср}}^2)$		
23	Число Прандтля для греющей воды	$Pr_{\text{гр}}$		$1/(0,0705 + 0,00325 \cdot t_{\text{гр. ср}} + 1,8910^{-7} \cdot t_{\text{гр. ср}}^2)$		
24	Теплоемкость рассола	$C_{\text{рас}}$	кДж/кг	принимаем		3,92-3,94
25	Теплоемкость греющей воды	$C_{\text{гр}}$	кДж/кг	принимаем		4,18-4,19

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
26	Коэффициент сохранения тепла в опреснителе	φ	–	принимаем		0,96-0,98
27	Теплота образования вторичного пара	r	кДж/кг	по термодинамическим таблицам при $t_2 = t_0 + 20$		
28	Число перегородок в батарее	$n_{пер}$	–	принято по прототипу		5
29	Расстояние между перегородками	$h_{пер}$	м	$h_{пер} = h_{бат}/(n_{пер} + 1)$		
30	Диаметр корпуса батареи	$D_{бат}$	м	принято по прототипу		
31	Расход греющей воды	$W_{гр}$	м ³ /ч	принимается по прототипу		
32	Скорость греющей воды в межтрубном пространстве	$u_{гр}$	м/с	$u_{гр} = \frac{W_{гр}}{0,35 \cdot 3600 \cdot D_{бат} \cdot h_{пер}}$		
33	Число Рейнольдса для греющей воды	$Re_{гр}$	–	$u_{гр} \cdot d_{тр}/\nu_{гр}$		
34	Число Нуссельта для греющей воды	$Nu_{гр}$	–	$0,41 \cdot Re_{гр}^{0,41} \cdot Pr_{гр}^{0,33}$		
35	Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубки	α_1	Вт/м ² К	$\alpha_1 = \lambda_{гр} \cdot Nu_{гр}/d_{тр}$		
36	Температура насыщенного вторичного пара	t_2	°С	принимаем	t'_2, t''_2, t'''_2	$t_0 + 10$ $t_0 + 20$ $t_0 + 30$
37	Температурная депрессия	$\Delta t_{рас}$	°С	$\Delta t_{рас} = S_{рас}/80000$		
38	Плотность рассола	$\rho_{рас}$	кг/м ³	$1019 + 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot S_{рас} - 0,677 \cdot t_2$	ρ', ρ'', ρ'''	

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
39	Поправка на гидростатический эффект: а) по давлению б) по температуре ²⁰	ΔP $\Delta t_{гид}$	Па °C	$0,5g \cdot \chi \cdot h_{бат} \cdot \rho_{рас}$ по термодинамическим табл., $\Delta t = t_{(p+\Delta p)} - t_2$	$\Delta P', \Delta P'' \cdot \Delta P$ $\Delta t', \Delta t'', \Delta t'''$	
40	Расчетная температура рассола	$t_{рас}$	°C	$t_2 + \Delta t_{рас} + \Delta t_{гид}$	$t'_{рас} \cdot t''_{рас},$ $t'''_{рас}$	
41	Давление в камере испарения ²¹	$P_{исп}$	МПа	по термодинамическим таблицам	$P'_{исп}, P''_{исп}$ $P'''_{исп}$	
42	Толщина отложения накипи на трубках	σ_n	м	задано	0,0001	
43	Коэффициент теплопроводности накипи	λ_n	Вт/мК	принимается $\lambda_n = 1,5$		
44	Плотность теплового потока в батарее	$q_{бат}$	Вт/м ²	принимается предварительно 23 000 – 26 000		
45	Температура внутренней стенки трубок	$t_{ст}$	°C	$t_{ст} = t_{гр,ср} -$ $- q_{бат} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} \right)$		

²⁰ по t'_2, t''_2, t'''_2 определяем по таблицам P', P'', P''' и по $P + \Delta P$ определяем $t'_{P+\Delta P}, t''_{P+\Delta P}, t'''_{P+\Delta P}$. Затем по формуле определяем $\Delta t', \Delta t'', \Delta t'''$.

²¹ по $t'_{рас}, t''_{рас}, t'''_{рас}$ по термодинамическим таблицам определяем $P'_{исп}, P''_{исп}, P'''_{исп}$.

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
46	Средняя разность температур стенки трубки и кипящего рассола ²²	$\Delta t_{\text{исп}}$	°С	$\Delta t_{\text{исп}} = \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_{\text{рас}}$	$\Delta t'_{\text{исп}}, \Delta t''_{\text{исп}}, \Delta t'''_{\text{исп}}$	
47	Коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к кипящему рассолу	α_2	Вт/м ² К	$\alpha_2 = 136,3 \cdot p_{\text{исп}}^{0,54} \cdot \Delta t_{\text{исп}}^2$		
48	Коэффициент теплопередачи в греющей батарее	$K_{\text{бат}}$	Вт/м ² К	$K_{\text{бат}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_{\text{тр}}} + \frac{1}{\alpha_2}}$		
49	Средний логарифмический температурный напор в батарее	$\Delta t_{\text{бат лог}}$	°С	$\Delta t_{\text{бат лог}} = \frac{t_{\text{гр1}} - t_{\text{гр2}}}{\ln \frac{t_{\text{гр1}} - t_{\text{рас}}}{t_{\text{гр2}} - t_{\text{рас}}}}$		
50	Количество тепла, передаваемое в батарее	$Q_{\text{бат}}$	кВт	$Q_{\text{бат}} = K_{\text{бат}} \cdot F_{\text{бат}} \cdot \Delta t_{\text{бат лог}}$		
51	Скорость воды в трубках конденсатора	$u_{\text{кон}}$	м/с	$u_{\text{кон}} = \frac{4W_{\text{охл}} \cdot \eta_{\text{кон}}}{3600 \cdot \pi (d_{\text{кон}} - 2\delta_{\text{кон}})^2} Z_{\text{кон}}$		
52	Теплоемкость морской воды	$c_{\text{охл}}$	кДж/кг	принимается = 3,9		
53	Подогрев охлаждающей воды в конденсаторе	$\Delta t_{\text{кон}}$	°С	$\Delta t_{\text{кон}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{бат}} \cdot \varphi}{W_{\text{охл}} \cdot c_{\text{охл}}}$		
54	Температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора	$\Delta t_{\text{пв}}$	°С	$\Delta t_{\text{пв}} = t_0 + \Delta t_{\text{кон}}$		

²² Отрицательные значения $\Delta t_{\text{исп}}$ отбрасываем. Если отрицательных значений 2 и более, варьируем $q_{\text{бат}}$ в сторону уменьшения.

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
55	Средняя температура охлаждающей воды	$t_{\text{охл.ср}}$	°С	$0,5 \cdot (t_0 + \Delta t_{\text{пв}})$		
56	Коэффициент теплопередачи в конденсаторе	$K_{\text{кон}}$	Вт/м ² К	$K_{\text{кон}} = 924 \sqrt{u_{\text{кон}} \cdot \sqrt[4]{t_{\text{охл.ср}} + 17,8}}$		
57	Средний логарифмический напор в конденсаторе	$\Delta t_{\text{кон.лог}}$	°С	$\Delta t_{\text{кон.лог}} = \frac{t_{\text{пв}} - t_0}{\ln \frac{t_2 - t_0}{t_2 - t_{\text{пв}}}}$		
58	Количество тепла, передаваемое в конденсаторе	$Q_{\text{кон}}$	кВт	$Q_{\text{кон}} = K_{\text{кон}} \cdot N_{\text{кон}} \cdot \Delta t_{\text{кон}} / 1000$		
59	Количество тепла, передаваемое в опреснителе	$Q_{\text{исп}}$	кВт	Из графического решения уравнений 50 и 58		
60	Температура испарения	$t_{\text{исп}}$	°С	Из графического решения уравнений 50 и 58		
61	Температура рассола	$t_{\text{рас}}$	°С	Из графического решения уравнений 50 и 58		
62	Производительность опреснителя	W_2	т/сут	$W_2 = \left[r + (\varepsilon + 1) \cdot (t_{\text{рас}} - t_0) \right] \cdot 3,6 \cdot 24 \cdot Q_{\text{исп}}$		
63	Плотность теплового потока в багарее ²³	$q_{\text{бат}}$	Вт/м ²	$q_{\text{бат}} = (Q_{\text{исп}} \cdot 1000) / N_{\text{бат}}$		

²³ если $\frac{|q_{\text{бат}}^* - q_{\text{бат}}| \cdot 100}{q_{\text{бат}}^*} \geq 10\%$, подставляется в уравнение 44 $q_{\text{бат}} = \frac{(q_{\text{бат}}^* - q_{\text{бат}})}{2}$ и расчет повторяется.

Таблица 7

**Характеристики опреснительных установок типа «Д»,
работающих на тепле охлаждающей воды дизелей**

Наименование	Обозначение	Размерность	Численное значение			
			Д-2	Д-3	Д-4	Д-5
Производительность	W_2	т/сут	3,2	6,3	12,5	25
Тепловая мощность	$Q_{исп}$	кВт	93-112	186-221	365-434	726-863
Расход греющей воды	$W_{гр}$	м ³ /ч	12,5	25	50	100
Температура греющей воды	$t_{гр1}$	°С	60 - 80			
Коэффициент продувания	ε	—	3-4			
Плотность теплового потока в батарее	$q_{бат}$	кВт/м ²	20-26			
Поверхность нагрева батареи	$H_{бат}$	м ²	4,5	9,0	18	36
Высота батареи	$h_{бат}$	м	0,69			
Число перегородок в батарее	$n_{бат}$	-	5			
Диаметр корпуса батареи	$D_{бат}$	м	0,358	0,438	0,608	
Наружный диаметр трубок	d	м	0,016			
Толщина стенки трубок	σ	м	0,001			
Расход охлаждающей воды	$W_{охл}$	м ³ /ч	20	40	60	100
Температура охлаждающей воды	t_0	°С	-2 - 30			
Плотность теплового потока конденсатора	$q_{кон}$	кВт/м ²	23,5-29,4			
Поверхность нагрева конденсатора	$H_{кон}$	м ²	3,0	6,0	12	18
Число трубок в конденсаторе	$Z_{кон}$	-	76	120	180	320
Число ходов в конденсаторе	$n_{кон}$	-	2			
Соленость дистиллята	$S_{дист}$	мг/л	5			

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ТИПА К

Насосы типа К – горизонтальные, одноступенчатые, центробежные, консольного типа с рабочим колесом одностороннего входа – предназначены для подачи воды и других неагрессивных жидкостей с температурой до 105 °С. Буквы и цифры, составляющие марку насоса, например, 8К-18, означают: 8 – диаметр входного патрубка в мм, уменьшенный в 25 раз; К – консольный; 18 – коэффициент быстроходности насоса, уменьшенный в 10 раз и округленный.

Основные детали насосов типа К, представленного на рис. 20: корпус 1, крышка корпуса 3 со всасывающим патрубком, рабочее колесо 5, вал 11 и опорная стойка 19. Напорный патрубок 8 расположен под углом 90° к оси насоса и в зависимости от условий монтажа и эксплуатации может быть повернут вместе с корпусом на 90, 180 и 270°.

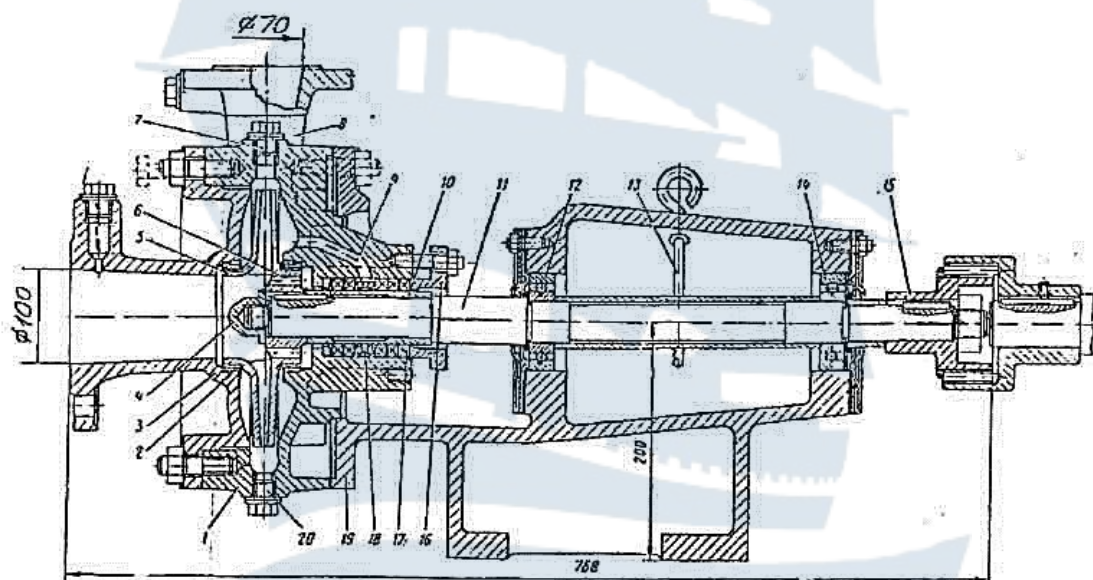


Рис. 20. Центробежный насос типа К (4К-8)

Корпус насоса представляет собой чугунную отливку, внутренняя полость которой выполнена в виде спирали с диффузорным каналом и напорным патрубком.

Крышка корпуса 3 со всасывающим патрубком – чугунная.

Рабочее колесо состоит из двух дисков – ведущего и ведомого, соединенных пространственными или цилиндрическими лопастями.

Ведущий диск у насосов, разгруженных от осевых сил, имеет несколько разгрузочных отверстий 6 и уплотнение для выравнивания осевых сил.

Вход жидкости в рабочее колесо – осевой. Рабочее колесо закреплено на валу с помощью фасонной гайки 4.

Сальник расположен в корпусе и состоит из хлопчатобумажной набивки 17, кольца гидравлического уплотнения 18 и нажимного стакана 16. Вода поступает в кольцо гидравлического уплотнения из корпуса по каналу 9 из напорной полости насоса.

Рабочие колеса, разгруженные от осевых сил, имеют двустороннее, остальные – одностороннее уплотнение. Уплотнение образуется за счет зазора между цилиндрическими поверхностями колеса и защитноуплотняющими кольцами 2. Величина зазора обычно не превышает 0,2-0,4 мм на радиусе.

Вал насоса 11 – стальной, вращается в шарикоподшипниках 12 и 14, размещенных в опорной стойке. Смазка подшипников осуществляется жидким маслом, заливаемым в корпус опорной стойки. Уровень масла контролируется стержнем – масломерником 13 через отверстие для заполнения масляной ванны.

В самой высокой точке корпуса имеется отверстие, закрытое пробкой 7, для присоединения вакуум-насоса с целью отсасывания воздуха из корпуса насоса и всасывающего трубопровода при пуске насоса. Пробка 20 служит для удаления из насоса оставшейся жидкости.

Шарикоподшипник 12 помимо радиальных нагрузок, воспринимает также и неуравновешенную часть осевой силы. Вал насоса в районе сальника защищен от износа облицовкой 10 и соединяется с валом электродвигателя при помощи муфты 15.

Между подшипниками и крышками корпуса опорной стойки устанавливаются регулировочные прокладки, обеспечивающие нормальное положение рабочего колеса относительно корпуса.

Вал насосов типа К вращается против часовой стрелки, если смотреть со стороны привода.

Насосы типа К выпускаются также и с фланцевым соединением с электродвигателем и в этом случае называются моноблокнасосами типа КМ.

Моноблокнасосы типа КМ отличаются от насосов типа К отсутствием опорной стойки и собственного вала. Корпус насоса крепится к фланцу электродвигателя. Проточная часть насосов типа К использована в насосах типа КМ без изменения, поэтому параметры моноблокнасосов типа КМ и соответствующих размеров насосов типа К одинаковы.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ «РАСЧЕТ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА»

Выбор исходных данных осуществляется по двум последним цифрам номера курсантского билета или зачетной книжки.

Две последние цифры № зачетной книжки	n , мин ⁻¹	Q , л/с	H (м)	Две последние цифры № зачетной книжки	n , мин ⁻¹	Q , л/с	H , м
1	2	3	4	5	6	7	8
01	2900	60	50	26	730	80	19
02	1450	35	70	27	730	100	155
03	1450	78	51	28	1450	67	65
04	2900	55	55	29	1450	93	80
05	1450	63	58	30	1450	95	118
06	1450	130	29	31	1900	35	75
07	1450	37,5	69	32	1450	105	40
08	960	10	16	33	1450	140	24,5
09	960	40	22	34	2900	15	38
10	960	65	28	35	2900	8	60
11	2900	50	60	36	960	20	18
12	2900	45	65	37	960	50	24
13	1450	40	68	38	960	75	30
14	1450	90	46	39	960	90	36
15	960	85	34	40	960	115	39
16	960	110	40	41	2900	30	80
17	960	125	35	42	2900	25	48
18	2900	16	48	43	1450	43	67
19	960	135	31	44	1450	58	60
20	1450	115	35,5	45	1450	65	57
21	1450	53	62	46	1450	80	50,5
22	2900	40	70	47	1450	110	38
23	2900	9	40	48	960	130	33
24	730	50	30,5	49	2900	9	52
25	730	65	23,5	50	960	140	30
51	730	45	34	86	1450	85	75
52	730	55	28	87	1450	110	90
53	730	70	22	88	2900	14	65

Приложение 2
(окончание таблицы)

1	2	3	4	5	6	7	8
54	2900	20	60	89	1450	25	31
55	730	85	18	90	1450	100	42
56	730	110	14	91	1450	75	52,5
57	2900	11	45	92	1450	50	63
58	1450	76	70	93	2900	11	37
59	1450	45	65,5	94	960	145	29
60	1450	95	44	95	2900	40	70
61	1450	120	33	96	2900	60	55
62	1450	135	27	97	2900	10	39
63	1450	100	84,5	98	2900	80	80
64	1450	129	100	99	2900	30	73
65	2900	18	36	00	2900	68	45
66	2900	10	40				
67	1450	55	61				
68	2900	27	40				
69	2900	6,5	36	.			
70	2900	16	33				
71	1450	48	64,5				
72	1450	60	59				
73	1450	73	54				
74	1450	85	48,5				
75	2900	13	42				
76	960	30	20				
77	960	55	26				
78	960	80	32				
79	960	100	38				
80	960	120	37				
81	2900	15	38				
82	730	60	25,5				
83	730	75	20,5				
84	730	90	17				

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА РУЛЕВОЙ МАШИНЫ

Вариант задания для выполнения второй части курсового проекта определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки. В таблице использованы сокращения для обозначения типа рулевой машины:

- гидравлическая с двумя парами плунжеров: ПК2;
- гидравлическая с одной парой плунжеров: ПК1;
- гидравлическая лопастная: Л;
- электрическая секторная: ЭС.

Последняя цифра № зачетной книжки	Размерения судна			Скорость судна, узл.	Тип рулевой машины	Судно-прототип
	длина L, м	ширина В, м	осадка Т, м			
1	2	3	4	5	6	7
01	200	27,8	10,8	16,0	ПК2	Китобойная база «Советская Украина» (проект 392)
02	-	-	-	15,6	ПК1	
03	-	-	-	15,2	Л	
04	38	9,3	4	11,4	ПК2	СТР «Надежный» (проект 420)
05	-	-	-	11,0	ПК1	
06	-	-	-	11,6	Л	
07	-	-	-	10,8	ЭС	
08	115	19	7	13,7	Л	РТК-С «Наталья Ковшова» (проект Франция)
09	-	-	-	13,0	ПК2	
10	49	9,8	4,5	12,0	Л	СРТМ «Железный поток» (проект 502Э)
11	-	-	-	11,5	ЭС	
12	168	23,8	8,9	14,0	ПК1	Консервная база «Владивосток» (проект 6819)
13	-	-	-	14,2	ПК2	
14	-	-	-	13,6	Л	
15	75	13,8	6	12,5	ПК1	БМРТ «Лесков» (проект В-26/Ш)
16	-	-	-	13,0	Л	
17	-	-	-	12,2	ПК2	

Приложение 3
(продолжение таблицы)

1	2	3	4	5	6	7
18	-	-	-	12,0	ЭС	
19	30	7,8	3,4	11,0	Л	МТЯ «Тунцелов-Г» (проект 1331)
20	-	-	3,0	11,0	ПК1	
21	-	-	3,6	11,2	ЭС	
22	-	-	3,4	10,8	ЭС	
23	150	20	7	12,7	ПК2	
24	-	-	-	12,5	ПК1	
25	-	-	-	12,3	Л	
26	92	15	5,5	14,6	ПК2	УПС «Призвание» (проект Атлантик 764)
27	-	-	-	15,0	Л	
28	-	-	-	14,8	ПК1	
29	-	-	-	14,0	ЭС	
30	142	22,2	8	17,3	ПК1	ТР «Карл Либкнехт» (проект ФЕБ Матиас Тезен)
31	-	-	-	17,5	ПК2	
32	-	-	-	17,0	Л	
33	-	-	-	16,5	ЭС	
34	22	6,8	2,8	9,5	ЭС	
35	-	-	-	10,0	ПК!	
36	128	18	7,8	22,8	ПК2	ТР «Ахтарский лиман» (проект ФРГ)
37	-	-	-	22,4	ПК1	
38	-	-	-	23,0	Л	
39	118	16,8	7,4	16,4	ПК1	ТР «Сибирь» (проект 569 А)
40	-	-	-	16,8	ПК2	
41	-	-	-	16,0	Л	
42	-	-	-	17,0	ЭС	
43	46	10,5	5,2	12,6	ПК1	СТР «Альпинист» (проект 503)
44	-	-	-	13,0	Л	
45	-	-	-	12,4	ПК2	
46	-	-	-	12,0	ЭС	

Приложение 3
(продолжение таблицы)

1	2	3	4	5	6	7
47	118	16,8	6,7	16,5	ЭС	УТР «Николай Зыцарь» (проект 581У8)
48	-	-	-	16,	ПК1	
49	-	-	-	17,0	ПК2	
50	-	-	-	16,3	Л	
51	50	9,4	3,8	11,7	ЭС	СРТР «Саргасса» (проект 502Р)
52	-	-	-	12,0	ПК1	
53	140	20,5	7,8	18,3	ПК1	ТР «Остров Русский» (проект Швеция)
54	-	-	-	18,5	ПК2	
55	-	-	-	18,0	ЭС	
56	-	-	-	18,9	Л	
57	73	13,6	5,3	13,0	ПК1	РТМ «Атлантик-Н» (проект ГДР)
58	-	-	-	13,3	ПК2	
59	-	-	-	13,6	Л	
60	-	-	-	12,7	ЭС	
61	107	19	6,6	15,0	ПК1	РТМК-С «Моонзунд» (проект Атлантик-488)
62	-	-	-	15,3	ПК2	
63	-	-	-	15,6	Л	
64	-	-	-	14,8	ЭС	
65	60	11	3,4	10,5	ПК1	ПР «Каспий» (проект ГДР)
66	-	-	-	10,75	ПК2	
67	-	-	-	11,0	Л	
68	-	-	-	10,2	ЭС	
69	105	17,4	5,6	14,3	ПК1	Тунцеловная база «Ленинский луч» (проект Япония)
70	-	-	-	14,7	ПК2	
71	-	-	-	15,0	Л	
72	-	-	-	14,0	ЭС	
73	91	15	5,8	14,8	ПК2	БМРТ «Прометей» (проект Атлантик-464, ГДР)
74	-	-	-	15,0	ЭС	

Приложение 3
(окончание таблицы)

1	2	3	4	5	6	7
75	-	-	-	15,2	ПК1	
76	-	-	-	15,5	Л	
77	48	9,5	2,8	9,9	ЭС	ПР «Зеленодольск» (проект 1361)
78	-	-	-	10,2	ПК1	
79	48	9,5	3,5	10,3		УС «Михаил Корсунов» (проект 136 ГУ)
80	-	-	-	10,7	ПК2	
81	100	17	7	15,0	ПК1	РТМ-С «Горизонт» (проект 1386)
82	-	-	-	15,3	ПК2	
83	-	-	-	15,6	Л	
84	-	-	-	16,0	ЭС	
85	55	13,8	6	13,0	ПК1	НИС «Профессор Марта» (проект Атлантик-833)
86	-	-	-	13,4	ЭС	
87	-	-	-	13,7	ПК2	
88	-	-	-	14,0	Л	
89	102	17	8	14,5	ПК1	РКТ-С «Антарктида» (проект 16080)
90	-	-	-	15,0	ПК2	
91	-	-	-	15,2	Л	
92	-	-	-	14,2	ЭС	
93	90	14	5,5	13,6	ЭС	ПР «Таврия» (проект 582)
94	-	-	-	13,8	ПК1	
95	-	-	-	14,0	ПК2	
96	-	-	-	14,2	Л	
97	65	13	5,3	13,0		ЗРС «Зверобой» (проект В-422)
98	-	-	-	13,3	ПК1	
99	-	-	-	13,6	ПК2	
00	-	-	-	13,9	Л	

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА
ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Расчитываемый опреснитель	Расход воды, охлаждающей м ³ /ч	Последняя цифра зачетной книжки	Температура греющей воды, °С		Коэффициент продувания	Температура заборной воды, °С
				на входе	на выходе		
0	Д2	15	0	60	50	3	10
1	Д2	20	1	65	55	4	10
2	Д3	30	2	60	50	3	15
3	Д3	35	3	65	55	3,5	15
4	Д3	40	4	70	60	4	15
5	Д4	40	5	65	55	3	20
6	Д4	50	6	70	60	3,5	20
7	Д4	60	7	75	65	4	20
8	Д5	80	8	70	60	3	25
9	Д5	100	9	75	65	4	25

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА
В СОСТОЯНИИ НАСЫЩЕНИЯ (ПО ТЕМПЕРАТУРЕ)**

t_s , °C	p , кПа	v' , м ³ /кг	v'' , м ³ /кг	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	g , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , кДж/(кг·К)
0	0,6108	0,0010002	206,32	-0,04	2501,0	2501,0	-0,0002	9,1565
1	0,6566	0,0010002	192,61	4,17	2502,8	2498,6	0,0152	9,1298
2	0,7054	0,0010001	179,94	8,39	2504,7	2496,3	0,0306	9,1035
3	0,7575	0,0010001	168,17	12,60	2506,5	2493,9	0,0459	9,0773
4	0,8129	0,0010000	157,27	16,80	2508,3	2491,5	0,0611	9,0514
5	0,8718	0,0010000	147,17	21,01	2510,2	2489,2	0,0762	9,0258
6	0,9346	0,0010000	137,768	25,21	2512,0	2486,8	0,0913	9,0003
7	1,0012	0,0010001	129,061	29,41	2513,9	2484,5	0,1063	8,9751
8	1,0721	0,0010001	120,952	33,60	2515,7	2482,1	0,1213	8,9501
9	1,1473	0,0010002	113,423	37,80	2517,5	2479,7	0,1362	8,9254
10	1,2271	0,0010003	106,419	41,99	2519,4	2477,4	0,1510	8,9009
11	1,3118	0,0010003	99,896	46,19	2521,2	2475,0	0,1658	8,8766
12	1,4015	0,0010004	93,828	50,38	2523,0	2472,6	0,1805	8,8525
13	1,4967	0,0010006	88,165	54,57	2524,9	2470,2	0,1952	8,8286
14	1,5974	0,0010007	82,893	58,75	2526,7	2467,9	0,2098	8,8050
15	1,7041	0,0010008	77,970	62,94	2528,6	2465,7	0,2243	8,7815
16	1,8170	0,0010010	73,376	67,13	2530,4	2463,3	0,2388	8,7583
17	1,9364	0,0010012	69,087	71,31	2532,2	2460,9	0,2533	8,7353
18	2,0626	0,0010013	65,080	75,50	2534,0	2458,5	0,2677	8,7125

Приложение 5
(продолжение таблицы)

tS, °C	p, кПа	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
19	2,1960	0,0010015	61,334	79,68	2535,9	2456,2	0,2820	8,6898
20	2,3368	0,0010017	57,833	83,86	2537,7	2453,8	0,2963	8,6674
21	2,4855	0,0010019	54,556	88,04	2539,5	2451,5	0,3105	8,6452
22	2,6424	0,0010022	51,488	92,22	2541,4	2449,2	0,3247	8,6232
23	2,8079	0,0010024	48,615	96,41	2543,2	2446,8	0,3389	8,6014
24	2,9824	0,0010026	45,923	100,59	2545,0	2444,4	0,3530	8,5797
25	3,1663	0,0010030	43,399	104,77	2546,8	2442,0	0,3670	8,5583
26	3,3600	0,0010032	41,031	108,95	2548,6	2439,6	0,3810	8,5370
27	3,5639	0,0010034	38,811	113,13	2550,4	2437,3	0,3949	8,5159
28	3,7785	0,0010037	36,726	117,31	2552,3	2435,0	0,4088	8,4950
29	4,0043	0,0010040	34,768	121,48	2554,1	2432,6	0,4227	8,4743
30	4,2417	0,0010043	32,929	125,66	2555,9	2430,2	0,4365	8,4537
31	4,4913	0,0010046	31,199	129,84	2557,7	2427,9	0,4503	8,4334
32	4,7536	0,0010049	29,572	134,02	2559,5	2425,5	0,4640	8,4132
33	5,0290	0,0010053	28,042	138,20	2561,4	2423,2	0,4777	8,3932
34	5,3182	0,0010056	26,602	142,38	2563,2	2420,8	0,4913	8,3733
35	5,6217	0,0010060	25,246	146,56	2565,0	2418,4	0,5049	8,3536
36	5,9401	0,0010063	23,968	150,74	2566,8	2416,1	0,5184	8,3341
37	6,2740	0,0010067	22,764	154,92	2568,6	2413,7	0,5319	8,3147
38	6,6240	0,0010070	21,629	159,09	2570,4	2411,3	0,5453	8,2955
39	6,9907	0,0010074	20,558	163,27	2572,2	2408,9	0,5588	8,2765

Приложение 5
(продолжение таблицы)

tS, °C	p, кПа	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
40	7,3749	0,0010078	19,548	167,45	2404,2	2406,5	0,5721	8,2389
41	7,7772	0,0010082	18,594	171,63	2575,8	2404,2	0,5854	8,2389
42	8,1983	0,0010086	17,694	175,81	2577,6	2401,8	0,5987	8,2203
43	8,6390	0,0010090	16,843	179,99	2579,4	2399,4	0,6120	8,2019
44	9,0998	0,0010094	16,039	184,17	2581,1	2396,9	0,6252	8,1836
45	9,5817	0,0010099	15,278	188,35	2394,5	2394,5	0,6383	8,1655
46	10,085	0,0010103	14,559	192,53	2584,7	2392,2	0,6514	8,1475
47	10,612	0,0010107	13,879	196,71	2586,5	2389,8	0,6645	8,1297
48	11,161	0,0010112	13,236	200,89	2588,3	2387,4	0,6776	8,1121
49	11,735	0,0010116	12,626	205,07	2590,1	2385,0	0,6906	8,0945
50	12,335	0,0010121	12,048	209,26	2382,5	2382,5	0,7035	8,0771
51	12,960	0,0010126	11,501	213,44	2593,6	2380,2	0,7164	8,0598
52	13,612	0,0010131	10,982	217,62	2595,4	2377,8	0,7293	8,0427
53	14,292	0,0010136	10,490	221,80	2597,2	2375,4	0,7422	8,0258
54	15,001	0,0010140	10,024	225,98	2598,9	2372,9	0,7550	8,0089
55	15,740	0,0010145	9,5812	230,17	2600,7	2370,5	0,7677	7,9922
56	16,510	0,0010150	9,1609	234,35	2602,4	2368,1	0,7804	7,9756
57	17,312	0,0010156	8,7618	238,54	2604,2	2365,7	0,7931	7,9591
58	18,146	0,0010161	8,3831	242,72	2606,0	2363,3	0,8058	7,9428
59	19,015	0,0010166	8,0229	246,91	2607,7	2360,8	0,8184	7,9266
60	19,919	0,00101712	7,6807	251,09	2609,5	2358,4	0,8310	7,9106
61	20,859	0,0010177	7,3554	255,28	2611,2	2355,9	0,8435	7,8946

Приложение 5
(продолжение таблицы)

tS, °C	p, кПа	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
62	21,837	0,001082	7,0458	259,46	2613,0	2353,5	0,8560	7,8788
63	22,854	0,0010188	6,7512	263,65	2614,7	2351,1	0,8685	7,8631
64	23,910	0,0010193	6,4711	267,84	2616,4	2348,6	0,8809	7,8475
65	25,008	0,0010199	6,2042	272,02	2618,2	2346,2	0,8933	7,8320
66	26,148	0,0010205	5,9502	276,21	2619,9	2343,7	0,9057	7,8167
67	27,332	0,0010211	5,7082	280,40	2621,6	2341,2	0,9180	7,8015
68	28,561	0,0010217	5,4775	284,59	2623,3	2338,7	0,9303	7,7864
69	29,837	0,0010222	5,2576	288,78	2625,1	2336,3	0,9426	7,7714
70	31,161	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8	0,9548	7,7565
71	31,161	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8	0,9548	7,7565
72	32,533	0,0010235	4,8481	297,16	2628,5	2331,3	0,9670	7,7417
73	33,957	0,0010241	4,6574	301,36	2630,2	2328,8	0,9792	7,7270
74	35,433	0,0010247	4,4753	305,55	2631,9	2326,3	0,9913	7,7125
75	36,963	0,0010253	4,3015	309,74	2633,6	2323,9	1,0034	7,6980
76	40,190	0,0010266	3,9771	318,13	2637,0	2318,9	1,0275	7,6694
77	41,890	0,0010272	3,8257	322,33	2638,7	2316,4	1,0395	7,6553
78	43,650	0,0010279	3,6811	326,52	2640,4	2313,9	1,0514	7,6413
79	45,473	0,0010285	3,5427	330,72	2642,1	2311,4	1,0634	7,6274
80	47,359	0,0010292	3,4104	334,92	2643,8	2308,9	1,0752	7,6135
81	49,310	0,0010299	3,2839	339,11	2645,4	2306,3	1,0871	7,5998
82	51,328	0,0010305	3,1629	343,31	2647,1	2303,8	1,0990	7,5862
83	53,415	0,0010312	3,0471	347,51	2648,8	2301,3	1,1108	7,5726

Приложение 5
(окончание таблицы)

tS, °C	p, кПа	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
84	55,572	0,0010319	2,9362	351,71	2650,4	2298,7	1,1225	7,5592
85	57,803	0,0010326	2,8300	355,92	2652,1	2296,2	1,1343	7,5459
86	60,107	0,0010333	2,7284	360,12	2653,7	2293,6	1,1460	7,5326
87	62,488	0,0010340	2,6309	364,32	2655,4	2291,1	1,1577	7,5195
88	64,947	0,0010347	2,5376	368,53	2657,0	2288,5	1,1693	7,5064
89	67,486	0,0010354	2,4482	372,73	2658,7	2286,0	1,1809	7,4934
90	70,,108	0,0010361	2,3624	376,94	2660,3	2283,4	1,1925	7,7805
91	72,814	0,0010369	2,2801	381,15	2661,9	2280,7	1,2041	7,4677
92	75,607	0,0010376	2,2012	385,36	2663,5	2278,1	1,2156	7,4550
93	78,488	0,0010384	2,1256	389,57	2665,2	2275,6	1,2271	7,4424
94	81,460	0,0010391	2,0529	393,78	2666,8	2273,0	1,2386	7,4299
95	84,525	0,0010398	1,9832	397,99	2668,4	2270,4	1,2500	7,4174
96	87,685	0,0010406	1,9163	402,20	2670,0	2267,8	1,2615	7,4051
97	90,943	0,0010414	1,8520	406,42	2671,6	2265,2	1,2729	7,3928
98	94,301	0,0010421	1,7902	410,63	2673,2	2262,6	1,2842	7,3806
99	97,760	0,0010429	1,7309	414,85	2674,8	2259,9	1,2956	7,3685
100	101,325	0,0010434	1,6738	419,06	2676,3	2257,2	1,3069	7,73564

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА
В СОСТОЯНИИ НАСЫЩЕНИЯ (ПО ДАВЛЕНИЮ)**

p, кПа	t_s, °C	v', м³/кг	v'', м³/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
1	13,034	0,0010006	87,982	54,71	2525,0	2470,3	0,1956	8,8278
1,5	17,511	0,0010012	67,006	73,45	2533,2	2459,8	0,2606	8,7236
2,0	19,029	0,0010015	61,229	79,80	2535,9	2456,1	0,2824	8,6892
2,2	20,431	0,0010018	56,392	85,67	2538,5	2452,8	0,3024	8,6578
2,4	21,094	0,0010020	54,256	88,44	2539,7	2451,3	0,3119	8,6431
2,5	21,735	0,0010021	52,282	91,12	2540,9	2449,8	0,3210	8,6290
2,6	22,953	0,0010024	48,745	96,21	2543,1	2446,9	0,3382	8,6024
2,8	24,098	0,0010027	45,668	101,00	2545,2	2444,2	0,3543	8,5776
3,0	25,178	0,0010029	42,967	105,51	2547,2	2441,7	0,3695	8,5545
3,2	26,200	0,0010032	40,575	109,78	2549,0	2439,2	0,3838	8,5327
3,4	26,692	0,0010033	39,480	111,84	2549,9	2438,1	0,3907	8,5224
3,5	27,172	0,0010035	38,443	113,84	2550,8	2437,0	0,3973	8,5123
3,6	28,097	0,0010037	36,530	117,71	2552,5	2434,8	0,4102	8,4930
3,8	28,981	0,0010040	34,803	121,41	2554,1	2432,7	0,4224	8,4747
4,0	29,828	0,0010043	33,237	124,94	2555,6	2430,7	0,4341	8,4573
4,2	30,640	0,0010045	31,810	128,34	2557,1	2428,8	0,4453	8,4407
4,4	31,034	0,0010046	31,142	129,98	2557,8	2427,8	0,4507	8,4327
4,5	31,420	0,0010048	30,503	131,60	2558,5	2426,9	0,4560	8,4249
4,6	32,172	0,0010050	29,303	134,74	2559,9	2425,2	0,4663	8,4097
4,8	32,90	0,0010052	28,196	137,77	2561,2	2423,4	0,4762	8,3952

Приложение 6
(продолжение таблицы)

P, кПа	t_s, °C	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
5,0	33,60	0,0010055	27,172	140,70	2562,4	2421,7	0,4858	8,3813
5,2	34,27	0,0010057	26,222	143,52	2563,6	2420,1	0,4950	8,3678
5,4	34,60	0,0010058	25,772	144,91	2564,2	2419,3	0,4995	8,3613
5,5	34,93	0,0010059	25,338	146,27	2564,8	2418,5	0,5039	8,3550
5,6	35,57	0,0010062	24,514	148,92	2566,0	2417,1	0,5125	8,3426
5,8	36,18	0,0010064	23,742	151,50	2567,1	2415,6	0,5209	8,3305
6,0	36,78	0,0010066	23,020	154,01	2568,2	2414,2	0,5290	8,3189
6,2	37,37	0,0010068	22,342	156,44	2569,2	2412,8	0,5368	8,3077
6,4	37,65	0,0010069	22,017	157,64	2569,7	2412,1	0,5401	8,3022
6,5	37,93	0,0010070	21,703	158,81	2570,3	2411,5	0,5444	8,2968
7,0	38,49	0,0010072	21,101	161,12	2571,3	2410,2	0,5519	8,2863
7,5	39,02	0,0010074	20,532	163,38	2572,2	2408,8	0,5591	8,2760
8,0	40,32	0,0010079	19,241	168,77	2574,5	2405,7	0,5763	8,2517
8,5	41,53	0,0010084	18,106	173,87	2576,7	2402,8	0,5926	8,2289
9,0	42,69	0,0010089	17,102	178,69	2578,8	2400,1	0,6079	8,2076
9,5	43,79	0,0010094	16,206	183,28	2580,8	2397,5	0,6224	8,1875
10	44,83	0,0010098	15,402	187,66	2582,6	2394,9	0,6361	8,1685
11	45,83	0,0010102	14,676	191,84	2584,4	2392,6	0,6493	8,1505
12	47,71	0,0010111	13,418	199,68	2587,8	2388,1	0,6738	8,1171
13	49,45	0,0010119	12,364	206,94	2590,9	2384,0	0,6963	8,0867
14	51,06	0,0010126	11,467	213,70	2593,7	2380,0	0,7172	8,0588
15	52,58	0,0010133	10,696	220,03	2596,4	2376,4	0,7367	8,0330
16	54,00	0,0010140	10,025	225,98	2598,9	2372,9	0,7549	8,0089

Приложение 6
(продолжение таблицы)

P, кПа	t_s, °C	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
17	55,34	0,0010147	9,4348	231,60	2601,3	2369,7	0,7721	7,9865
18	56,62	0,0010154	8,9128	236,93	2603,5	2366,6	0,7883	7,9655
19	57,83	0,0010160	8,4470	242,00	2605,7	2363,7	0,8036	7,9456
20	58,98	0,0010166	8,0288	246,83	2607,7	2360,9	0,8182	7,9269
21	60,09	0,0010172	7,6515	251,46	2600,6	2358,1	0,8321	7,9092
22	61,15	0,0010178	7,3091	255,89	2611,5	2355,6	0,8454	7,8923
23	62,16	0,0010183	6,9967	260,14	2613,2	2353,1	0,8581	7,8762
24	63,14	0,0010189	6,7110	264,24	2614,9	2350,7	0,8703	7,8609
25	64,08	0,0010194	6,4483	268,18	2616,6	2348,4	0,8820	7,8462
26	64,99	0,0010199	6,2060	271,99	2618,1	2346,1	0,8932	7,8321
27	65,87	0,0010204	5,9819	275,68	2619,7	2344,0	0,9041	7,8186
28	66,72	0,0010209	5,7739	279,24	2621,1	2341,9	0,9146	7,8057
29	67,55	0,0010214	5,5804	282,70	2622,6	2339,9	0,9248	7,7932
30	68,35	0,0010219	5,3998	286,05	2624,0	2337,9	0,9346	7,7811
32	70,62	0,0010232	4,9238	295,55	2627,8	2332,2	0,9623	7,7474
34	72,03	0,0010241	4,6518	301,48	2630,3	2328,8	0,9795	7,7266
36	73,37	0,0010249	4,4092	307,12	2632,5	2325,4	0,9958	7,7070
40	75,89	0,0010265	3,9949	317,65	2636,8	2319,2	1,0261	7,6711
42	77,06	0,0010272	3,8165	322,60	2638,8	2316,2	1,0403	7,6544
44	78,19	0,0010280	3,6537	327,36	2640,7	2313,3	1,0539	7,6386
46	79,28	0,0010287	3,5047	331,95	2642,5	2310,5	1,0669	7,6234
48	80,33	0,0010294	3,3678	335,35	2644,3	2308,9	1,0794	7,6090
50	81,35	0,0010301	3,2415	340,57	2646,0	2305,4	1,0912	7,5951

Приложение 6
(окончание таблицы)

P, кПа	t_s, °C	v', м3/кг	v'', м3/кг	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
50	81,35	0,0010301	3,2415	340,57	2646,0	2305,4	1,0912	7,5951
55	83,74	0,0010317	2,9648	350,61	2650,0	2299,4	1,1194	7,5627
60	85,95	0,0010333	2,7329	359,93	2653,6	2293,7	1,1454	7,5332
65	88,02	0,0010347	2,5357	368,62	2657,0	2288,4	1,1696	7,5061
70	89,96	0,0010361	2,3658	376,77	2660,2	2283,4	1,1921	7,4811
75	91,78	0,0010375	2,2179	384,45	2663,2	2278,8	1,2132	7,4577
80	93,51	0,0010387	2,0879	391,72	2666,0	2274,3	1,2330	7,4360
85	95,14	0,0010400	1,9728	398,63	2668,6	2270,0	1,2518	7,4155
90	96,71	0,0010412	1,8701	405,21	2671,1	2265,9	1,2696	7,3963
95	98,20	0,0010423	1,7779	411,49	2673,5	2262,0	1,2865	7,3781
100	99,63	0,0010434	1,6946	417,51	2675,7	2258,2	1,3027	7,3608
110	102,32	0,0010455	1,5501	428,84	2680,0	2251,2	1,3330	7,3288



978210002036

Сергей Николаевич Шевченко

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА,
РУЛЕВОЙ МАШИНЫ И ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ
ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Методические указания
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Судовые вспомогательные механизмы,
системы и устройства» для студентов/курсантов
специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых
энергетических установок»
всех форм обучения

*Ведущий редактор М.Б. Априянц
Младший редактор Г.В. Деркач*

Лицензия № 021350 от 28.06.99.

*Компьютерное редактирование
И.В. Леонова*

Печать офсетная.

*Подписано в печать 15.07.2019 г.
Усл. печ. л. 3,8. Уч.-изд. л. 4,3.*

Формат 60 x 90 1/16.

Заказ № 1438. Тираж 50 экз.

Доступ к архиву публикации и условия доступа к нему:
<http://bgarf.ru/academy/biblioteka/elektronnyj-katalog/>

БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»

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