

Г. Ф. Быстрицкий

**ТЕПЛОСИЛОВОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

(справочные материалы)

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ
ЭНЕРГЕТИК**

Вниманию специалистов

Вышли в свет следующие выпуски

“Библиотечки электротехника”:

Воротницкий В. Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: анализ и опыт снижения.

Овчаренко Н. И. Цифровые аппаратные и программные элементы микропроцессорной релейной защиты и автоматики энергосистем.

Шабад М. А. Делительные защиты — автоматика деления при авариях.

Панфилов В. А. Аналоговые методы и средства электрических измерений.

Удрис А. П. Векторные диаграммы и их использование при наладке и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики (части 1 и 2).

Киреева Э. А. Современные средства контроля и измерения в электроснабжении (Справочные материалы. Части 1 и 2).

Иноземцев Е. К. Подшипниковые узлы электродвигателей, эксплуатирующихся на электростанциях (части 1 и 2).

Соловьев А. Л. Защита асинхронных электрических двигателей напряжением 0,4 кВ.

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **“ПРЕССА РОССИИ”**. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Индексы “Библиотечки электротехника”

— приложения к журналу “Энергетик”

88983 — для предприятий и организаций;

88982 — для индивидуальных подписчиков.

Адрес редакции
журнала **“Энергетик”**:

115280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23.

Телефон (495) 675-19-06

E-mail: energetick@mail.ru

Библиотечка электротехника

— приложение к журналу “Энергетик”

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 6 (102)

Г. Ф. Быстрицкий

ТЕПЛОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

(справочные материалы)

Москва

НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”

2007

УДК 621.311.22
ББК 31.363
Б 95

Главный редактор журнала “Энергетик” А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

“Библиотечки электротехника”

В. А. Семенов (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, Л. Г. Мамиконянц, Л. Ф. Плетнев, В. И. Пуляев,
Ю. В. Усачев, М. А. Шабад

Быстрицкий Г. Ф.

Б 95 Теплосиловое оборудование промышленных предприятий (справочные материалы). — М.: НТФ “Энергопрогресс”, 2007. — 88 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу “Энергетик”; Вып. 6 (102)].

Приведены основные сведения и характеристики энергетических твердых, жидких и газообразных топлив; даны расчеты процессов горения.

Представлены конструкции и основные параметры паровых и водогрейных промышленных котлов; тепловой баланс и коэффициент полезного действия. Даны различные виды нагнетательных машин: центробежных насосов и вентиляторов, воздуходувок и центробежных компрессоров, их характеристики и способы регулирования. Представлен обширный справочный материал.

Для эксплуатационного и другого технического персонала.

ISSN 0013-7278 © НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”, 2007

Предисловие

Энергетическое хозяйство современного промышленного предприятия наряду с общим электротехническим оборудованием включает в себя значительное количество энергосилового и тепломеханического оборудования.

Котельные установки обеспечивают паром и горячей водой технологические потребности промышленных предприятий и системы отопления, для чего используются разнообразные теплообменные аппараты и устройства. Обеспечение водой (водопроводной и технической) и подача различных технологических растворов на предприятиях осуществляются с помощью насосов, как правило, центробежного типа.

Вентиляторы общепромышленного назначения, являющиеся составной частью систем общеобменной и местной вентиляции в производственных цехах и служебных помещениях, используются в системах кондиционирования воздуха и др.

Технологические потребности предприятий в сжатом воздухе (для прессов, молотов, пневмоинструмента, окраски и пр.) удовлетворяются с помощью компрессоров различных видов — центробежных, поршневых и др.

Как правило, энергосиловое оборудование находится в ведении отдела главного энергетика промышленного предприятия. Надежность и эффективная работа этого оборудования в значительной мере определяют эффективность всего производственного процесса, что обуславливает необходимость знания эксплуатационным и другим техническим персоналом устройства, технических характеристик и способов регулирования теплосилового оборудования.

Брошюра послужит хорошим материалом работникам эксплуатации, техникам, высококвалифицированным рабочим в их практической деятельности по выбору тепломеханического оборудования.

Замечания и пожелания по брошюре

просим направлять по адресу:

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.

Редакция журнала “Энергетик”.

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Энергетическое топливо

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В базовой и промышленной энергетике для получения электрической и тепловой энергии используются в основном топлива органического происхождения. Все виды органического топлива (горючие) представляют собой углеводородные соединения, в которые входят небольшие количества других веществ.

К *твердому топливу* относят: антрацит, каменный и бурый уголь, торф, дрова, сланцы, отходы лесопильных заводов и деревообделочных цехов, а также растительные отходы сельскохозяйственного производства — солому, костру, лузгу и др.

К *жидкому топливу* относят нефть, а также различные продукты ее переработки: бензин, керосин, лигроин, разнообразные масла и остаточный продукт нефтепереработки нефти — мазут.

До 70 % и более жидких топлив используется на транспорте — в авиации, автомобилях, тракторах, судах, на железнодорожном транспорте (тепловозы), около 30 % сжигается в виде мазута на тепловых электростанциях и в промышленных котельных.

К *газообразному топливу* относят природный газ, добываемый из недр земли, попутный нефтяной газ, газообразные отходы металлургического производства (коксовый и доменный газ), крекинг-газ, а также генераторный газ, получаемый искусственным путем из твердого топлива в особых газогенераторных установках.

1.2. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СОСТАВ ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО ТОПЛИВ

Топливо в том виде, в каком оно поступает для сжигания в топке котлов или в двигатели внутреннего сгорания, называется рабочим. В общем случае в состав рабочего (твердого или жидкого) топлива

входят углерод С, водород Н, кислород О, азот N, летучая сера S, а также негорючие минеральные примеси — зола A и влага W.

Для рабочей массы топлива имеет место равенство:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100 \%, \quad (1.1)$$

где C^P , H^P , O^P и т.д. — элементы рабочего топлива, % общей массы топлива.

Влага, содержащаяся в топливе совместно с золой, называется балластом топлива.

В естественных видах ископаемого твердого топлива встречается сера трех разновидностей:

- органическая S^o , связанная с другими элементами топлива С, Н, N и О в виде сложных органических соединений;
- колчеданная S^K в виде пирита, колчедана FeS_2 ;
- сульфатная $S^{сульф}$ в виде солей серной кислоты (гипс, $FeSO_4$ и др.).

Сульфаты представляют собой высокие оксиды серы, поэтому находящаяся в них сера гореть не может. Присутствующие в топливе органическая и колчеданная сера сгорают, образуя токсичный сернистый ангидрид SO_2 и (в небольших количествах) еще более токсичный серный ангидрид SO_3 . Выброс их с продуктами сгорания вызывает загрязнение воздушного бассейна. Органическая и колчеданная сера образуют вместе летучую горючую серу $S_{л}$; общее содержание серы в топливе

$$S_{общ} = S^o + S^K + S^{сульф} = S_{л} + S^{сульф}.$$

В горючую часть топлива входит только летучая сера, остальная сера в горении участия не принимает и может быть отнесена к балласту топлива.

Для правильного представления о тепловых свойствах топлива вводится понятие горючей массы, для которой

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S_{л}^r = 100 \%,$$

где верхний индекс показывает, что процентный состав отдельных элементов отнесен к горючей массе.

Название “горючая масса” носит условный характер, так как действительно горючими ее элементами является только *углерод, водород и сера*. Углерода, преобладающего компонента твердых и жидких топлив, в топливах обычно содержится от 50 до 95 %, тогда как содержание водорода H^r колеблется в пределах от 1 до 11, а серы $S_{л}^r$ — от 0 до 8 %. Горючую массу можно характеризовать как топливо, не

содержащее золы и в абсолютно сухом состоянии. Содержание азота в горючей массе твердых топлив обычно составляет 1 — 2 % по массе. Несмотря на столь малое количество, азот является весьма вредным компонентом, поскольку при сгорании азотсодержащих соединений в высокотемпературных топках образуются сильнотоксичные оксиды NO и NO₂ (они образуются также из атмосферного азота, но в меньшей степени).

Для топлива, содержащего большое количество влаги (бурый уголь, торф, дрова, некоторые растительные отходы), в некоторых случаях удобно использовать понятие сухой массы, т.е. характеризовать состав абсолютно сухого топлива суммой элементов C^c, H^c, O^c, N^c, S^c и A^c. При этом

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100 \%,$$

где верхний индекс показывает, что процентный состав отдельных элементов отнесен к сухой массе.

Для взаимного пересчета массы топлива в соответствии с понятием о массах топлива служат формулы, объединенные в табл. 1.1.

Зольность топлива. Золой называют твердый негорючий остаток, образующийся после сжигания топлива в атмосфере воздуха. Зола может быть в виде сыпучей массы плотностью в среднем 600 кг/м³ и в виде сплавленных пластин и кусков, называемых шлаками, плотностью до 800 кг/м³.

В состав золы большинства видов твердого топлива входят: глинозем Al₂O₃, кремниевая кислота SiO₂, известь CaO, магнезия MgO, щелочи Na₂O, оксиды железа FeO и Fe₂O₃.

Влажность твердого топлива W^p доходит до 50 % и более и определяет экономическую целесообразность использования данного горючего материала и возможность его сжигания. Влага снижает

Таблица 1.1. Формулы для пересчета состава топлива с одной массы на другую

Заданная масса топлива	Искомая масса топлива, %		
	Рабочая	Сухая	Горючая
Рабочая	1	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - (W^p + A^p)}$
Сухая	$\frac{100 - W^p}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горючая	$\frac{100 - (W^p + A^p)}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

температуру в топке и увеличивает объем дымовых газов, что требует дополнительного расхода энергии на их удаление.

Очевидно, что влага является балластной примесью, так как уменьшает тепловую ценность исходного топлива. Кроме того, часть теплоты, выделяемой топливом при его сгорании, расходуется на испарение влаги.

Летучие вещества. При нагревании твердого топлива без доступа воздуха его органическая масса разлагается, в результате чего образуются газы, водяные и смоляные пары и углесодержащий остаток. Суммарное количество выделяющихся летучих веществ увеличивается с повышением температуры и времени выдержки, этот процесс в основном заканчивается при $700 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Выход летучих веществ V^{Γ} , % на горючую массу, является важнейшей характеристикой горючей массы твердого топлива и уменьшается по мере увеличения его возраста. Чем больше выход летучих веществ, т.е. чем больше топлива превращается при нагревании в горючий газ, тем проще зажечь это топливо и легче поддерживать устойчивое горение. Органическая часть древесины и горючих сланцев при нагревании без доступа воздуха почти целиком переходит в летучие вещества ($V^{\Gamma} = 85 \div 90\%$), в то время как у антрацитов $V^{\Gamma} = 3 \div 4\%$. Именно большой выход летучих веществ определяет хорошую горючесть древесины.

Состав некоторых видов твердого топлива представлен в табл. 1.2.

Жидкое топливо. Практически все жидкие топлива получают путем переработки нефти (бензин, керосин, дизельное топливо и мазут). Мазут представляет собой сложную смесь жидких углеводородов, в состав которых входят в основном углерод ($C^p = 84 \div 86\%$) и

Таблица 1.2. Примерный состав и теплотехнические характеристики горючей массы основных видов твердого топлива

Топливо	Состав горючей массы, %					Выход летучих веществ V^{Γ} , %	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
	C^{Γ}	S^{Γ}	H^{Γ}	O^{Γ}	N^{Γ}		
Дрова	51	—	6,1	42,2	0,6	85	19
Торф	58	0,3	6	33,6	2,5	70	8,12
Горючий сланец	60 — 75	4 — 13	7 — 10	12 — 17	0,3 — 1,2	80 — 90	7,66
Бурый уголь	64 — 78	0,3 — 6	3,8 — 6,3	15,3	0,6 — 1,6	40 — 60	27
Каменный уголь	75 — 90	0,5 — 6	4 — 6	2 — 13	1 — 2,7	9 — 50	33
Полуантрацит	90 — 94	0,5 — 3	3 — 4	2 — 5	1	6 — 9	34
Антрацит	93 — 94	2 — 3	2	1 — 2	1	3 — 4	33

водород ($H^p = 10 \div 12 \%$); $O^p + N^p = 1 \div 2 \%$, содержание воды и зольность не превышают $0,2 - 1,5 \%$. Мазуты, полученные из нефти ряда месторождений, могут содержать много серы (до 5%), что резко усложняет защиту окружающей среды при их сжигании.

Характеристики основных жидких топлив приведены в табл. 1.3.

Из указанных выше жидких топлив в промышленных и котельных печах сжигаются только топочные мазуты, которые классифицируются по степени их вязкости: М20, М40, М60, М80, М100 и М120 (цифры в марках мазута указывают условную вязкость в градусах Энглера).

Газообразное топливо по сравнению с другими видами топлив имеет ряд существенных преимуществ. Газообразное топливо сгорает при небольшом избытке воздуха, образуя продукты полного сгорания без дыма и копоти, не дает твердых остатков, удобно для транспортировки по газопроводам на большие расстояния и позволяет простейшими средствами осуществлять сжигание в установках самых различных конструкций и мощностей. Газообразное топливо делится на естественное и искусственное. Естественное, в свою очередь, делится на природное и нефтепромысловое.

Природный газ получают из чисто газовых месторождений, где он выбрасывается из недр земли под давлением, составляющим иногда 100 ат и более. Основным его компонентом является метан CH_4 , кроме того, в газе разных месторождений содержатся небольшие количества водорода H_2 , азота N_2 , высших углеводородов C_nH_m , оксида СО и диоксида CO_2 углерода.

Таблица 1.3. Характеристики некоторых жидких топлив, получаемых из нефти

Топливо	Состав горючей массы, %				Зольность сухого топлива A^c , %	Количество влаги рабочего топлива W^p , %	Низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг
	C^g	H^g	S^g	$O^g + N^g$			
Бензин	85	14,9	0,05	0,05	0	0	43,8
Керосин	86	13,7	0,2	0,1	0	0	43,0
Дизельное	86,3	13,3	0,3	0,1	Следы	Следы	42,4
Солярное	86,5	12,8	0,3	0,4	0,02	Следы	42,0
Моторное	86,5	12,6	0,4	0,5	0,05	1,5	41,5
Мазут:							
малосернистый	86,5	12,5	0,5	0,5	0,1	1,0	41,3
сернистый	85	11,8	2,5	0,7	0,15	1,0	40,2
многосернистый	84	11,5	3,5	0,5	0,1	1,0	40,0

При добыче нефти выделяется так называемый *попутный газ*, содержащий меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов и поэтому выделяющий при сгорании больше теплоты. Проблема полного его использования сейчас весьма актуальна.

К искусственным газам относят *доменный газ*, являющийся продуктом при выплавке чугуна на металлургических заводах; *коксовый*, образующийся при получении кокса в коксовых батареях; *светильный*, получаемый при сухой перегонке угля; *генераторный*, получаемый в газогенераторах.

Коксовый и доменный газ используют главным образом на месте в доменном и других цехах металлургического завода.

В табл. 1.4 представлены состав и теплота сгорания некоторых горючих газов.

Теплота сгорания топлива. Основной характеристикой топлива является так называемая теплота сгорания. Теплотой сгорания твердого и жидкого топлива называется количество тепла, кДж, выделяемого 1 кг топлива при его полном сгорании. Теплоту сгорания обозначают буквой Q и измеряют в килоджоулях на килограмм (кДж/кг) (в системе МКГСС — ккал/кг).

Теплоту сгорания газообразного топлива относят обычно к 1 м³, взятому при нормальных условиях (0 °С, 760 мм рт. ст.), и измеряют в килоджоулях на кубический метр (кДж/м³). Теплота сгорания зависит от химического состава топлива и условий его сжигания. В соответствии с понятием органической, горючей и других масс топлива она может быть отнесена к одной из этих масс. Наибольший практический интерес представляет теплота сгорания рабочей массы топлива.

Таблица 1.4. Состав и теплота сгорания основных горючих газов

Газ	Состав сухого газа, % по объему								Нижшая теплота сгорания газа Q_n^c , МДж/м ³
	CH ₄	H ₂	CO	C _m H _n	O ₂	CO ₂	S	N ₂	
Природный	94,9	—	—	3,8	—	0,4	—	0,9	36,7
Коксовый (очищенный)	22,5	57,5	6,8	1,9	0,8	2,3	0,4	7,8	16,6
Доменный	0,3	2,7	28	—	—	10,2	0,3	58,5	4,0
Сжиженный (ориентировочно)	4	Пропан 79, этан 6, изобутан 11							88,5

Низшей теплотой сгорания Q_H^p рабочего топлива называют тепло, выделяемое при полном сгорании 1 кг топлива, за вычетом тепла, затраченного на испарение влаги как содержащейся в топливе, так и образующейся от сгорания водорода.

Теплоту сгорания топлива определяют по формулам, учитывающим, что углерод С, водород Н и сера S, участвующие в горении, выделяют определенное количество тепла. Для определения Q_H^p используют формулу Д. И. Менделеева, которая дает достаточно точные результаты для самых разнообразных топлив. Формула для определения Q_H^p твердого и жидкого топлива имеет вид, кДж/кг,

$$Q_H^p = 338C^p + 1025H^p - 108,5(O^p - S^p) - 25W^p, \quad (1.2)$$

где коэффициенты выражают теплоту сгорания отдельных горючих элементов, деленную на 100.

Низшую теплоту сгорания сухого газообразного топлива определяют как сумму произведений теплот сгорания горючих газов на их объемное содержание в смеси, кДж/м³:

$$Q_H^c = 127CO + 108H_2 + 358CH_4 + 591C_2H_6 + 911C_3H_8 + 234H_2S. \quad (1.3)$$

Условное топливо. Большая разница в значениях теплоты сгорания различных видов топлива затрудняет в некоторых случаях проведение сравнительных расчетов, например, при выявлении запасов топлива, оценке целесообразности применения разных сортов топлива и пр. Поэтому принято понятие условного топлива. Условным называется такое топливо, теплота сгорания 1 кг или 1 м³ которого равна 29 330 кДж (Q_{yc}).

Для перевода действительного топлива в условное пользуются соотношением (безразмерным коэффициентом)

$$\mathcal{E}_k = \frac{Q_H^p}{29\,330} \left(\text{в системе МКГСС } \mathcal{E}_k = \frac{Q_H^p}{7000} \right), \quad (1.4)$$

где $\mathcal{E}_k$ — калорийный эквивалент, указывающий, какая часть теплоты сгорания условного топлива соответствует низшей теплоте сгорания рассматриваемого топлива (табл. 1.5).

Расход условного топлива

$$B_{yc} = \frac{BQ_H^p}{Q_{yc}}, \quad (1.5)$$

где B — расход рассматриваемого топлива; Q_H^p — теплота его сгорания.

Таблица 1.5. Калорийные эквиваленты различных видов топлива

Топливо	Низшая теплота сгорания Q_n^p , кДж/кг	Калорийный эквивалент $\vartheta_k = \frac{Q_n^p}{Q_{\text{усл}}}$
1. Твердое топливо		
Дрова смешанные	12 580	0,43
Торф фрезерный	8 460	0,29
Бурый уголь (Подмосковный бассейн)	10 760	0,37
Бурый уголь (Назаровское месторождение)	13 020	0,44
Антрацит АШ (Донецкий бассейн)	24 240	0,83
Сланцы эстонские	10 340	0,35
2. Жидкое топливо		
Нефть сырая	43 000	1,47
Мазут М-100 (многосернистый)	40 030	1,37
Мазут М-100 (малосернистый)	40 820	1,39
3. Газообразное топливо¹		
Природный газ	34 860	1,65
Доменный газ	3 770	0,10
Коксовый газ	18 000	1,21
Генераторный водяной газ	10 030	0,30
Сжиженный газ (технический пропан)	93 750	3,20

¹ Единица теплоты сгорания газообразного топлива — кДж/м³ при нормальных условиях.

1.3. РАСЧЕТЫ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

При тепловом расчете топливосжигающих установок (паровых и водогрейных котлов, промышленных огневых печей, двигателей внутреннего сгорания), а также при обработке результатов их испытаний определяют следующие величины:

- теоретический и действительный расходы воздуха V_0 и V_d , необходимые для сгорания 1 кг твердого и жидкого топлива или 1 м³ газообразного топлива;
- состав и объем продуктов сгорания V_r (дымовых газов);
- энтальпию дымовых газов при требуемых температурах и коэффициентах избытка воздуха.

Для полного сгорания топлива требуется некоторый избыток воздуха против теоретического расхода. Избыток воздуха характеризуется так называемым коэффициентом избытка α_r (иногда называе-

мым коэффициентом расхода воздуха). Он зависит от способа сжигания топлива, качества смесеобразования топлива с воздухом и ряда других факторов.

Коэффициент избытка воздуха представляет собой отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, т.е.

$$\alpha_T = \frac{V_d}{V_0}. \quad (1.6)$$

При полном сгорании дымовые газы (продукты сгорания) состоят из CO_2 и SO_2 , получившихся при сгорании углерода и летучей серы, водяного пара, образующегося при испарении влаги топлива и сгорании его водорода, азота, подводимого в топку (камеру сгорания) с воздухом, и, наконец, кислорода, не использованного при горении.

Объем продуктов сгорания определяется по формуле

$$V_r = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}. \quad (1.7)$$

При проведении химического анализа дымовых газов содержание CO_2 и SO_2 определяется совместно, поэтому в расчетные формулы вводится сумма количеств CO_2 и SO_2 , обозначаемая символом RO_2 , тогда

$$V_r = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{сг}} + V_{\text{H}_2\text{O}},$$

где $V_{\text{сг}}$ — объем сухих дымовых газов:

$$V_{\text{сг}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}.$$

В табл. 1.6 приведены расчетные формулы для определения объемов воздуха и продуктов полного сгорания для твердых, жидких и газообразных топлив. В этих формулах C^p , H^p , ..., CO , H_2 , CH_4 ... — содержание соответствующих элементов и компонентов в рабочем топливе, %; α_T — коэффициент избытка воздуха; d_B — влагосодержание сухого воздуха, г/м^3 (обычно принимается 10 г/м^3).

При отсутствии сведений об элементарном составе сжигаемого топлива при известных значениях Q_H^p и W_T можно пользоваться эмпирическими формулами табл. 1.7.

Энтальпия газа в общем виде вычисляется как произведение его объема при нормальных условиях на объемную теплоемкость при постоянном давлении и на температуру. Удельная энтальпия, кДж/кг , продуктов сгорания i рассчитывается для твердого и жидкого топлива, а объемная энтальпия, кДж/м^3 , — для газообразного. Выражается она в виде суммы энтальпий теоретического объема продуктов сгорания i_r^0 и избыточного воздуха $(\alpha_T - 1)i_{\text{возд}}^0$. Таким образом,

Таблица 1.6. Расчетные формулы для определения объемов воздуха и продуктов полного сгорания

Определяемая величина	Для твердого и жидкого топлива, м ³ /кг	Для газообразного топлива, м ³ /м ³
Теоретически необходимое количество воздуха	$V_0 = [0,0889(CP + 0,375SP) + 0,2665HP - 0,033OP](1 + 0,00124d_B)$	$V_0 = 0,0476[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n - O_2](1 + 0,00124d_B)$
Действительное количество воздуха	$V_d = \alpha_T V_0$	
Количество продуктов полного сгорания	$V_{CO_2} = 0,0187CP;$ $V_{H_2O} = 0,112HP + 0,0124WP + 0,00124V_d d_B;$ $V_{SO_2} = 0,07SP;$ $V_{O_2} = 0,21(\alpha_T - 1)V_0;$ $V_{N_2} = 0,008NP + 0,79V_d$ $V_r = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$	$V_{CO_2} = (CO + CO_2 + CH_4 + \sum mC_mH_n)0,01;$ $V_{H_2O} = (H_2 + H_2S + 2CH_4 + \sum \frac{n}{2}C_mH_n + 0,124V_d d_B)0,01;$ $V_{SO_2} = 0,01H_2S;$ $V_{O_2} = 0,21(\alpha_T - 1)V_0;$ $V_{N_2} = (N_2 + 79V_d)0,01$
Процентный состав продуктов сгорания	$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_r} \cdot 100 \% \text{ и т.д.}$	

Примечание. Объемы воздуха и газообразного топлива приведены к нормальным условиям.

$$i = i_T^0 + (\alpha_T - 1)i_{\text{возд}}^0. \quad (1.8)$$

Объемная энтальпия теоретического объема продуктов сгорания при температуре ϑ , °С, определяется по формуле

$$i_T^0 = V_{RO_2}(c\vartheta)_{CO_2} + V_{N_2}^0(c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}(c\vartheta)_{H_2O},$$

где c — теплоемкость.

Объемная энтальпия теоретически необходимого количества воздуха

$$i_{\text{возд}}^0 = V_0(c\vartheta)_{\text{возд}}. \quad (1.9)$$

Таблица 1.7. Эмпирические формулы для определения V_0 и V_r , м³/кг или м³/м³

Топливо	Теоретически необходимое количество воздуха	Действительное количество продуктов сгорания
Дрова	$V_0 = 4,66 \left(1 - \frac{W^p}{1000} \right)$	$V_r = 5,3 - 4,055 \frac{W^p}{1000} + (\alpha - 1)V_0$
Уголь	$V_0 = 0,24Q_H^p + 0,5$	$V_r = 0,21Q_H^p + 1,65 + (\alpha - 1)V_0$
Жидкое топливо	$V_0 = 0,2Q_H^p + 2,0$	$V_r = 0,265Q_H^p + (\alpha - 1)V_0$
Газообразное топливо:		
$Q_H^p > 12$ МДж/м ³	$V_0 = 0,26Q_H^p - 0,25$	$V_r = 0,27Q_H^p + 0,25 + (\alpha - 1)V_0$
$Q_H^p < 12$ МДж/м ³	$V_0 = 0,21Q_H^p$	$V_r = 0,17Q_H^p + 1,0 + (\alpha - 1)V_0$
Коксодоменная смесь	$V_0 = 0,24Q_H^p - 0,2$	$V_r = 0,225Q_H^p + 0,765 + (\alpha - 1)V_0$

Примечание: Единица Q_H^p — МДж/кг или МДж/м³ (1 ккал = 4,187 кДж).

Объемные энтальпии отдельных газов и воздуха определяют по табл. 1.8. Величину i находят для нескольких значений ϑ и α .

На основании этих подсчетов строят кривые зависимости i от ϑ для нескольких α , по которым можно определить объемную энтальпию дымовых газов при заданных температуре и коэффициенте избытка воздуха.

Таблица 1.8. Объемная энтальпия газов, кДж/м³

ϑ , °C	$(c\vartheta)RO_2$	$(c\vartheta)N_2$	$(c\vartheta)H_2O$	$(c\vartheta)_{\text{возд}}$
100	169	130	151	132
200	357	260	304	266
300	559	392	463	403
400	772	527	626	542
500	996	664	794	684
600	1222	804	967	830
700	1461	946	1147	979
800	1704	1093	1335	1130
900	1951	1243	1542	1281
1000	2202	1394	1725	1436
1200	2717	1695	2131	1754
1400	3240	2009	2558	2676

ГЛАВА ВТОРАЯ

Промышленные котельные установки

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Котельная установка состоит из котла и вспомогательного оборудования. Устройства, предназначенные для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяемой при сжигании топлива, или теплоты, подводимой от посторонних источников (обычно с горячими газами), называют котельными агрегатами. Они делятся соответственно на *котлы паровые* и *котлы водогрейные*. Котельные агрегаты, использующие (т.е. утилизирующие) теплоту отходящих из печей газов или других основных или побочных продуктов различных технологических процессов, называют *котлами-утилизаторами*.

В состав котла входят: топка, пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель, каркас, обмуровка, тепловая изоляция, обшивка.

Вспомогательным оборудованием являются: тягодутьевые машины, устройства очистки поверхностей нагрева, топливоприготовления и топливоподачи, оборудование шлако- и золоудаления, золоулавливатели и другие газоочистительные устройства, газозовоздухопроводы, трубопроводы воды, пара и топлива, арматура, гарнитура, автоматика, приборы и устройства контроля и защиты, водоподготовительное оборудование и дымовая труба.

К *арматуре* относят регулирующие и запорные устройства, предохранительные и водопробные клапаны, манометры, водоуказательные приборы.

В *гарнитуру* входят лазы, гляделки, люки, шиберы, заслонки.

Здание, в котором располагаются котлы, называют *котельной*.

Комплекс устройств, включающий в себя котельный агрегат и вспомогательное оборудование, называют *котельной установкой*. В

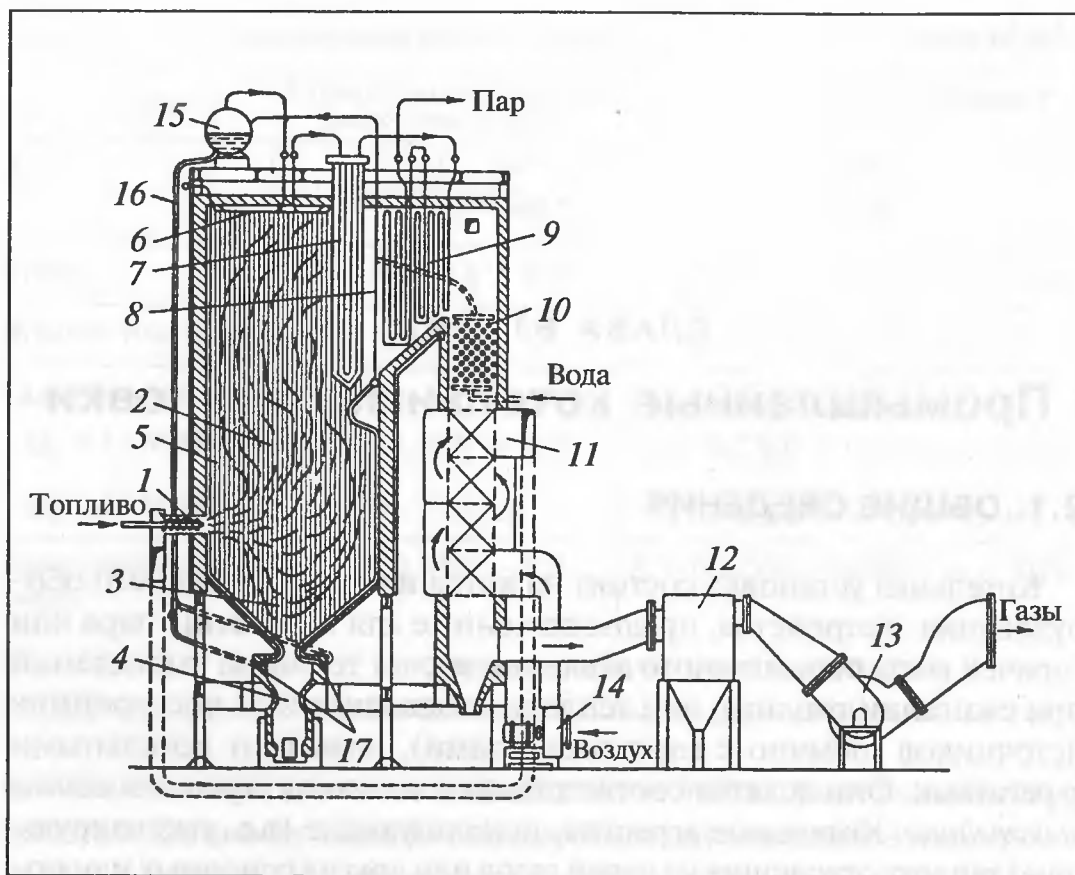


Рис. 2.1. Технологическая схема парового барабанного котла:

1 — горелки; 2 — топочная камера; 3 — холодная воронка; 4 — шлаковый комок; 5 — экран; 6 — радиационный потолочный пароперегреватель; 7 — ширмовой пароперегреватель; 8 — подвесные пароотводящие трубы; 9 — конвективный пароперегреватель; 10 — водяной экономайзер; 11 — воздухоподогреватель; 12 — золоуловитель; 13 — дымосос; 14 — дутьевой вентилятор; 15 — барабан; 16 — опускные трубы; 17 — нижние коллекторы экрана

зависимости от вида сжигаемого топлива и других условий некоторые из указанных элементов вспомогательного оборудования могут отсутствовать.

Котельные установки, снабжающие паром турбины тепловых электрических станций, называют энергетическими. Для снабжения паром производственных потребителей и отопления зданий создают специальные производственные и отопительные котельные установки.

Технологическая схема котельной установки с барабанным паровым котлом приведена на рис. 2.1.

Из рис. 2.1 видно, что барабанный котельный агрегат состоит из топочной камеры и газоходов, барабана, поверхностей нагрева, на-

ходящихся под давлением рабочей среды (воды, пароводяной смеси, пара), воздухоподогревателя, соединительных трубопроводов и воздухопроводов. Поверхности нагрева, находящиеся под давлением, включают в себя водяной экономайзер, испарительные элементы, образованные в основном экранами топки и фестоном, и пароперегреватель. Все поверхности нагрева котла, в том числе и воздухоподогреватель, как правило, трубчатые. Лишь некоторые мощные паровые котлы имеют воздухоподогреватели иной конструкции.

Нижнюю трапециевидную часть топки котельного агрегата называют холодной воронкой — в ней охлаждается выпадающий из факела частично спекшийся зольный остаток, который в виде шлака проваливается в специальное приемное устройство. Газомазутные котлы не имеют холодной воронки. Газоход, в котором расположены водяной экономайзер и воздухоподогреватель, называют конвективным (конвективная шахта), в нем теплота продуктов сгорания (уходящих топочных газов) передается воде и воздуху в основном конвекцией. Поверхности нагрева, встроенные в этот газоход и называемые хвостовыми, позволяют снизить температуру продуктов сгорания от 500 — 700 °С после пароперегревателя почти до 100 °С, т.е. полнее использовать теплоту сжигаемого топлива.

Вся трубная система и барабан котла поддерживаются каркасом, состоящим из колонн и поперечных балок. Топка и газоходы защищены от наружных теплопотерь обмуровкой — слоем огнеупорных и изоляционных материалов. С наружной стороны обмуровки стенки котла имеют газоплотную обшивку стальным листом для предотвращения присосов в топку избыточного воздуха и выбивания наружу запыленных горячих продуктов сгорания, содержащих токсичные компоненты.

Параметрами паровых котлов (парогенераторов) являются давление p , МПа, температура t , °С, и количество (расход) пара D , т/ч или кг/с. Водогрейные котлы характеризуются теплопроизводительностью, кВт или МВт (Гкал/ч в системе МКГСС), температурой воды, °С, и давлением подогретой воды, МН/м² или кгс/см².

2.2. ПАРОВЫЕ КОТЛЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

В промышленных котельных, снабжающих промпредприятия паром низкого давления (до 1,4 МПа), применяют отечественные

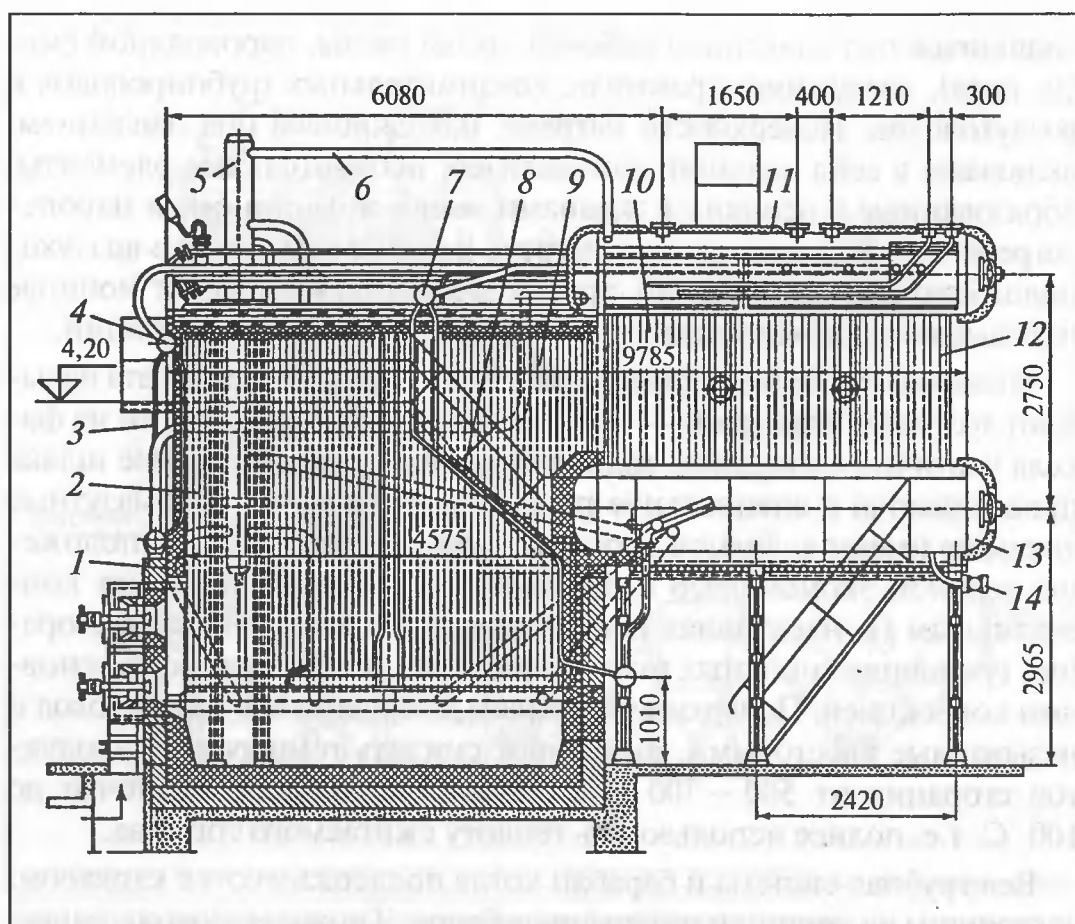


Рис. 2.2. Котел ДКВР-20 с топкой для сжигания газа и мазута в облегченной обмуровке:

1 — водоотводящие трубы; 2 — экранные трубы; 3 — циркуляционные трубы; 4, 7 — коллекторы; 5 — циклон; 6 — труба; 8 — перегородки; 9 — камера догорания; 10 — пароперегреватель; 11 — верхний барабан; 12 — пучок; 13 — нижний барабан; 14 — клапан

паровые котлы производительностью до 50 т/ч. Котлы выпускаются для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлив.

Основным типом паровых котлов малой производительности, широко распространенных в различных отраслях промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве (пар используется для технологических и отопительно-вентиляционных нужд), а также на электростанциях малой мощности, являются вертикально-водотрубные котлы ДКВР (двухбарабанный вертикальный котел, реконструированный (рис. 2.2). Основные типоразмеры и параметры котлов представлены в табл. 2.1. Технические характеристики дымососов и вентиляторов котлов ДКВР приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.1. Основные данные котлов ДКВР производства “Уралкотломаш” (на жидком и газообразном топливе)

Тип	Паропроизводительность, т/ч	Давление пара, МПа (кгс/см ²)	Температура, °С	КПД, % (газ / мазут)	Размеры, мм			Масса, кг
					длина	ширина	высота	
ДКВР-2,5-13	2,5	1,3 (13)	194	90,0/88,8	4120	3200	4343	7068
ДКВР-4-13	4,0	1,3 (13)	194	90,0/88,8	5410	3430	4345	7800
ДКВР-6,5-13	6,5	1,3 (13)	194	91,0/89,5	6520	3830	4345	12 200
ДКВР-10-13	10,0	1,3 (13)	194	91,0/89,5	6860	3830	6315	16 000
ДКВР-10-13	10,0	1,3 (13)	225	90/88	6860	3830	6315	17 000
ДКВР-10-23	10,0	2,3 (23)	220	91/89	6860	3830	6315	17 000
ДКВР-10-23	10,0	2,3 (23)	370	90/89	6860	3830	6315	18 300
ДКВР-10-39	10,0	3,9 (39)	247	89/89	7050	3450	6660	30 500
ДКВР-10-39	10,0	3,9 (39)	470	89/89	7050	3450	6660	32 700
ДКВР-20-13	20,0	1,3 (13)	194	92/90	9775	3215	7660	43 700
ДКВР-20-13	20,0	1,3 (13)	250	91/89	9775	3215	7660	44 400
ДКВР-20-23	20,0	2,3 (23)	370	91/89	9775	3215	7660	44 400

Таблица 2.2. Техническая характеристика дымососов ДН и вентиляторов ВДН ЗАО “Уралкотломаш”

Показатель	ВДН -12,5	ВДН -11,2	ВДН -10	ВДН -9	ВДН -8	ДН- 1 2,5	ДН- 1 1,2	ДН- 10	ДН- 9
Диаметр рабочего колеса, мм	1250	1120	1000	900	800	1250	1120	1000	900
<i>Аэродинамические параметры при плотности газов на входе в дымососы 0,942 кг/м³</i>									
Производительность, тыс. м ³ /ч	39,1	27,65	19,6	14,65	10,2	39,1	27,65	19,6	14,65
Полное давление, даПа	552	441	304	283	223	446	357	283	230
Мощность на валу, кВт	73,6	42,5	21	14,2	7,9	60	35	20	12
Максимальный КПД, %	83	83	83	83	83	83	83	83	83
<i>Габаритные размеры</i>									
Длина (вдоль вала)	1751	1517	1366	1214	1176	1745	1845	1650	1490
Ширина	2050	1843	1651	1491	1331	2050	1830	1540	1390
Высота	1885	1690	1506	1360	1210	1935	1505	1360	1205
Масса (без электродвигателя), не более	937	827	594	466	417	1056	923	677	536

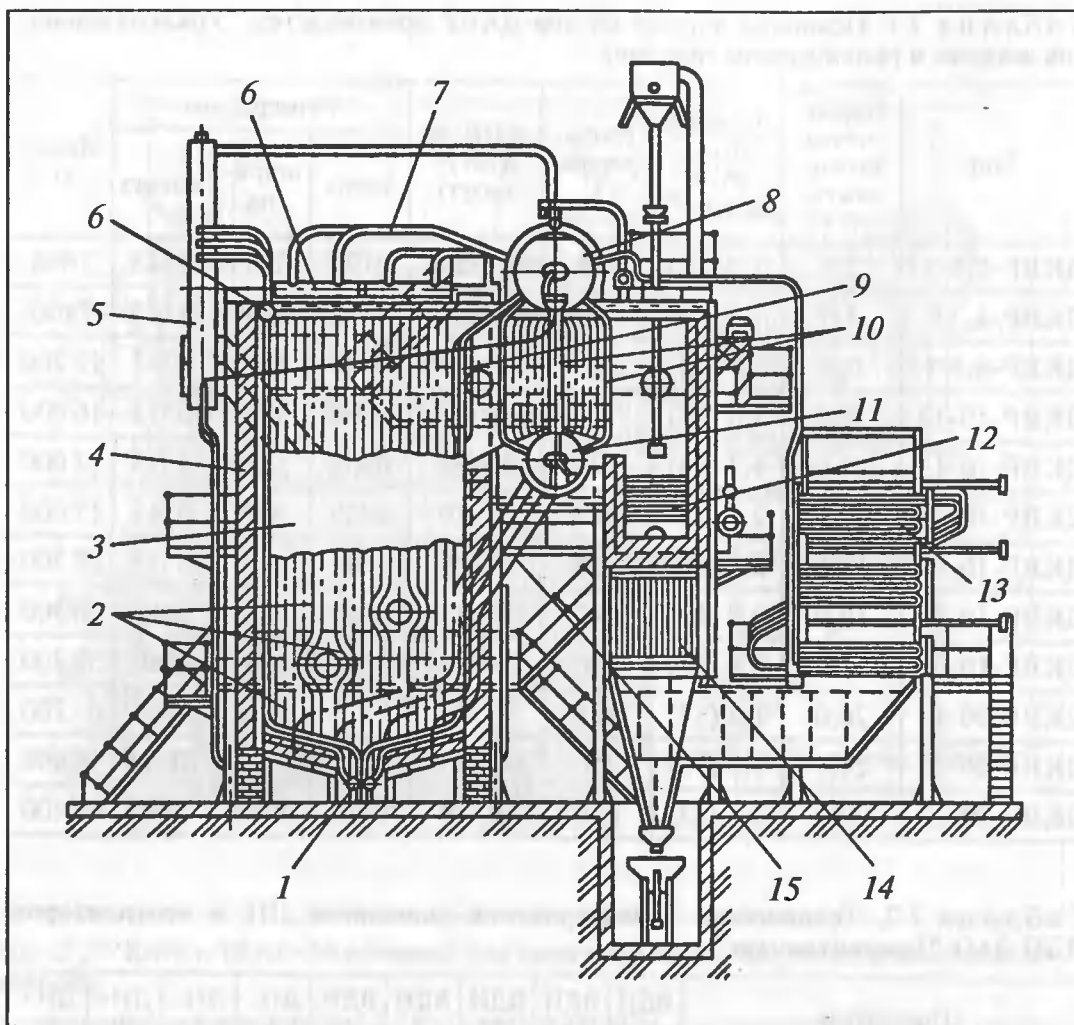


Рис. 2.3. Двухбарабанный паровой котел типа Е (ГМ):

1, 6 — нижний и верхний коллекторы; 2 — трубы топочных экранов; 3 — топочная камера; 4 — обмуровка; 5 — выносной циклон; 7 — отводящие трубы; 8 и 11 — верхний и нижний барабаны; 9 — фестон; 10 — трубы котельного пучка; 12 — пароперегреватель; 13 — экономайзер; 14 — воздухоподогреватель; 15 — опускные трубы

Кроме котлов ДКВР для технологических нужд промышленных предприятий и в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в настоящее время получили широкое распространение газомазутные (паровые) котлы малой и средней мощности серий Е(ДЕ) и Е(ГМ), производительностью 4 — 25 т/ч, давлением насыщенного и перегретого пара 1,4 — 3,9 МПа, температурой 380 — 440 °С.

Общий вид котла Е(ГМ) представлен на рис. 2.3, а основные технические характеристики — в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3. Технические характеристики паровых газомазутных котлов типа Е(ГМ) паропроизводительностью 35 — 75 т/ч

Показатель	Е-35-ГМ (БГМ-35М)	Е-50-1,4ГМ (ГМ-50-14)	Е-50-1,4ГМ (ГМ-50-14/250)	Е-50-4,0ГМ (БМ-35РФ)	Е-50-4,0ГМ (ГМ-50-40)	Е-75-3,9ГМ (БКЗ-75-39ГМА)
	Газ/мазут	Газ	Мазут	Мазут	Газ/мазут	Газ/мазут
Номинальная производительность, т/ч	35/40	50	50	50	50	75
Давление пара, МПа (кгс/см ²)	4,0 (40)	1,4 (14)	1,4 (14)	4,0 (40)	4,0 (40)	4,0 (40)
Температура, °С: перегретого пара питательной воды уходящих газов	440	—	250	440	440	440
	145	100	100	145	145	145
	158/178	126	155	185	188/216	127/180
Расчетный КПД (брутто), %	90,8/90,7	92	91	90	89,6/88,2	92,4/90,36
Гарантийный КПД (брутто), %	—/88,0	—	90	89	87,0/86,0	—/89,0
Сопротивление газового тракта, кПа (кгс/см ²)	0,27 (270)/ 0,23(230)	3,14(314)	3,32 (332)	1,22 (122)	0,17 (170)/ 0,19(190)	—/0,67 (67)
Сопротивление воздушного тракта, кПа (кгс/м ²)	2,92 (292)/ 2,93(293)	3,00 (300)	3,15 (315)	3,09 (309)	3,16 (316)/ 3,2 (320)	—/3,26 (326)
Габаритные размеры котла, мм: высшая отметка котла ширина по осям колонн каркаса глубина по осям колонн каркаса	15 180	14 954	14 954	15 800	15 570	19 375
	5740	6320	6320	5310	5930	6810
	9850	14204	14204	12280	9778	9900
Масса котла в объеме заводской поставки, т	128	142	164	173,3	258	259,0

2.3. ВОДОГРЕЙНЫЕ КОТЛЫ

Для централизованного теплоснабжения крупных промышленных предприятий, городов и отдельных районов применяются стальные водогрейные котлы большой тепловой мощности.

Водогрейные котлы предназначены для получения горячей воды заданных параметров, главным образом для отопления. Они работают по прямоточной схеме с постоянным расходом воды. Конечная температура нагрева определяется условиями поддержания стабильной температуры в жилых и рабочих помещениях, обогреваемых отопительными приборами, через которые и циркулирует вода, нагретая в водогрейном котле. Поэтому при постоянной поверхности отопительных приборов температуру воды, подаваемой в них, повышают при снижении температуры окружающей среды. Обычно воду тепловой сети в котлах подогревают от 70 — 104 до 150 — 170 °С. В последнее время имеется тенденция к повышению температуры подогрева воды до 180 — 200 °С.

Во избежание конденсации водяных паров из уходящих газов и связанной с этим наружной коррозии поверхностей нагрева температура воды на входе в агрегат должна быть выше точки росы для продуктов сгорания. В этом случае температура стенок труб в месте ввода воды также будет не ниже точки росы. Поэтому температура воды на входе не должна быть ниже 60 °С при работе котла на природном газе, 70 °С при работе на малосернистом мазуте и 110 °С при использовании высокосернистого мазута. Поскольку в теплосети вода может охлаждаться до температуры ниже 60 °С, перед входом в агрегат к ней подмешивается некоторое количество уже нагретой в котле (прямой) воды.

Наиболее широкое распространение получили газомазутные котлы типов КВГМ и ПТВМ.

Котлы типа КВГМ (рис. 2.4) тепловой мощности 4,8 — 35 МВт (4; 6,5; 10; 20 и 30 Гкал/ч) имеют горизонтально расположенную топку и поверхности нагрева с прямоточным принудительным движением воды. Технические характеристики котлов типа КВГМ приведены в табл. 2.4.

Котлы типа ПТВМ теплопроизводительностью 35 — 210 МВт (30 — 180 Гкал/ч) выполняют с П-образной (рис. 2.5) и башенной (рис. 2.6) компоновкой. Водогрейные котлы ПТВМ-50, ПТВМ-100 и ПТВМ-180, выполняемые только с башенной компоновкой, имеют экранированную топку и расположенные над ней конвективные поверхности. Технические характеристики этих котлов приведены в табл. 2.5.

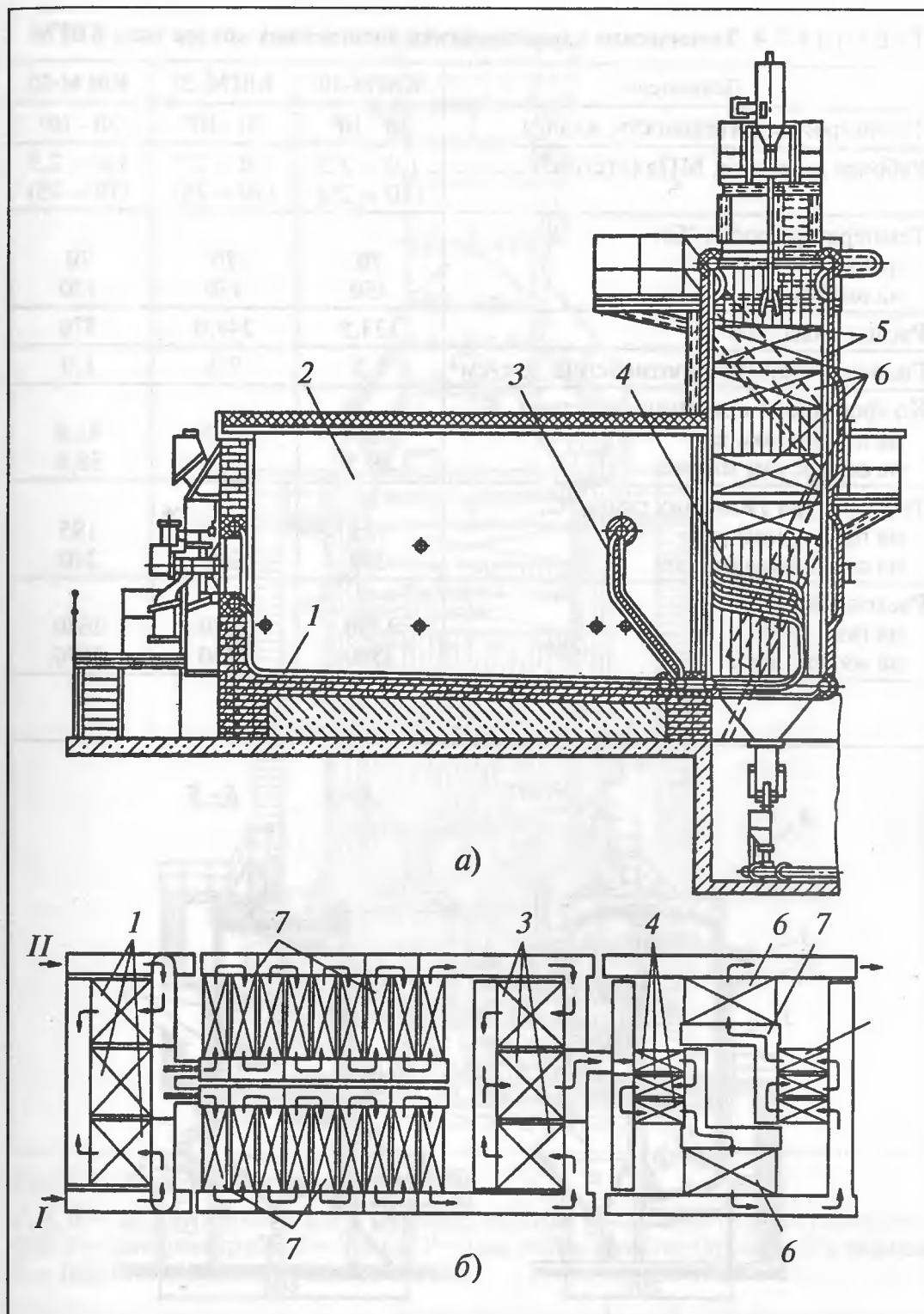


Рис. 2.4. Водогрейный котел КВГМ-20 (а) и схема его пароводяного тракта (б):
 1, 3, 7 — подовофронтной, задней и боковые экраны; 2 — топка; 4 — фестон;
 5 — экраны конвективной шахты; 6 — конвективные пучки; I, II — потоки
 воды

Таблица 2.4. Технические характеристики водогрейных котлов типа КВГМ

Показатель	КВГМ-10	КВГМ-20	КВГМ-30
Теплопроизводительность, ккал/ч	$10 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$
Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	1,0 – 2,5 (10 – 25)	1,0 – 2,5 (10 – 25)	1,0 – 2,5 (10 – 25)
Температура воды, °С: на входе на выходе	70 150	70 150	70 150
Расход воды, т/ч	123,5	247,0	370
Гидравлическое сопротивление, кгс/см ²	1,5	2,3	1,0
Коэффициент полезного действия, %: на природном газе на сернистом мазуте	91,8 88,5	91,5 88,85	91,8 88,6
Температура уходящих газов, °С: на природном газе на сернистом мазуте	185 230	190 240	195 240
Расход топлива: на газе, м ³ /ч на мазуте, кг/ч	1290 1200	2580 2450	3680 3870

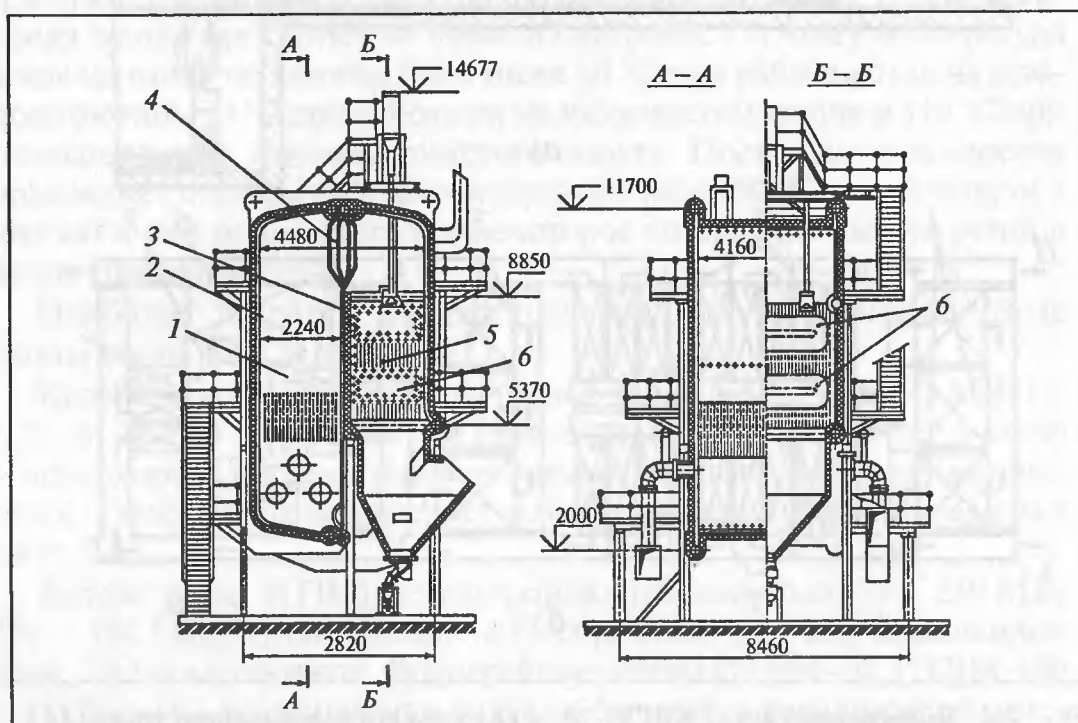


Рис. 2.5. Водогрейный котел ПТВМ-30М:

1 — топка; 2, 3 — фронтной и задний экраны; 4 — фестон; 5 — экраны конвективной шахты; 6 — ступени конвективной поверхности

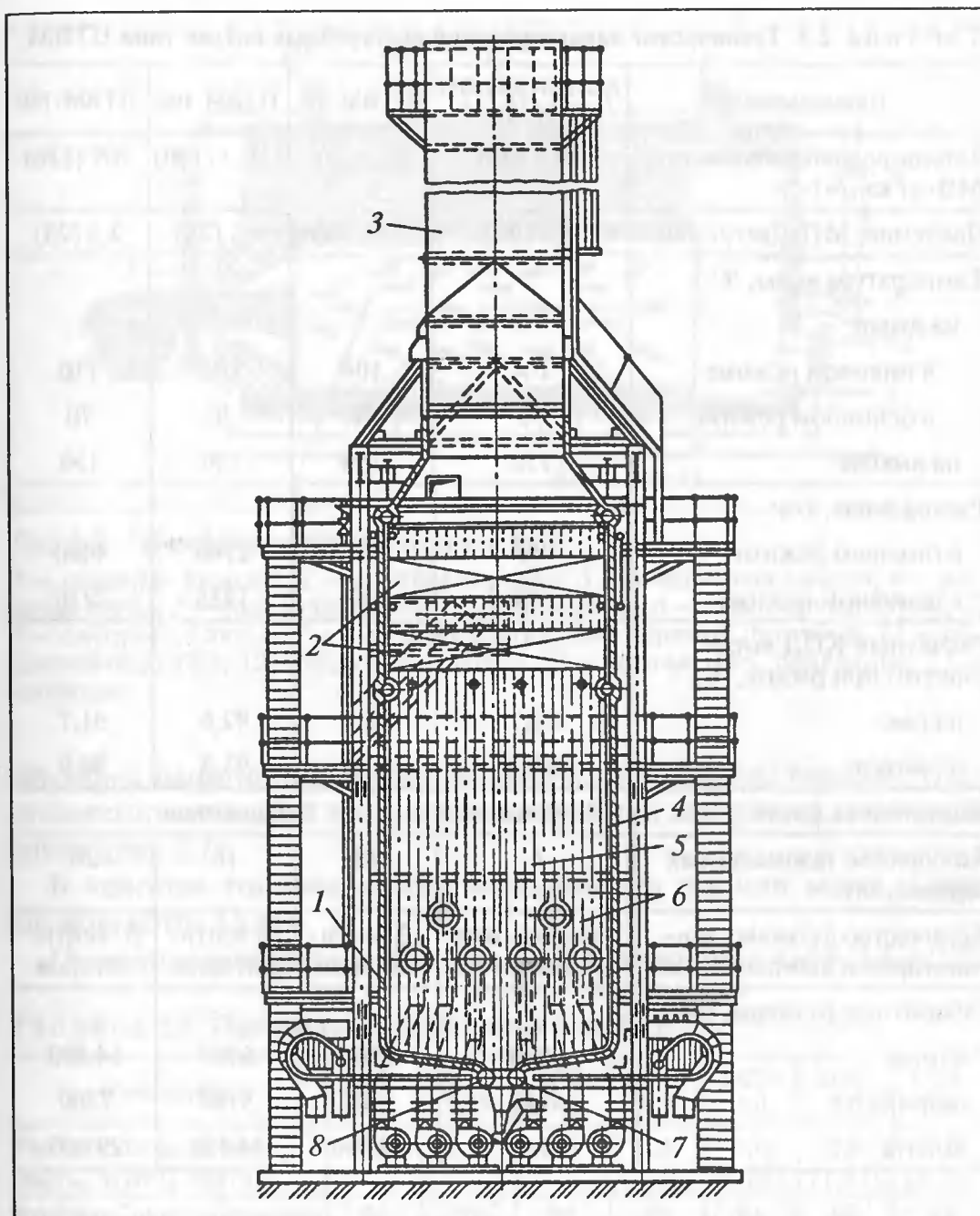


Рис. 2.6. Водогрейный котел ПТВМ-50:

1, 4, 6 — задний, фронтальный и боковые экраны; 2 — конвективные поверхности; 3 — дымовая труба; 5 — топка; 7 — нижний коллектор фронтального экрана; 8 — нижний коллектор заднего экрана

Простейшая конфигурация котла и небольшое сопротивление конвективных пакетов позволили работать с естественной тягой, не требующей установки дымососов.

Таблица 2.5. Технические характеристики водогрейных котлов типа ПТВМ

Наименование	КВ-ГМ-30-150М (ПТВМ-30М)	ПТВМ-50	ПТВМ-100	ПТВМ-180
Теплопроизводительность, МВт (Гкал/ч)	34,8 (30)	58,2 (50)	116,3 (100)	209 (180)
Давление, МПа (кгс/см ²)	2,5 (25)	2,5 (25)	2,5 (25)	2,5 (25)
Температура воды, °С:				
на входе:				
в пиковом режиме	104	104	104	110
в основном режиме	70	70	70	70
на выходе	150	150	150	150
Расход воды, т/ч:				
в пиковом режиме	495	1250	2140	4420
в основном режиме	375	618	1235	2210
Расчетный КПД котла (брутто) при работе, %:				
на газе	88,7	92,5	92,6	91,7
на мазуте	87,7	91,1	91,3	90,9
Компоновка котла	П-образная	Башенная		
Количество газомазутных горелок, шт.	6	12	16	20
Количество дутьевых вентиляторов и дымососов, шт.	2 вентилятора и 1 дымосос	12 вентиляторов	16 вентиляторов	20 вентиляторов
Габаритные размеры, мм:				
длина	5030	5160	6900	14 400
ширина	4740	5180	5180	7300
высота	5140	13 500	14 450	29 000

Для нужд отопления и горячего водоснабжения жилых, производственных и административных зданий применяются котлы стальные водогрейные КСВ ЗАО “Запсибгазпрома” (завод-изготовитель “Сибмет”).

Котел стальной водогрейный КСВ представляет собой трехходовой жаротрубнодымогарный котел, работающий с наддувом. Под избыточным давлением, обеспечиваемым вентилятором, который подает воздух для горения, продукты сгорания отводятся из жаровой трубы через поворотную камеру в огневые трубы второго хода, и да-

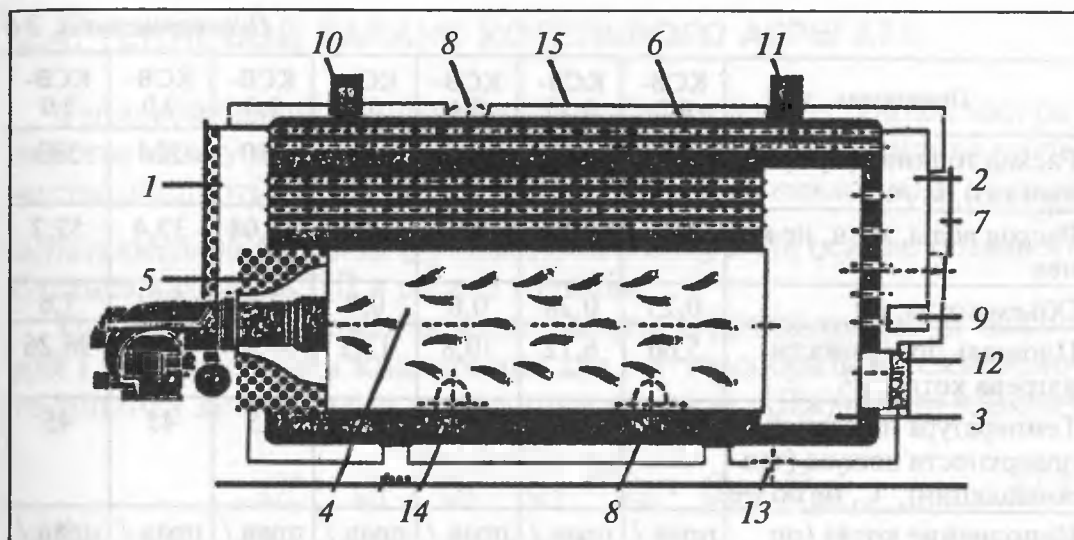


Рис. 2.7. Общий вид водогрейного котла КСВ:

1 — передняя крышка; 2 — сажевая коробка; 3 — поворотная камера; 4 — жаровая труба; 5 — горелочный конус с обмуровкой; 6 — дымогарные трубы; 7, 8 — смотровые люки; 9 — люк для очистки; 10 — прямой патрубок; 11 — обратный патрубок; 12 — взрывной клапан; 13 — дренаж; 14 — основание; 15 — изоляция

лее через дымогонные трубы третьего хода в сажевую коробку, расположенную в задней части котла, откуда они поступают в дымовую трубу (рис. 2.7).

В качестве топлива можно использовать газ или мазут. Срок службы котла 15 лет.

Основные технические данные КСВ приведены в табл. 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6. Технические данные котлов типа КСВ

Показатель	КСВ-0,2	КСВ-0,25	КСВ-0,4	КСВ-0,5	КСВ-1,0	КСВ-2,0	КСВ-3,0
Теплопроизводительность, МВт (Гкал/ч)	0,2	0,25	0,4	0,5 (0,43)	1,0 (0,86)	2,0 (1,72)	3,0 (2,58)
Коэффициент полезного действия, %, не менее	91	91	92	92	91	92	92
Минимальная температура воды на входе, °С	70	70	70	70	70	70	70
Минимальная температура воды на выходе, °С	115	115	115	115	115	115	115
Гидравлическое сопротивление, МПа (кгс/см ²)	0,007 (0,07)	0,01 (0,1)	0,015 (0,15)	0,019 (0,19)	0,01 (0,1)	0,01 (0,1)	0,01 (0,1)
Максимальное рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	0,5 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	0,6 (6)	0,6 (6)	0,6 (6)

Показатель	КСВ-0,2	КСВ-0,25	КСВ-0,4	КСВ-0,5	КСВ-1,0	КСВ-2,0	КСВ-3,0
Расход топлива (природный газ), м ³ /ч	22	27	44	55	110	220	330
Расход воды, м ³ /ч, не менее	4,6	5,75	9,2	11,5	19,08	32,4	52,2
Объем котла, м ³	0,25	0,28	0,6	0,7	3,5	5,31	7,6
Площадь поверхности нагрева котла, м ²	5,66	6,72	10,8	12,2	37,57	68,69	96,26
Температура наружной поверхности кожуха (теплоизоляции), °С, не более	45	45	45	45	45	45	45
Исполнение котла (по стороне обслуживания)	прав./лев.	прав./лев.	прав./лев.	прав./лев.	прав./лев.	прав./лев.	прав./лев.
Габаритные размеры, м, не более	1,54 × × 0,8 × × 1,16	1,74 × × 0,8 × × 1,16	2,34 × × 1,0 × × 1,33	2,54 × × 1,0 × × 1,33	4,34 × × 1,72 × × 1,93	4,66 × × 2,18 × × 2,28	4,95 × × 2,49 × × 2,66
Масса котла, кг, не более	270	490	1000	1100	4100	6200	11 500
Категория размещения котла по ГОСТ 15150-69	3	3	3	3	3	3	3
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4
Горелка типа	P30	P30	P60	P60	P72	P91	P520

Таблица 2.7. Технологические и экологические параметры котлов КСВ

Показатель	Фактическое значение	Нормированное значение по ГОСТ
Температура продуктов сгорания на выходе из котла, °С	165,0	Не менее 160, п. 1, 6 ГОСТ 10617-83
Потери теплоты от химической неполноты сгорания на выходе топки, %	0	Не более 0,4, п. 1, 6, 4 ГОСТ 21204-97
Содержание в сухих уходящих газах:		
оксида углерода CO, мг/м ³	0	Не более 130, ГОСТ 10617-83
оксидов азота NO _x , мг/м ³	127	Не более 130, ГОСТ 10617-83
кислорода, %	2,7	Теоретическое значение 4,0
диоксидов углерода, %	10,4	Теоретическое значение 11,8 (при работе на газе)

2.4. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Тепловой баланс парового котла заключается в установлении равенства между поступившим в агрегат при сжигании топлива количеством теплоты Q_p^p , называемым *располагаемой теплотой*, и суммой *использованной теплоты* Q_1 и *тепловых потерь*. На основе теплового баланса находят КПД и расход топлива.

При установившемся режиме работы агрегата тепловой баланс для 1 кг твердого или жидкого или для 1 м³ газообразного сжигаемого топлива записывается следующим образом, кДж/кг или кДж/м³:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (2.1)$$

где Q_2 — потери теплоты с уходящими из агрегата газами; Q_3 — потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива; Q_4 — потери теплоты от механической неполноты сгорания; Q_5 — потери теплоты в окружающую среду через внешнее ограждение котла; Q_6 — потери теплоты с физической теплотой шлака (рис. 2.8).

В расчетах используется уравнение теплового баланса, выраженное в процентах по отношению к располагаемой теплоте, принимаемой за 100 % ($Q_p^p = 100$ %):

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (2.2)$$

где $q_1 = Q_1 \cdot 100/Q_p^p$; $q_2 = Q_2 \cdot 100/Q_p^p$ и т.д.

Располагаемая теплота включает все виды теплоты, внесенной в топку вместе с топливом:

$$Q_p^p = Q_H^p + Q_{ф.т} + Q_{в.вн} + Q_{ф}, \quad (2.3)$$

где $Q_{ф.т}$ — физическая теплота топлива, включая полученную при подсушке и подогреве; $Q_{в.вн}$ — теплота воздуха, полученная им при подогреве вне котла; $Q_{ф}$ — теплота, вносимая в топку с распыливающим форсуночным паром.

Тепловой баланс котельного агрегата составляют относительно некоторого температурного уровня или, другими словами, относительно некоторой отправной температуры. Если в качестве этой температуры принять температуру воздуха, поступающего в котельный агрегат без подогрева вне котла, не учитывать теплоту парового дутья в форсунках и исключить физическую теплоту топлива, так

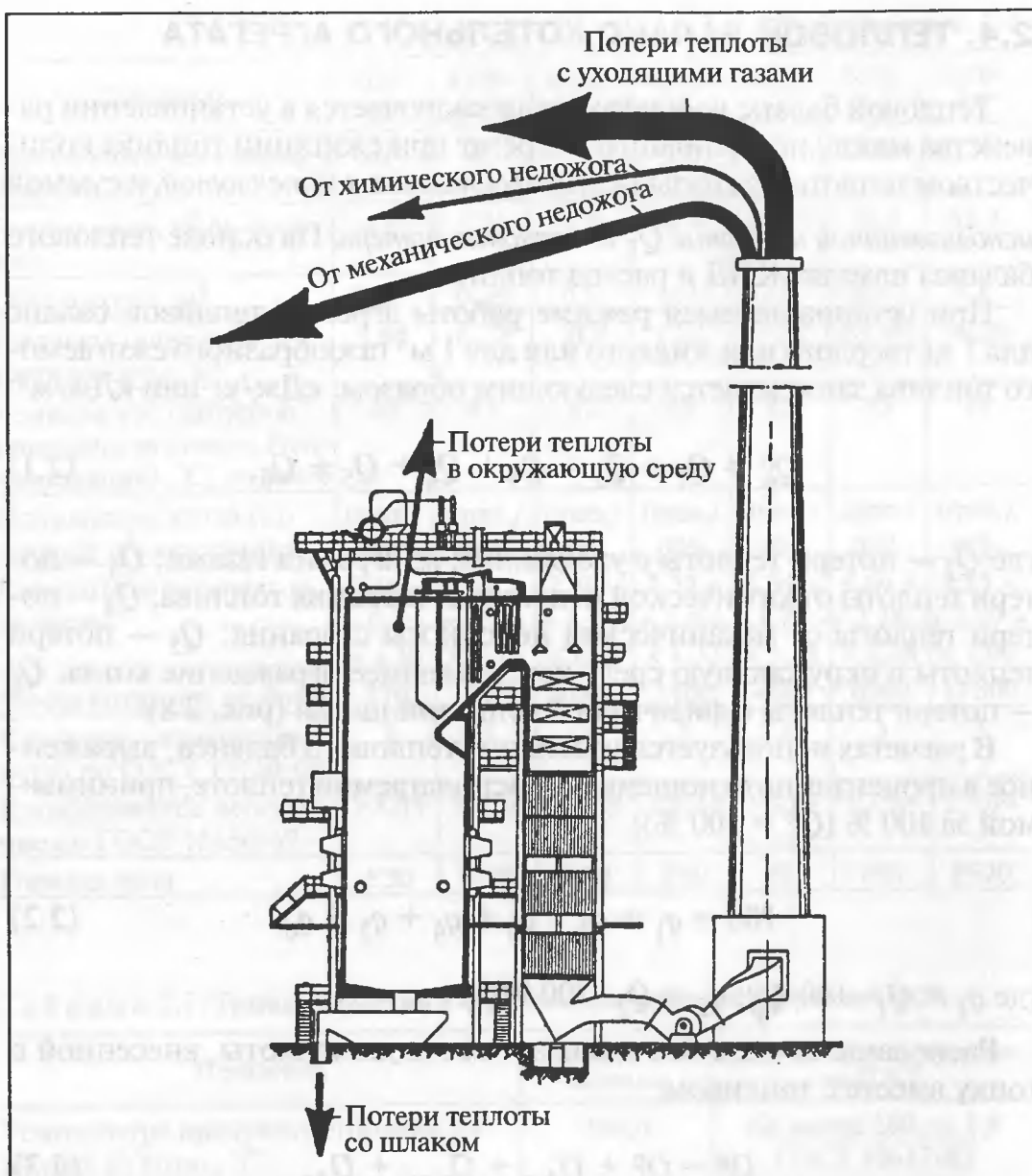


Рис. 2.8. Основные потери теплоты котельного агрегата

как она пренебрежимо мала по сравнению с теплотой сгорания топлива, то можно принять, кДж/кг или кДж/м³:

$$Q_p^p \approx Q_n^p.$$

Следует отметить, что в выражении (2.3) не учитывается теплота, вносимая в топку горячим воздухом собственно котла. Дело в том, что это же количество теплоты отдается продуктами сгорания возду-

ху в воздухоподогревателе в пределах котельного агрегата, т.е. осуществляется своего рода рециркуляция (возврат) теплоты.

Использованная теплота Q_1 воспринимается поверхностями нагрева в топочной камере котла и его конвективных газоходах, передается рабочему телу и расходуется на подогрев воды до температуры фазового перехода, испарение и перегрев пара. Количество использованной теплоты, приходящейся на 1 кг или 1 м³ сожженного топлива, подсчитывается как

$$Q_1 = \frac{D_1}{B} (i_{п.п} - i_{п.в}) + \frac{D_n}{B} (i'' - i_{п.в}) + \frac{D_{пр}}{B} (i' - i_{п.в}), \quad (2.4)$$

где B — расход топлива, кг/с или м³/с; D_1 , D_n , $D_{пр}$ — соответственно производительность парового котла (расход перегретого пара), расход насыщенного пара, расход котловой воды на продувку, кг/с; $i_{п.п}$, i'' , i' , $i_{п.в}$ — соответственно энтальпия перегретого пара, насыщенного пара, воды на линии насыщения, питательной воды, кДж/кг.

При доле продувки $p = \frac{D_{пр} \cdot 100}{D_1} < 2\%$ и отсутствии расхода насыщенного пара формула (2.4) принимает вид:

$$Q_1 = \frac{D_1}{B} (i_{п.п} - i_{п.в}).$$

Для котельных агрегатов, которые служат для получения горячей воды (водогрейные котлы),

$$Q_1 = \frac{G_v}{B} (i_2 - i_1), \quad (2.5)$$

где G_v — расход горячей воды; i_1 и i_2 — соответственно удельные энтальпии воды, поступающей в котел и выходящей из него, кДж/кг.

2.5. ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ КОТЛА

Эффективность использования топлива определяется в основном полнотой сгорания топлива и глубиной охлаждения продуктов сгорания в паровом котле.

Потери теплоты с уходящими газами Q_2 являются наибольшими и определяются как

$$Q_2 = (I_{yx} - \alpha_{yx} I_{x.v}^0)(100 - q_4), \quad (2.6)$$

где I_{yx} — энтальпия уходящих газов при температуре уходящих газов ϑ_{yx} и избытке воздуха в уходящих газах α_{yx} , кДж/кг или кДж/м³; $I_{x.v}^0$ — энтальпия холодного воздуха при температуре холодного воздуха $t_{x.v}$ и избытке воздуха α_{yx} ; $(100 - q_4)$ — доля сгоревшего топлива.

Для современных котлов значение q_2 находится в пределах 5 — 8 % располагаемой теплоты, q_2 возрастает при увеличении ϑ_{yx} , α_{yx} и объема уходящих газов. Снижение ϑ_{yx} примерно на 14 — 15 °С приводит к уменьшению q_2 на 1 %.

В современных энергетических котельных агрегатах ϑ_{yx} составляет 100 — 120 °С, производственно-отопительных — 140 — 180 °С.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива Q_3 — это теплота, которая осталась химически связанной в продуктах неполного сгорания:

$$Q_3 = (126,4CO + 108H_2 + 358,2CH_4)V_{c.g.}(100 - q_4), \quad (2.7)$$

где CO, H₂, CH₄ — объемное содержание продуктов неполного сгорания по отношению к сухим газам, %; цифры перед CO, H₂, CH₄ — уменьшенная в 100 раз теплота сгорания 1 м³ соответствующего газа, кДж/м³:

Потери теплоты от химической неполноты сгорания обычно зависят от качества смесеобразования и локальных недостаточных количеств кислорода для полного сгорания. Следовательно, q_3 зависят от α_T . Наименьшие значения α_T , при которых q_3 практически отсутствуют, зависят от вида топлива и организации режима горения.

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива Q_4 — это теплота топлива, которая при камерном сжигании уносится продуктами сгорания в газоходы котла или остается в шлаке, а при слоевом сжигании и в провале через колосниковую решетку

$$Q_4 = \left(a_{\text{шл+пр}} \frac{G_{\text{шл+пр}}}{100 - G_{\text{шл+пр}}} + a_{\text{ун}} \frac{G_{\text{ун}}}{100 - G_{\text{ун}}} \right) 32,7 A^p, \quad (2.8)$$

где $G_{\text{шл+пр}}$, $G_{\text{ун}}$ — содержание горючих веществ соответственно в шлаке, провале, уносе, определяемое взвешиванием и дожиганием в лабораторных условиях проб шлака, провала, уноса, %; $a_{\text{шл+пр}}$, $a_{\text{ун}}$ — соответственно доля золы в шлаке, провале и уносе, определяемая взвешиванием и из золowego баланса $a_{\text{шл+пр}} + a_{\text{ун}} = 1$; 32,7

кДж/кг — теплота сгорания горючих в шлаке, провале и уносе по данным ВТИ; A^p — зольность рабочей массы топлива, %.

Значение q_4 зависит от метода сжигания и способа удаления шлака, а также от свойств топлива. При хорошо отлаженном процессе сгорания твердого топлива в камерных топках $q_4 \approx 0,3 \div 0,6$ % для топлива с большим выходом летучих, для АШ $q_4 \geq 2$ %. При слоевом сжигании для каменных углей $q_4 = 3,5$ % (из них 1 % приходится на потери со шлаком, а 2,5 % — на потери с уносом), для бурых — $q_4 = 4$ %.

Потери теплоты в окружающую среду Q_5 зависят от площади наружной поверхности агрегата и разности температур поверхности и окружающего воздуха. На рис. 2.9 приведены данные, которые показывают, что при росте номинальной нагрузки котла q_5 уменьшается.

Потери теплоты с физической теплотой шлака Q_6 происходят за счет удаления из топки шлака, температура которого может быть достаточно высокой. В пылеугольных топках с твердым шлакоудалением температура шлака 600 — 700 °С, а с жидким — 1500 — 1600 °С. Потери теплоты Q_6 , кДж/кг, рассчитывается по формуле

$$Q_6 = a_{\text{шл}} \frac{A^p}{100} c_{\text{шл}} t_{\text{шл}}, \quad (2.9)$$

где $c_{\text{шл}}$ — теплоемкость шлака, зависящая от температуры шлака $t_{\text{шл}}$. Так, для 600 °С $c_{\text{шл}} = 0,930$ кДж/(кг · К), для 1600 °С — 1,172 кДж/(кг · К).

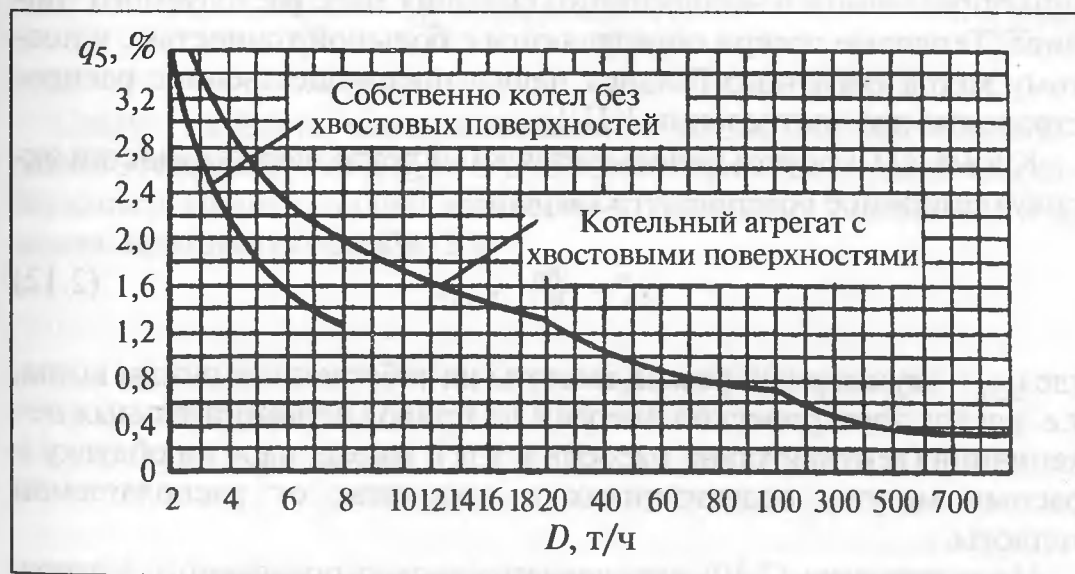


Рис. 2.9. Потери теплоты q_5 на наружное охлаждение котельного агрегата

2.6. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ И РАСХОД ТОПЛИВА

Совершенство тепловой работы парового котла оценивается коэффициентом полезного действия брутто $\eta_k^{бр}$, %. По прямому балансу

$$\eta_k^{бр} = q_1 = \frac{Q_1 \cdot 100}{Q_p^p} = \frac{Q_k}{Q_p^p B}, \quad (2.10)$$

где Q_k — теплота, полезно отданная котлу и выраженная через тепловосприятие поверхностей нагрева, кДж/с:

$$Q_k = D(i_{п.п} - i_{п.в}) + D_{пр}(i' - i_{п.в}) + Q_{ст},$$

$Q_{ст}$ — теплосодержание воды или воздуха, подогреваемых в котле и отдаваемых на сторону.

Теплота продувки учитывается только для $D_{пр} > 2\% D$.

Коэффициент полезного действия котла, %, рассчитывают по обратному балансу:

$$\eta_k^{бр} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (2.11)$$

Метод прямого баланса менее точен в основном из-за трудностей при определении в эксплуатации больших масс расходующего топлива. Тепловые потери определяются с большой точностью, и поэтому метод обратного баланса нашел преимущественное распространение при вычислении КПД.

Кроме КПД брутто используется КПД нетто, показывающий эксплуатационное совершенство агрегата:

$$\eta_k^H = \eta_k^{бр} - q_{с.н}, \quad (2.12)$$

где $q_{с.н}$ — суммарный расход теплоты на собственные нужды котла, т.е. расход электрической энергии на привод вспомогательных механизмов (вентиляторов, насосов и т.п.), расход пара на обдувку и распыл мазута, подсчитанных в процентах от располагаемой теплоты.

Из выражения (2.10) определяется расход подаваемого в топку топлива B , кг/с или м³/с:

Таблица 2.8. Средние значения потерь тепла q_3 и q_4 для различных топлив

Тип топки	Топливо	Потери тепла, %	
		от химической неполноты сгорания q_3	от механического недожога q_4
Камерная	АШ	0	6,0
	Полуантрациты	0	4,0
	Тощие угли	0	2,0
	Каменные угли	0,5	2 – 3
	Бурые угли	0,5	1 – 2
	Фрезерный торф	0,5	1 – 2
	Мазут, природный газ	1,0	0
Слоевая	Антрацит	0,5	10,0
	Каменные угли	1,0	6,0
	Бурые угли	0,5 – 1	7,0

$$B = Q_K \cdot 100 / (Q_p \eta_k^{бр}). \quad (2.13)$$

Так как часть топлива теряется с механическим недожогом, то при всех расчетах объемов воздуха и продуктов сгорания, а также энтальпий используется расчетный расход топлива B_p , кг/с, учитывающий механическую неполноту сгорания:

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right). \quad (2.14)$$

Следует заметить, что при сжигании в котлах жидкого и газообразного топлив $Q_4 = 0$ и $Q_6 = 0$. Для ориентировочных расчетов в зависимости от вида топлива и способа его сжигания значения q_3 и q_4 можно принимать по табл. 2.8.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Нагнетательные машины (насосы, вентиляторы и компрессоры)

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Нагнетателями называются машины, служащие для перемещения жидкости и газов и повышения их потенциальной и кинетической энергии. Известно, что большинство современных технологических процессов связано с перемещением потоков жидких и газообразных сред, поэтому нагнетатели имеют очень широкое применение во всех отраслях промышленности, сельском и коммунальном хозяйствах. В зависимости от вида перемещаемого рабочего тела нагнетательные машины подразделяются на две большие группы: насосы — машины, подающие жидкости; вентиляторы и компрессоры — машины, подающие воздух и технические газы.

Вентилятор — машина, перемещающая газовую среду при степени повышения давления $\epsilon_p < 1,15$ (степень повышения давления ϵ_p — отношение давления газовой среды на выходе из машины к давлению ее на входе).

Компрессор — машина, сжимающая газ с $\epsilon_p > 1,15$ и имеющая искусственное (обычно водяное) охлаждение полостей, в которых происходит сжатие газов.

Согласно ГОСТ 17398-72 нагнетатели (насосы) подразделяются на две основные группы: насосы динамические и объемные.

В *динамических нагнетателях (насосах)* передача энергии жидкости или газу происходит путем работы массовых сил потока в полости, постоянно соединенной с входом и выходом нагнетателя.

В *объемных нагнетателях (насосах)* повышение энергии рабочего тела (жидкости или газа) достигается силовым воздействием твердых тел, например поршней в поршневых машинах в рабочем про-

странстве цилиндра, периодически соединяемых с помощью клапанов с входом и выходом нагнетателя.

Основными параметрами, характеризующими работу нагнетательных машин, являются подача (расход), давление и напор. Энергия, сообщаемая потоку жидкости или газа нагнетательной машиной, определяется указанными величинами и плотностью подаваемой среды. Гидродинамическое и механическое совершенство машины характеризуется ее полным КПД.

Подача (расход) — количество жидкости (газа), перемещаемое машиной в единицу времени. Количество газа, подаваемого вентилятором и компрессором, принято называть производительностью.

Если подачу измеряют в единицах объема, то ее называют объемной и обозначают Q . Системой СИ введена массовая подача M , кг/с, — масса жидкости (газа), подаваемая машиной в единицу времени. Очевидно, что

$$M = \rho Q,$$

где ρ — плотность среды, кг/м³; Q — объемная подача, м³/с.

В компрессорах из-за значительного повышения давления плотность газа по длине проточной полости возрастает, а объемная производительность уменьшается, поэтому принято объемную производительность компрессоров вычислять по физическим условиям входа в компрессор: $T_{\text{вх}} = 293$ К; $p_{\text{вх}} = 0,102$ МПа; $\rho_{\text{в}} = 1,2$ кг/м³ (для воздуха).

Давление, развиваемое насосом, определяется уравнением сохранения энергии (уравнением Бернулли)

$$p = p_{\text{н}} - p_{\text{в}} + \frac{c_{\text{н}}^2 - c_{\text{в}}^2}{2} \rho + \rho g(z_{\text{н}} - z_{\text{в}}), \quad (3.1)$$

где $p_{\text{н}}$, $p_{\text{в}}$ — соответственно давление жидкости на входе (начальное) и нагнетании из насоса (конечное), Па; ρ — плотность жидкости, подаваемой насосом, кг/м³; $c_{\text{н}}$, $c_{\text{в}}$ — средние скорости потока на входе и выходе, м/с; $z_{\text{н}}$, $z_{\text{в}}$ — высоты расположения центров входного и выходного сечений насоса, м.

Напором насоса H называется приращение энергии, получаемой каждым килограммом жидкости, проходящей через насос, т.е. разность удельных энергий жидкости между нагнетательным и всасывающим патрубками насоса; выражается в метрах столба перекачиваемой жидкости, уравновешивающего давление p (рис. 3.1):

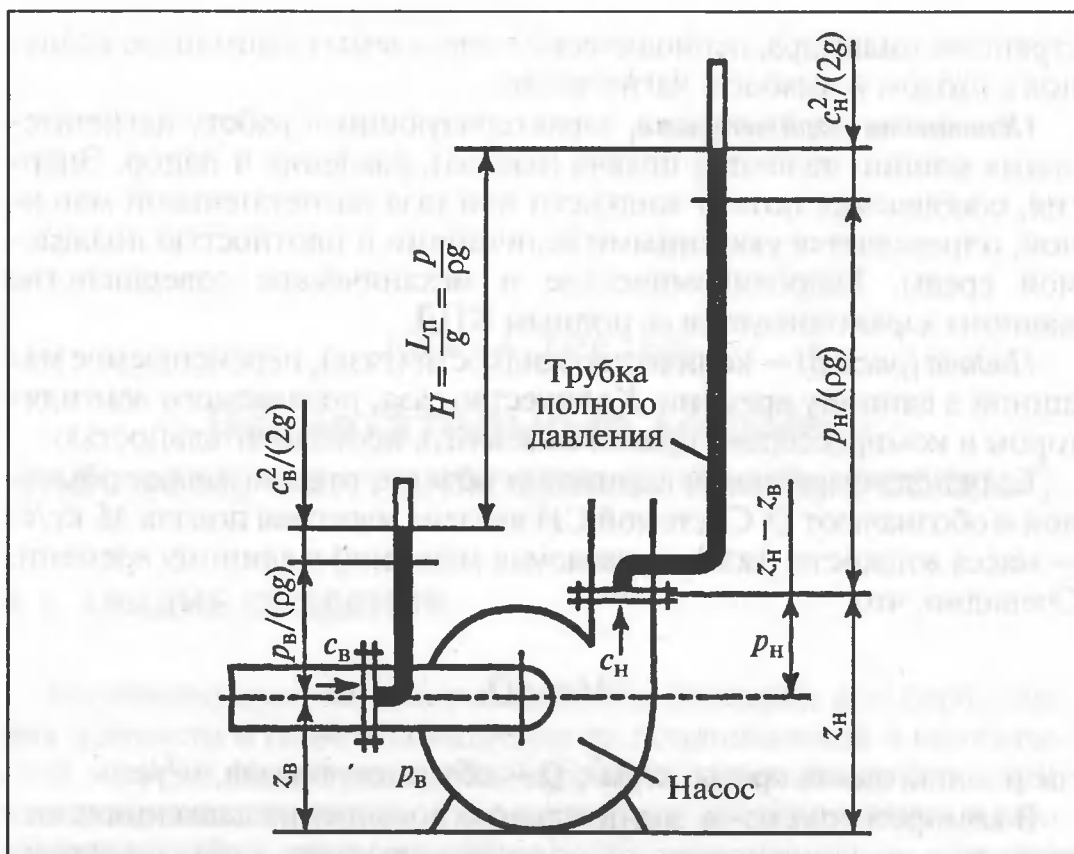


Рис. 3.1. Напор, развиваемый нагнетателем (насосом)

$$H = E_H - E_B = \frac{p_H - p_B}{\rho g} + (z_H - z_B) + \frac{c_H^2 - c_B^2}{2g}. \quad (3.2)$$

В нагнетателях, подающих жидкости, влияние второго и третьего членов уравнения (3.2) незначительно, и можно пользоваться формулой

$$H \approx (p_H - p_B)/(\rho g) = p/(\rho g). \quad (3.3)$$

Напор вентиляторов принято выражать условно в миллиметрах водяного столба. Давление, развиваемое вентиляторами, измеряется в паскалях. Следует иметь в виду, что напор в 1 мм вод. ст. эквивалентен давлению 9,81 Па.

Энергетическое совершенство нагнетателей характеризуется их удельной полезной работой L_π , Дж/кг, т.е. расходом энергии на 1 кг массы подаваемой жидкости (газа):

$$L_{\pi} = p/\rho = gH.$$

Работа, подводимая на вал нагнетателя, $L_{\text{в}}$, Дж/кг, называется удельной работой. Из-за потерь энергии в нагнетателе $L_{\text{в}} > L_{\pi}$.

Удельная работа компрессоров определяется видом термодинамического процесса, свойственного компрессору данного типа.

Полезная мощность нагнетателя, кВт, — энергия, сообщаемая нагнетателем рабочему телу в 1 с, определяется соотношением

$$N_{\pi} = \frac{ML_{\pi}}{1000}$$

или

$$N_{\pi} = \frac{\rho QgH}{1000}. \quad (3.4)$$

В системе МКГСС, кВт,

$$N_{\pi} = \frac{\gamma QH}{102}, \quad (3.5)$$

где γ — удельный вес нагнетаемой среды, кг/м³.

Для компрессоров, кВт,

$$N_{\pi} = \frac{\rho QL_{\pi}}{1000}. \quad (3.6)$$

Мощность, подводимую на вал нагнетателя от приводного двигателя, называют мощностью нагнетателя на валу $N_{\text{в}}$, кВт. Коэффициентом полезного действия нагнетателя называют отношение полезной мощности к мощности на валу:

$$\eta = \frac{N_{\pi}}{N_{\text{в}}}.$$

Мощность на валу можно вычислить по формуле, кВт,

$$N_{\text{в}} = \frac{N_{\pi}}{\eta} = \frac{\rho QgH}{1000\eta}, \quad (3.7)$$

где коэффициент полезного действия нагнетателя (насосов и вентиляторов) выражают как произведение трех коэффициентов, характеризующих отдельные виды потерь энергии в нагнетателе:

$$\eta = \eta_{\text{г}} \eta_{\text{об}} \eta_{\text{мех}}; \quad (3.8)$$

$\eta_{\text{г}}$ — гидравлический КПД — отношение полезной мощности к сумме мощностей — полезной и затрачиваемой на преодоление гидравлических сопротивлений в насосе (обычно 0,90 — 0,96); $\eta_{\text{об}}$ — объемный КПД насоса — отношение полезной мощности к сумме мощностей — полезной и теряемой вследствие внутренних протечек через зазоры и концевые уплотнения насоса (в обычных конструкциях центробежных насосов 0,96 — 0,98); $\eta_{\text{мех}}$ — механический КПД, характеризующий потери энергии от механического трения в подшипниках и уплотнениях насоса и потери энергии при трении нерабочих поверхностей колес о жидкость (в зависимости от конструкции насоса 0,80 — 0,94).

Значения КПД современных динамических насосов находятся в пределах 0,6 — 0,9.

Основными техническими параметрами, характеризующими работу насоса, как отмечалось выше, являются: напор, подача, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия, частота вращения и высота всасывания насоса. Из указанных параметров насоса подача и частота вращения являются независимыми переменными, остальные параметры находятся в функциональной зависимости от подачи и частоты вращения насоса.

Взаимосвязь параметров в различных режимах работы насоса изображается графически в виде характеристик. Характеристики насоса обычно представляют в виде функциональных зависимостей напора, мощности, высоты всасывания и КПД от подачи насоса при одной или нескольких частотах вращения. Характеристики, представленные кривыми $H = f_1(Q)$, $N = f_2(Q)$, $H_{\text{вас}}^{\text{доп}} = f_3(Q)$, $\eta = f_4(Q)$ при определении и постоянной частоте вращения ($n = \text{const}$), называются нормальными характеристиками насоса (рис. 3.2, а). Характеристики, представленные аналогичными кривыми H , N , $H_{\text{вас}}^{\text{доп}}$, $\eta = F(Q)$ для различных значений частоты вращения, называются универсальными характеристиками насоса (рис. 3.2, б).

Для объемных нагнетателей (насосов) характеристиками называются зависимости основных параметров от давления (рис. 3.2, в).

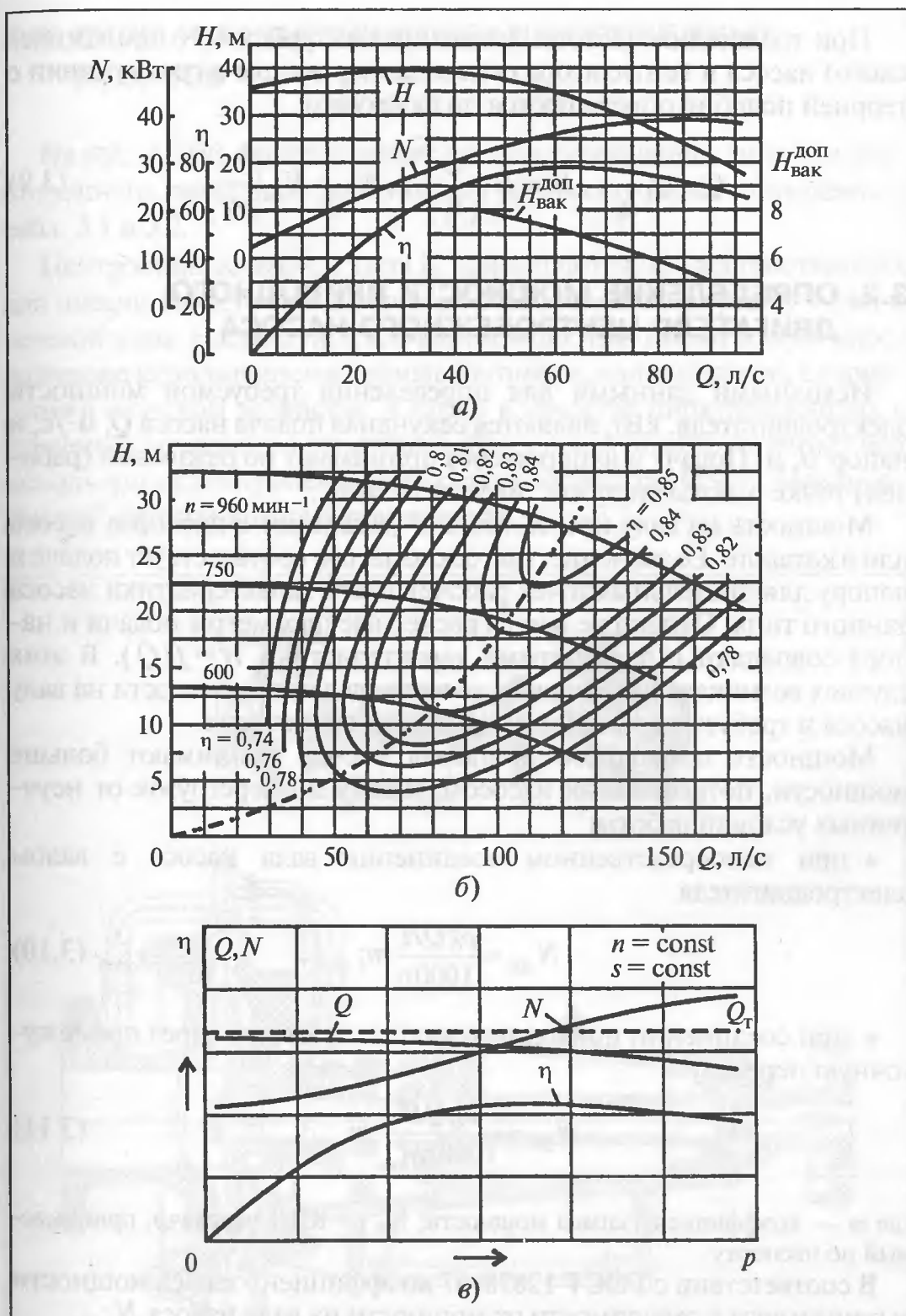


Рис. 3.2. Рабочие характеристики нагнетателей:
 а — центробежный насос; б — центробежный насос при изменении частоты вращения; в — поршневой насос

При изменении частоты вращения центробежного (динамического) насоса и вентилятора основные параметры в соответствии с теорией подобия определяются по формулам:

$$Q = Q_1 \frac{n}{n_1}; \quad H = H_1 \left(\frac{n}{n_1} \right)^2; \quad N_{\text{п}} = N_{\text{пл}} \left(\frac{n}{n_1} \right)^3. \quad (3.9)$$

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Исходными данными для определения требуемой мощности электродвигателя, кВт, являются секундная подача насоса Q , м³/с, и напор H , м. Подачу и напор насоса принимают по режимной (рабочей) точке работы системы “насосы — сеть”.

Мощность на валу насоса обычно указывают в паспорте насоса или в каталоге. Ее значение, взятое с запасом, соответствует подаче и напору для предельных точек рабочей части характеристики насоса данного типа. Однако не всегда расчетные параметры подачи и напора совпадают с параметрами характеристики $H = f(Q)$. В этих случаях возникает необходимость в определении мощности на валу насоса и требуемой мощности приводного двигателя.

Мощность приводного двигателя насоса принимают больше мощности, потребляемой насосом, на случай перегрузок от неучтенных условий работы:

- при непосредственном соединении вала насоса с валом электродвигателя

$$N_{\text{дв}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta} m; \quad (3.10)$$

- при соединении приводного двигателя насоса через промежуточную передачу

$$N_{\text{дв}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta \eta_{\text{пр}}} m, \quad (3.11)$$

где m — коэффициент запаса мощности; $\eta_{\text{пр}}$ — КПД передачи, принимаемый по паспорту.

В соответствии с ГОСТ 12878-67 коэффициент запаса мощности m принимают в зависимости от мощности на валу насоса $N_{\text{в}}$:

$N_{\text{в}}$	До 20	От 20 до 50	От 50 до 300	Свыше 300
m	1,25	1,2	1,15	1,1

3.3. ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

На рис. 3.3 и 3.4 представлены насосы консольного типа К и двустороннего входа типа Д, основные данные которых приведены в табл. 3.1 и 3.2.

Центробежные насосы типа К применяются на электростанциях для подачи конденсата, химически очищенной, циркуляционной и сетевой воды. Насосы типа К очень компактны, имеют малую массу и широко используются в промышленности, на транспорте, в городском и сельском хозяйстве, а также в качестве циркуляционных в системе центрального отопления. Для перекачивания сточных вод используются центробежные насосы производства ОАО “Дальэнергомаш”, данные которых приведены в табл. 3.3.

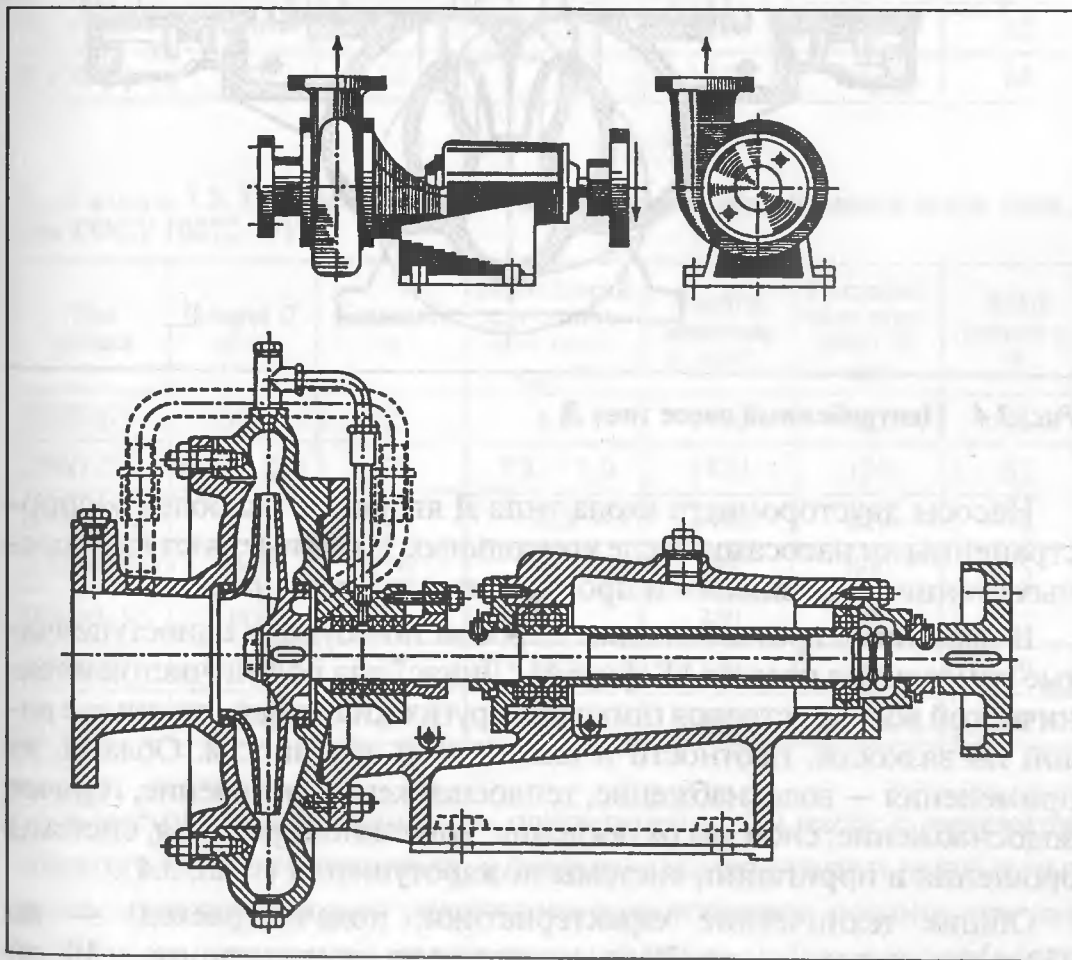


Рис. 3.3. Центробежный насос типа К с напорным патрубком, обращенным вверх

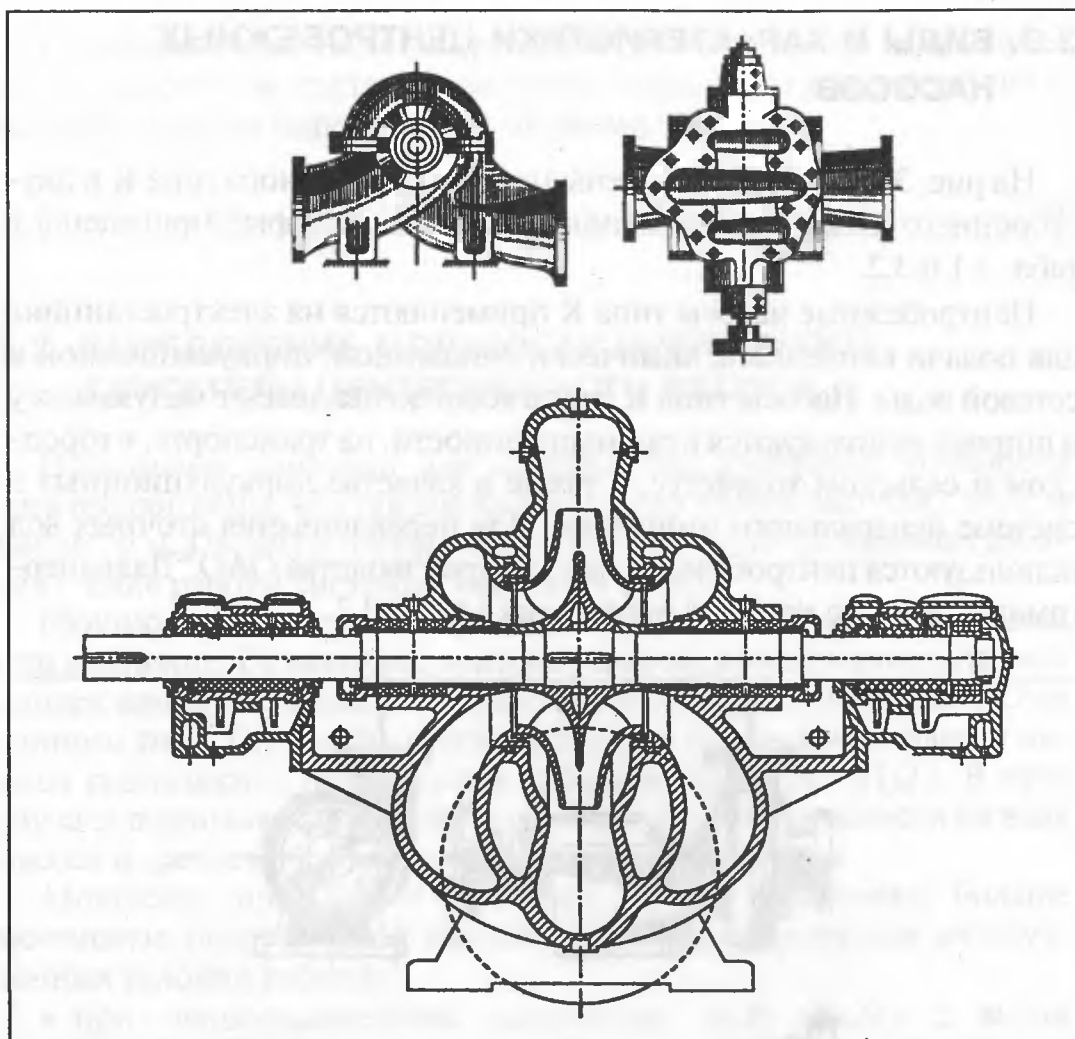


Рис. 3.4. Центробежный насос типа Д

Насосы двустороннего входа типа Д являются наиболее распространенными насосами после консольных. Их применяют на насосных станциях городского и промышленного водоснабжения.

В настоящее время большим спросом пользуются одноступенчатые консольные насосы АК фирмы “Линас” для подачи чистой и технической воды, растворов гликоля и других жидкостей, сходных с водой по вязкости, плотности и химической активности. Область их применения — водоснабжение, теплоснабжение, отопление, горячее водоснабжение; системы охлаждения, кондиционирования, системы орошения и ирригации, системы пожаротушения (табл. 3.4).

Общие технические характеристики: подача (расход) — до $270 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор — до 79 м; температура жидкости от -10 до $+140$ °С; температура окружающей среды — до 40 °С.

Таблица 3.1. Параметры одноступенчатых центробежных насосов типа К (по ГОСТ 22247-76Е)

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Допустимый кавитационный запас, $z_{\text{доп}}$, м	Частота вращения n , мин ⁻¹	Потребляемая мощность N , кВт	КПД насоса η , %
К8/18	8	19	4,0	2900	0,8	51
К20/30	20	30	4,0	2900	2,65	63
К45/55	45	55	4,5	2900	10,5	64
К45/30	45	30	4,5	2900	5,4	70
К90/85	90	85	5,5	2900	33	65
К90/35	90	35	5,5	2900	11	77
К90/20	90	20	5,5	2900	6,5	78
К160/30	160	30	4,5	1450	18	78
К160/20	160	20	4,5	1450	10,9	81
К290/30	290	30	4,5	1450	28	82
К290/18	290	18	4,5	1450	16,5	84

Таблица 3.2. Параметры центробежных насосов двустороннего входа типа Д (по ГОСТ 10272-77)

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Допустимый кавитационный запас, $z_{\text{доп}}$, м	Частота вращения n , мин ⁻¹	Потребляемая мощность N , кВт	КПД насоса η , %
Д500-65	500	65	4,0	1470	132	76
Д800-57	650 – 800	57	3,8 – 5,0	1470	170	82
Д1250-125	1250	125	7,5	1480	620	76
Д2000-100	2000	100	6,5	985	800	75
Д5000-32	5000	32	8,0	730	350	87
Д6300-27	6300	27	10,0	730	600	79
Д12500-24	12 500	24	7,0	485	950	88

Конструктивные данные — одноступенчатый насос с горизонтальным расположением вала, с осевым всасывающим и радиальным напорным патрубками; уплотнение вала торцевое, соединение вала электродвигателя и насоса через эластичную муфту; насос и электродвигатель смонтированы на общей стальной раме.

Таблица 3.3. Параметры центробежных насосов для сточных вод производства ОАО "Дальэнергомаш"

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , М	Потребляемая мощность N , кВт	Габаритные размеры $l \times b \times h$, м	Масса, т	N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹	Напряжение U , В
НЦС 52/3	52	8	1,9	1,2 × 0,3 × 0,6	0,2	5,5	1500	220/380
НЦС 55/9	55	9	2,2					
НЦС 62/12	62,5	12	3,2					
НЦС 800/32	800	32	106	2,8 × 1,1 × 1,1	2,1	132	990	380/660

Примечание: 1. Насосные центробежные агрегаты предназначены для перекачивания бытовых и производственных сточных вод с водородным показателем pH = 6,0 ÷ 8,5, плотностью до 31100 кг/м³, температурой до 90 °С.

2. N_d — мощность электродвигателя.

Таблица 3.4. Параметры насосов серии АК фирмы "Линас" (при $n = 2900$ мин⁻¹)

Марка агрегата	Мощность электродвигателя, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД η , %	Масса, кг
АК 32-160/177/7,5/2	7,5	35,5	29,5	60,4	175
АК 32-200.1/207/7,5/2	7,5	44	20	47,3	185
АК 32-200/190/7,5/2	7,5	25	38	58,4	185
АК 32-200/200/7,5/2	7,5	28	42	57,5	185
АК 32-200/210/11,0/2	11,0	31	47,5	58,5	230
АК 32-200/219/11,0/2	11,0	34,5	53	61,3	230
АК 40-160/161/7,5/2	7,5	45	29,5	68,5	165
АК 40-160/169/7,5/2	7,5	33,5	48,5	70,0	165
АК 40-160/177/11,0/2	11,0	54	37	70,6	200
АК 40-200/180/7,5/2	7,5	41	33	67,7	176
АК 40-200/190/11,0/2	11,0	44	37,5	67,5	235
АК 40-200/200/11,0/2	11,0	47	42	66,9	235
АК 40-200/210/15,0/2	15,0	52	46,5	67,9	235
АК 40-200/219/15,0/2	15,0	57	50,5	68,6	235
АК 40-250/220/15,0/2	15,0	52	52,5	61,5	260
АК 40-250/230/18,5/2	18,5	55	57,5	61,6	280
АК 40-250/240/18,5/2	18,5	57,5	63	61,6	280

Продолжение табл. 3.4

Марка агрегата	Мощность электродви- гателя, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД η , %	Масса, кг
AK 40-250/250/22,0/2	22,0	60,5	69	61,7	331
AK 40-250/260/30,0/2	30,0	60	78	61,8	435
AK 50-160/137/7,5/2	7,5	67,5	20	74,5	168
AK 50-160/145/7,5/2	7,5	73	23	75,8	168
AK 50-160/153/11,0/2	11,0	75	26	76,3	228
AK 50-160/161/11,0/2	11,0	80	29,5	76,1	228
AK 50-160/169/15,0/2	15,0	85	33	75,8	248
AK 50-160/177/15,0/2	15,0	87	37	76,0	248
AK 50-200/170/11,0/2	11,0	55	33	71,6	252
AK 50-200/180/15,0/2	15,0	62,5	37	71,7	252
AK 50-200/190/15,0/2	15,0	67,5	41	71,7	252
AK 50-200/200/18,5/2	18,5	73	46	71,8	272
AK 50-200/210/18,5/2	18,5	77	50,5	71,8	272
AK 50-200/219/22,0/2	22,0	82,5	55,5	71,8	303
AK 50-200/220/22,0/2	22,0	72	55,5	67,5	334
AK 50-250/230/30,0/2	30,0	75,5	61	67,9	396
AK 50-250/240/30,0/2	30,0	81	66	68,9	396
AK 50-250/250/30,0/2	30,0	85	72,5	69,5	396
AK 50-250/263/37,0/2	37,0	92	79	69,3	402
AK 65-160/137/7,5/2	7,5	86	18,5	75,4	202
AK 65-160/145/11,0/2	11,0	92	21,7	76,1	254
AK 65-160/153/11,0/2	11,0	101	24,5	77,5	254
AK 65-160/161/15,0/2	15,0	110	27,1	78,0	264
AK 65-160/169/15,0/2	15,0	117	30,5	78,9	264
AK 65-160/177/18,5/2	18,5	121	34,6	79,7	282
AK 65-200/170/15,0/2	15,0	86	33	75,7	286
AK 65-200/180/18,5/2	18,5	97	37,5	75,9	306
AK 65-200/190/22,0/2	22,0	105	42,5	76,6	322
AK 65-200/200/30,0/2	30,0	112	48,5	77,4	384
AK 65-200/210/30,0/2	30,0	121	53	77,5	384

Марка агрегата	Мощность электродви- гателя, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД η , %	Масса, кг
AK 65-200/219/30,0/2	30,0	123	59	78,2	384
AK 65-250/220/30,0/2	30,0	102	54	69,9	442
AK 65-250/230/30,0/2	30,0	110	59,5	70,7	442
AK 65-250/240/37,0/2	37,5	116	65	70,8	442
AK 65-250/250/45,0/2	45,0	121	71,5	71,6	510
AK 65-315/270/45,0/2	45,0	95	83	61,6	538
AK 80-160/147-127/11,0/2	11,0	155	16,5	71,8	251
AK 80-160/153-136/15,0/2	15,0	163	19	73,7	251
AK 80-160/153/18,5/2	18,5	165	22	74,9	271
AK 80-160/161/22,0/2	22,0	167	25,2	75,9	322
AK 80-160/169/22,0/2	22,0	183	29	76,9	322
AK 80-160/177/30,0/2	30,0	199	33	78,9	380
AK 80-200/170/22,0/2	22,0	151	29	73,0	362
AK 80-200/180/30,0/2	30,0	161	35,2	74,9	432
AK 80-200/190/37,0/2	37,0	170	40	76,0	432
AK 80-200/200/37,0/2	37,0	180	45,5	77,4	432
AK 80-200/210/45,0/2	45,0	190	50,5	78,0	494
AK 80-250/220/45,0/2	45,0	172	57	74,8	514
AK 100-200/180/37,0/2	37,0	251	32,5	77,1	442
AK 100-200/190/45,0/2	45,0	270	37	78,1	504

Центробежные насосы этой серии изготовлены из нержавеющей стали AISI 304. Предназначены для использования в системах отопления, холодного и горячего водоснабжения, кондиционирования, а также для других целей в промышленности и коммунальном хозяйстве; максимальное рабочее давление — 10 бар, температура перекачиваемой жидкости от -20 до $+110$ °C.

В табл. 3.5 приведены марки и технические характеристики центробежных моноблочных консольных насосов АЦМК фирмы “Линас”, которые изготовлены на базе импортных насосных частей и электродвигателей серии АИР отечественного производства.

Таблица 3.5. Параметры насосов серии АЦМК фирмы "Линас"

Марка агрегата	Мощность электро- двигателя, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД η , %	Δh , м
$n = 3000 \text{ мин}^{-1}$					
АЦКМ 50-32-125/132/2	1,1	12	18	60	1,0
АЦКМ 50-32-125/142/2	1,5	12,5	20	61	1,0
АЦКМ 50-32-160/152/2	2,2	15	25	57	1,5
АЦКМ 50-32-160/165/2	3,0	17,5	29	58	2,0
АЦКМ 50-32-200/185/2	4,0	17,5	37	52	2,0
АЦКМ 50-32-200/205/2	5,5	20	46	54	2,0
АЦКМ 65-40-125/104/2	1,5	20	13	64	0,5
АЦКМ 65-40-125/117/2	2,2	25	16	68	0,7
АЦКМ 65-40-125/128/2	3,0	30	18	69	1,0
АЦКМ 65-40-160/154/2	4,0	25	27	60	1,5
АЦКМ 65-40-160/165/2	5,5	28	32	61	1,7
АЦКМ 65-40-200/189/2	5,5	25	35	55	1,5
АЦКМ 65-40-160/202/2	7,5	27	46	58	1,5
АЦКМ 65-50-125/124/2	3,0	44	16	76	1,0
АЦКМ 65-50-125/133/2	4,0	48	20	77	1,0
АЦКМ 65-50-160/146/2	5,5	50	25	76	1,5
АЦКМ 65-50-160/161/2	7,5	55	30	78	1,7
АЦКМ 65-50-200/180/2	11,0	50	40	70	1,5
АЦКМ 65-50-200/202/2	15,0	60	49	70	2,0
АЦКМ 80-65-125/121/2	4,0	80	13	75	2,0
АЦКМ 80-65-125/130/2	5,5	90	16	82	2,5
АЦКМ 80-65-125/137/2	7,5	100	19	83	3,0
АЦКМ 80-65-160/152/2	11,0	90	27	77	3,0
АЦКМ 80-65-160/168/2	15,0	100	33	77	3,5
АЦКМ 80-65-200/183/2	18,5	95	41	75	3,0
АЦКМ 80-65-200/191/2	22,0	105	45	76	3,5
АЦКМ 80-65-200/210/2	30,0	115	57	79	4,0

Марка агрегата	Мощность электро- двигателя, кВт	Q , м ³ /ч	H , м	КПД η , %	Δh , м
$n = 1500 \text{ мин}^{-1}$					
АЦКМ 50-32-125/142/2	0,25	6,0	5,2	56	0,8
АЦКМ 50-32-160/150/2	0,25	7,0	6,2	56	0,75
АЦКМ 50-32-160/165/2	0,37	8,0	7,5	58	0,75
АЦКМ 50-32-200/191/2	0,55	9,0	10,0	54	1,0
АЦКМ 50-32-200/205/2	0,75	11,0	10,0	51	1,0
АЦКМ 65-40-125/128/2	0,37	13,0	4,7	69	0,3
АЦКМ 65-40-160/154/2	0,55	12,5	6,6	52	0,5
АЦКМ 65-40-160/165/2	0,75	13,5	7,6	55	0,5
АЦКМ 65-40-200/189/2	0,75	11,2	8,5	53	0,7
АЦКМ 65-40-200/202/2	1,1	14,0	11,3	57	0,7
АЦКМ 65-50-125/133/2	0,55	25,0	4,7	71	0,3
АЦКМ 65-50-160/154/2	0,75	28,0	6,3	75	0,2
АЦКМ 65-50-160/168/2	1,1	30,0	7,6	72	0,2
АЦКМ 65-50-200/187/2	1,5	25,0	11,0	71	0,6
АЦКМ 65-50-200/202/2	2,2	28,0	12,3	74	0,6
АЦКМ 80-65-125/136/2	0,75	45,0	4,3	76	0,7
АЦКМ 80-65-125/140/2	1,1	50,0	5,0	76	1,0
АЦКМ 80-65-160/162/2	1,5	50,0	7,0	78	0,6
АЦКМ 80-65-160/168/2	2,2	55,0	7,7	80	0,8
АЦКМ 80-65-200/187/2	2,2	45,0	10,5	75	0,5
АЦКМ 80-65-200/200/2	3,0	50,0	12,0	77	0,6
АЦКМ 80-65-200/210/2	4,0	55,0	13,5	77	0,9

Основные технические характеристики: подача (расход) — до 160 м³/ч; напор — до 64 м; температура жидкости — от -15 до +140 °С; температура окружающей среды — до 40 °С.

Область применения — установки водоснабжения, теплоснабжения, отопления, откачки конденсата, системы охлаждения, орошения, ирригации, дренажа.

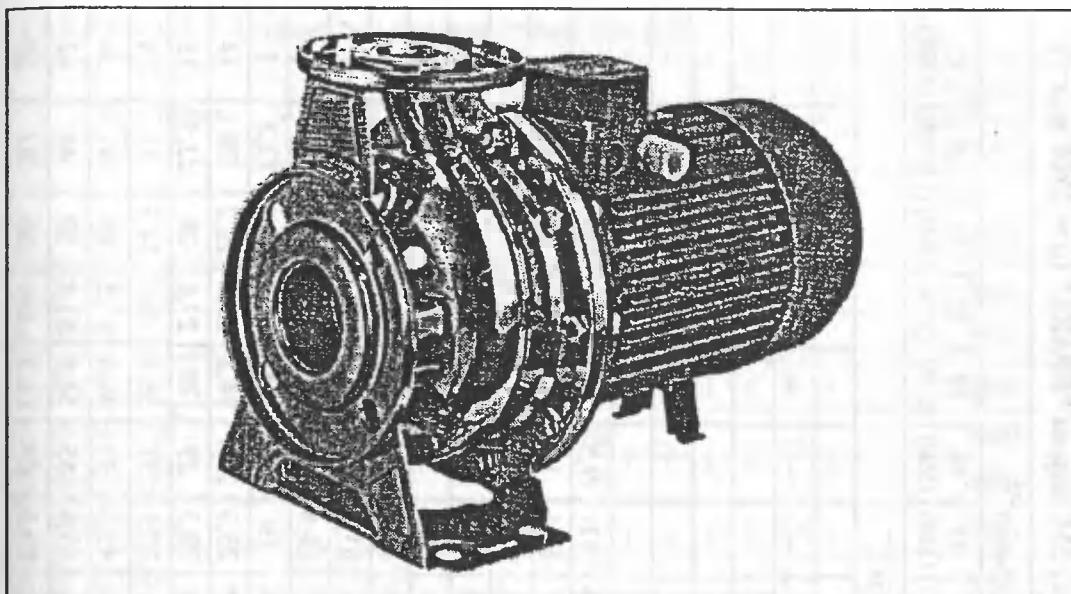


Рис. 3.5. Общий вид моноблочного насоса фирмы “EBARA”

Внешний вид моноблочного центробежного насоса (консольного) 3М фирмы “EBARA” представлен на рис. 3.5, характеристики таких насосов приведены в табл. 3.6.

Уровни шума насосов марки 3М фирмы “EBARA” приведены ниже:

Мощность										
двигателя, кВт	1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	
Уровень звукового										
давления, дБ.....	< 70	< 70	< 70	71	71	75	75	80	80	

3.4. НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО “ГИДРОМАШ-ХОЛДИНГ”

Насосы для перекачивания воды и пароконденсата

Центробежные консольные насосы типа К и моноблочные типа КМ — горизонтальные, одноступенчатые, с односторонним подводом жидкости к рабочему колесу (табл. 3.7).

Насосы предназначены для перекачивания в стационарных условиях чистой воды и других жидкостей, сходных с водой по плотности, вязкости и химической активности с температурой: для насосов типа К от 0 до + 105 °С, для КМ от 0 до + 85 °С, с содержанием твердых включений размером до 0,2 мм, объемной концентрацией до 0,1 %.

Таблица 3.6. Характеристики консольных центробежных насосов (моноблочных) 3М фирмы "ЕВАРА" ($n = 2900 \text{ мин}^{-1}$)

Тип насоса	Мощность, кВт	Ток, А		Подача, м³/ч (л/мин)												Напор Н, м							
		220 В	380 В	6 (100)	9 (150)	12 (200)	15 (250)	18 (300)	20 (333)	24 (400)	27 (450)	30 (500)	33 (550)	36 (600)	39 (650)								
32-125/1,1	1,1	5,0	2,9	21	20	18,5	17	15	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
32-160/1,5	1,5	5,9	3,4	28	26,5	24,5	22	19	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
32-160/2,2	2,2	8,3	4,8	35,5	34,5	32,5	30,5	27,5	25,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
32-2-/3,0	3,0	11,8	6,8	42,5	41	38,5	35	31,5	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
32-200/4,0	4,0	15,6	9,0	53	51,5	49,5	47	43,5	40,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
32-200/5,5	5,5	—	11,8	69	67,6	65,5	63	60	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
40-125/1,5	1,5	5,9	3,44	—	—	18	27,5	17	16	15	14	12,5	11	9,5	8	6	—	—	—				
40-125/2,2	2,2	8,3	4,8	—	—	26	25	24,2	23	22	21	19	17,5	16	14,3	13	—	—	—				
40-160/3,0	3,0	11,8	6,8	—	—	30	29	28,5	27,3	26,2	25,4	24	22,5	21	29,2	17,5	—	—	—				
40-160/4,0	4,0	15,9	9,2	—	—	38	37	36	35	34	33	31,3	30	28,5	27	25	—	—	—				
40-200/5,5	5,5	—	11,1	—	—	36	45	44	43,5	42	41	40	38,5	37	35,1	33	—	—	—				
40-200/7,5	7,5	—	15,1	—	—	56,5	56	55,3	55	53,5	52,5	51,2	49,8	48,5	47	45	—	—	—				
40-200/11,0	11	—	20,0	—	—	71	70	69,3	68,8	67,5	66,2	65	63,5	62	60	58	—	—	—				
50-125/2,2	2,2	8,3	4,8	—	—	—	—	—	—	17	16,6	16,1	15,5	14,9	14,2	13,4	11,8	8	—				
50-125/3,0	3,0	11,8	6,8	—	—	—	—	—	—	20,5	20	19,5	19	18,5	18	17,3	15,5	12,3	8				
50-125/4,0	4,0	15,9	9,2	—	—	—	—	—	—	26	25,9	25,7	25,3	24,7	24,2	23,3	22,2	29	14				
50-160/5,5	5,5	—	11,5	—	—	—	—	—	—	31	30,5	30	29,5	29	28	27,6	26	22,5	18				
50-160/7,5	7,5	—	15,5	—	—	—	—	—	—	39	38,5	38	37,5	37	36,5	36	34,5	31	26				
50-200/9,2	9,2	—	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—	50	49,5	49	48,4	47,5	46	41	34				
50-200/11	11	—	22,0	—	—	—	—	—	—	—	—	56	55,5	55	54,5	53,8	52	48	42				
50-200/15	15	—	31,3	—	—	—	—	—	—	—	—	70	69,5	69	68,5	68	66	62	57				

Таблица 3.7. Параметры насосов типов К и КМ

Тип насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Мощность двигателя $N_{\text{д}}$, кВт	Частота вращения n , мин^{-1}
<i>Консольные</i>				
К 8/18	8	18	2,2	3000
К 50-32-125	12,5	20	2,2	3000
К 20/18	20	18	3	3000
К 20/30	20	30	3	3000
К 65-40-250	25	80	18	3000
К 65-50-125	25	20	3	3000
К 65-50-160	25	32	5,5	3000
К 80-50-200	50	50	15	3000
К 80-50-250	50	80	22	3000
К 80-65-160	50	32	7,5	3000
К 100-65-200	100	50	30	3000
К 100-65-250	100	80	45	3000
К 100-80-160	100	32	15	3000
К 150-125-250	200	20	18,5	1500
К 150-125-315	200	32	30	1500
К 160-30	160	30	30	1500
К 200-150-250	315	20	30	1500
К 200-150-315	315	32	45	1500
К 200-150-400	400	50	90	1500
К 290-30	290	30	37	1500
<i>Моноблочные</i>				
КМ 50-32-125	12,5	20	2,2	3000
КМ 65-50-125	25	20	3	3000
КМ 65-50-160	25	32	5,5	3000
КМ 80-65-160	50	32	7,5	3000
КМ 80-50-200	50	50	15	3000
КМ 100-65-200	100	50	30	3000
КМ 100-80-160	100	32	15	3000
КМ 160/20	160	20	15	3000
КМ 150-125-250	200	20	18,5	1500

Таблица 3.8. Параметры насосов типа ЛМ

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ЛМ 32-3,15/5	3,15	5	0,25	1500
ЛМ 32-6,3/20	6,3	20	1,5	3000
ЛМ 50-16/12,5	16	12,5	1,5	3000
ЛМ 65-25/32	25	32	5,5	3000
ЛМ 80-50/32	50	32	7,5	3000

Таблица 3.9. Параметры насосов типа Д

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
Д 200-36	200	36	37	1500
1Д 200-90	200	90	90	3000
1Д 250-125	250	125	160	3000
1Д 315-50	315	50	75	3000
1Д 315-71	315	71	110	3000
Д 320-50	320	50	75	1500
1Д 500-63	500	63	160	1500
1Д 630-90	630	90	250	1500
1Д 630-125	630	125	400	1500
1Д 800-56	800	56	200	1500
1Д 1250-63	1250	63	315	1500
1Д 1250-125	1250	125	630	1500
1Д 1600-90	1600	90	630	1500
2Д 2000-21	2000	21	160	1000

Центробежные консольные насосы типа ЛМ — центробежные линейные моноблочные (табл. 3.8), встраиваются в магистральные трубопроводы.

Предназначены для перекачивания чистой воды производственно-технического назначения с температурой от 0 до + 85 °С и других жидкостей сходных с чистой водой по плотности, вязкости и химической активности, с содержанием твердых включений не более 0,1 % по объему и размерам частиц не более 0,2 мм.

Центробежные насосы двухстороннего входа типа Д — горизонтальные одноступенчатые двухстороннего входа с полуспиральным подводом жидкости к рабочему колесу (табл. 3.9).

Предназначены для перекачивания воды и жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, температурой до $+ 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, с содержанием твердых включений до 0,05 % по объему, размером до 0,2 мм и микротвердостью до 6,5 ГПа.

Центробежные скважинные электронасосы типа ЭЦВ — одно- или многоступенчатые с вертикальным расположением вала (табл. 3.10).

Предназначены для подъема воды с минерализацией не более 1500 мг/л; $\text{pH} = 6,5 \div 9,5$, температурой до $+ 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, массовой долей твердых механических примесей не более 0,01 %, содержанием хлоридов не более 350 г/л, сульфатов не более 500 мг/л и сероводородов не более 1,5 мг/л.

Центробежные конденсатные насосы типа КС — многоступенчатые одно- или двухкорпусные горизонтальные КС и вертикальные КСВ (табл. 3.11).

Предназначены для перекачивания парового конденсата или пресной воды температурой до $+ 160\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 6,3 \div 9,2$ в пароводяных сетях электростанций, с содержанием твердых включений не более 5 мг/л и размером не более 0,1 мм.

Сетевые насосы типа СЭ — центробежные горизонтальные спирального типа с колесами двухстороннего входа одно- и двухступенчатые (табл. 3.12).

Предназначены для питания тепловых сетей водой с температурой до $+ 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, содержащей твердые частицы размером не более 0,2 мм.

Насосы для перекачивания нефти и нефтепродуктов

Консольные насосы типа НК — центробежные одно- или двухступенчатые (табл. 3.13).

Предназначены для перекачивания нефти и нефтепродуктов, сжиженных углеродных газов и других жидкостей, сходных с указанными по физическим свойствам, с температурой от $- 80$ до $+ 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (определяется типом торцевого уплотнения).

Насосы для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод

Электронасосы типа ГНОМ и СКАТ — переносные погружные моноблочные (табл. 3.14).

Предназначены для откачивания загрязненных вод, содержащих механические примеси (песок, цемент, глину) массовой концентра-

Таблица 3.10. Параметры электронасосов типа ЭЦВ

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ЭЦВ 4-1,5-35	1,5	35	0,25	3000
ЭЦВ 4-1,5-50	1,5	50	0,37	3000
ЭЦВ 5-4-125	4	125	3	3000
ЭЦВ 6-4-80	4	80	2,2	3000
ЭЦВ 6-4-130	4	130	2,8	3000
ЭЦВ 6-4-190	4	190	4	3000
ЭЦВ 5-6,5-80	6,5	80	3	3000
ЭЦВ 5-6,5-120	6,5	120	4	3000
ЭЦВ 6-6,5-60	6,5	60	2,2	3000
ЭЦВ 6-6,5-85	6,5	85	3	3000
ЭЦВ 6-6,5-125	6,5	120	4,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-140	6,5	140	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-160	6,5	160	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-180	6,5	180	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-200	6,5	200	5,5	3000
ЭЦВ 6-6,5-225	6,5	225	7,5	3000
ЭЦВ 6-10-50	10	50	2,2	3000
ЭЦВ 6-10-80	10	80	4,5	3000
ЭЦВ 6-10-110	10	110	5,5	3000
ЭЦВ 6-10-140	10	140	6,3	3000
ЭЦВ 6-10-185	10	185	8	3000
ЭЦВ 6-10-235	10	235	11	3000
ЭЦВ 6-16-75	16	75	5,5	3000
ЭЦВ 6-16-90	16	90	8	3000
ЭЦВ 6-16-110	16	110	7,5	3000
ЭЦВ 6-16-140	16	140	11	3000
ЭЦВ 6-16-160	16	160	13	3000
ЭЦВ 8-16-80	16	80	5,5	3000
ЭЦВ 8-16-100	16	100	8	3000
ЭЦВ 8-16-140	16	140	11	3000

Продолжение табл. 3.10

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ЭЦВ 8-16-160	16	160	11	3000
ЭЦВ 8-16-180	16	180	13	3000
ЭЦВ 8-16-200	16	200	22	3000
ЭЦВ 8-16-220	16	220	16	3000
ЭЦВ 8-25-35	25	35	4,5	3000
ЭЦВ 8-25-70	25	70	7,5	3000
ЭЦВ 8-25-90	25	90	11	3000
ЭЦВ 8-25-100	25	100	11	3000
ЭЦВ 8-25-110	25	110	11	3000
ЭЦВ 8-25-125	25	125	13	3000
ЭЦВ 8-25-150	25	150	17	3000
ЭЦВ 8-25-180	25	180	18,5	3000
ЭЦВ 8-25-230	25	230	22	3000
ЭЦВ 8-25-300	25	300	32	3000
ЭЦВ 8-40-25	40	25	4,5	3000
ЭЦВ 8-40-35	40	35	8	3000
ЭЦВ 8-40-60	40	60	11	3000
ЭЦВ 8-40-90	40	90	17	3000
ЭЦВ 8-40-120	40	120	22	3000
ЭЦВ 8-40-150	40	150	27	3000
ЭЦВ 8-40-180	40	180	32	3000
ЭЦВ 8-65-65	65	65	22	3000
ЭЦВ 8-65-110	65	110	32	3000
ЭЦВ 8-65-150	65	150	45	3000
ЭЦВ 8-65-175	65	175	45	3000
ЭЦВ 8-65-225	65	225	55	3000
ЭЦВ 8-65-275	65	275	75	3000
ЭЦВ 10-25-180	25	180	22	3000
ЭЦВ 10-25-200	25	200	22	3000
ЭЦВ 10-25-230	25	230	32	3000

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ЭЦВ 10-25-250	25	250	32	3000
ЭЦВ 10-25-300	25	300	32	3000
ЭЦВ 10-40-120	40	120	22	3000
ЭЦВ 10-40-150	40	150	32	3000
ЭЦВ 10-40-180	40	180	32	3000
ЭЦВ 10-40-200	40	200	45	3000
ЭЦВ 10-40-230	40	230	45	3000
ЭЦВ 10-63-20	63	20	11	3000
ЭЦВ 10-65-65	65	65	22	3000
ЭЦВ 10-65-110	65	110	32	3000
ЭЦВ 10-65-150	65	150	45	3000
ЭЦВ 10-65-175	65	175	45	3000
ЭЦВ 10-65-225	65	220	55	3000
ЭЦВ 10-65-275	65	275	75	3000
ЭЦВ 10-120-60	120	60	32	3000
ЭЦВ 10-120-80	120	80	45	3000
ЭЦВ 10-120-100	120	100	45	3000
ЭЦВ 10-160-35	160	35	22	3000
ЭЦВ 10-160-50	160	50	33	3000
ЭЦВ 10-160-65	160	65	45	3000
ЭЦВ 12-160-65	160	65	45	3000
ЭЦВ 12-160-100	160	100	65	3000
ЭЦВ 12-160-140	160	140	90	3000
ЭЦВ 12-210-25	210	25	22	3000
ЭЦВ 12-210-55	210	55	45	3000
ЭЦВ 14-210-600	210	600	500	3000
ЭЦВ 14-210-300	210	300	250	3000
ЗЭЦВ 12-255-30 Г	255	30	32	3000
ЭЦВ 16-375-175	375	175	250	3000
ЭЦВ 16-375-350	375	350	500	3000

Таблица 3.11. Параметры насосов типа КС

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
<i>Горизонтальные</i>				
КС 12-50	12	50	5,5	3000
КС 12-110	12	110	11	3000
КС 20-50	20	50	7,5	3000
КС 20-110	20	110	18,5	3000
1КС 32-150	32	150	30	3000
1 КС 50-55	50	55	15	3000
1 КС 50-110	50	110	30	3000
1 КС 80-100	80	100	45	3000
1 КС 80-155	80	155	75	3000
<i>Вертикальные двухкорпусные</i>				
КСВ 125-55	125	55	30	3000
1КСВ 125-71	125	71	45	3000
1 КСВ 125-140	125	140	90	3000
1 КСВ 200-130	200	130	132	3000
КСВ 200-220	200	220	250	1500
1 КСВ 315-80	315	80	110	3000
1 КСВ 315-160	315	160	250	3000
КСВ 320-50/160	320	50/160	315	1500
КСВ 320-160	320	160	250	1500
1 КСВ 500-85	500	85	200	1000
КСВ 500-150	500	150	315	1500
КСВ 500-220	500	220	500	1500
КСВ 1150-90	1150	90	500	1500
КСВ 1250-45	1250	45	250	1500
КСВ 1500-140	1500	140	1000	1500
КСВА 200-220	200	220	200	1500
КСВА 360-160	360	160	250	1500
КСВА 500-220	500	220	500	1500
КСВА 630-125	630	125	315	1500
КСВА 650-135	650	135	500	1500

Таблица 3.12. Параметры насосов типа СЭ

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
<i>Одноступенчатые</i>				
СЭ 500-70-16	500	70	160	3000
СЭ 800-55-11	800	55	132	1500
СЭ 800-100-8	800	100	315	3000
СЭ 1250-140-8	1250	140	800	3000
СЭ 1250-70-11	1250	70	315	1500
СЭ 2500-60-8	2500	60	630	1500
СЭ 2500-60-11	2500	60	630	1500
СЭ 2500-60-16	2500	60	630	1500
СЭ 2500-180-8	2500	180	1600	3000
СЭ 2500-180-10	2500	180	1600	3000
СЭ 2500-180-25	2500	180	1600	3000
СЭ 5000-70-5	5000	70	1250	3000
СЭ 5000-160-8	5000	160	3150	3000
СЭ 5000-160-10	5000	160	3150	3000
СЭ 5000-160-25	5000	160	3150	3000
<i>Двухступенчатые</i>				
СЭ 800-100-11	800	100	315	1500
СЭ 1250-140-11	1250	140	630	1500

Таблица 3.13. Параметры насосов типа НК

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
4НК-5 × 1	50	60	18,5	3000
5НК-5 × 1	70	108	55	3000
5НК-9 × 1	70	54	22	3000
6НК-6 × 1	90	125	75	3000
6НК-9 × 1	120	65	40	3000
НК 12/40	12	40	5,5	3000
НК 65/35-70	65	70	30	3000
НК 65/35-125	65	125	55	3000
НК 65/35-240	65	240	100	3000
НК 200/120	200	120	100	3000

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
НК 200/210	200	210	200	3000
НК 560/180	560	180	400	3000
НК 560/300	560	300	800	3000
ТКА 32/80	32	80	22	3000
ТКА 32/125	32	125	37	3000
ТКА 63/80	63	80	30	3000
ТКА 63/125	63	125	45	3000
ТКА 120/80	120	80	45	3000
ТКА 210/80	210	80	75	3000
НКВ 360/80	360	80	132	3000
НКВ 360/125	360	125	250	3000
НКВ 360/200	360	200	400	3000
НКВ 360/320	360	320	500	3000
НКВ 600/125	600	125	315	3000
НКВ 600/200	600	200	500	3000
НКВ 600/320	600	320	800	3000
НКВ 1000/200	1000	200	800	3000
НКВ 1000/320	1000	320	1250	3000

Таблица 3.14. Параметры насосов типов ГНОМ и СКАТ

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ГНОМ 6/10	6	10	0,55	3000
ГНОМ 10/10	10	10	1,1	3000
ГНОМ 16/16 (В2Т3)	16	16	2,2	3000
ГНОМ 25/20	25	20	3	3000
ГНОМ 40/25	40	25	5,5	3000
ГНОМ 53/10	53	10	4	3000
ГНОМ 100/25 (В2Т3)	100	25	11	3000
СКАТ 40/12	40	12	5,5	3000
СКАТ 50/15	50	15	7,5	3000
СКАТ 180/30	180	30	30	1500

цией до 10 %, с частицами размером до 5 мм, температурой перекачиваемой среды до + 35 °С. Насосы с маркировкой В2ТЗ выпускаются во взрывозащищенном исполнении.

Насосы типа СМ — консольные горизонтальные одноступенчатые (табл. 3.15).

Предназначены для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод и других загрязненных жидкостей с водородным показателем $pH = 6 \div 8,5$, плотностью до 1100 кг/м^3 , температурой до + 90 °С, с содержанием абразивных частиц не более 1 % по объему, размером частиц до 5 мм.

Таблица 3.15. Параметры насосов типов СМ

Тип насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин^{-1}
СМ 80-50-200	50	50	18,5	3000
СМ 80-50-200/4	25	12,5	4	1500
СМ 100-65-200/4	50	12,5	5,5	1500
СМ 100-65-250/4	50	20	7,5	1500
СМ 125-80-315/4	80	32	22	1500
СМ 100-65-200	100	50	37	3000
СМ 150-125-315/6	100	14	15	1500
СМ 150-125-315/4	200	32	37	1500
СМ 200-150-500/4	400	80	200	1500
СМ 250-200-400/6	530	22	75	1500
СМ 250-200-400/4	800	50	200	1500
СМ 300-250-500	800	32	160	1000
СМО 100-65-250/4	50	20	7,5	1500
СМО 125-80-315/4	80	32	15	1500
СМО 125-80-250/4	100	20	15	1500
СМО 150-125-315/6	132	14	15	1000
СМО 150-125-315/4	200	32	45	1500
СМО 125-125-400/4	200	50	75	1500
СМО 200-150-315	400	32	75	1500
СМОВ 125-80-315	80	32	22	1500
СМОВ 100-65-250	50	20	7,5	1500
СМОВ 125-80-250	100	20	15	1500

Насосы типа СЖ, СД — консольные одноступенчатые (табл. 3.16).

Предназначены для перекачивания бытовых и промышленных сточных вод с содержанием абразивных частиц не более 1 % по объему, с водородным показателем $pH = 6 \div 8,5$, плотностью до 1100 кг/м^3 , температурой до $+ 90^\circ \text{C}$.

Насосы для перекачивания высокоабразивных гидросмесей

Песковые насосы типов ПК, ПКВП, ПР, ПРВП — одноступенчатые насосы с открытым рабочим колесом одностороннего входа;

Таблица 3.16. Параметры насосов типов СЖ и СД

Тип насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин^{-1}
СД 16/10	16	10	1,5	1500
СД 16/25	16	25	4	3000
СД 25/14	25	14	3	1500
СД 32/40	32	40	11	3000
СД 50/56	50	56	22	3000
СД 50/10	50	10	4	1500
СД 70/80	70	80	30	3000
СДВ 80/18	80	18	11	1500
СД 80/32	80	32	22	1500
СД 100/40	100	40	30	3000
СД 160/10	160	10	11	1000
СДВ 160/45	160	45	37	1500
СД 250/22,5	250	22,5	37	1500
СД 450/22,5	450	22,5	75	1000
СД 450/56	450	56	132	1500
СД 800/32	800	32	160	1000
1СД 2400/75	2400	75	800	750
СЖ 8/18	8	18	2,2	1500
СЖ 20/30	20	30	7,5	1500
СЖ 45/30	45	30	11	1500
СЖ 500/65	500	65	200	1000

Таблица 3.17. Параметры насосов типов ПК, ПКВП, ПР, ПРВП

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
<i>Корпус футерован абразивным материалом</i>				
ПК 63/22,5	63	22,5	15	1500
ПКВП 63/22,5	63	22,5	15	1500
<i>Корпус футерован резиной или полиуретаном</i>				
ПР 12,5/12,5	12,5	12,5	2,2	1500
ПР 63/22,5	63	22,5	11	1500
ПРВП 63/22,5	63	22,5	11	1500
<i>Корпус из износостойкого сплава ИЧХ28Н2</i>				
ПВП 125/60	125	60	75	1500

ПК, ПР — горизонтальные, ПКВП, ПРВП — вертикальные погружные (табл. 3.17).

Предназначены для перекачивания гидросмесей с водородным показателем $pH = 6 \div 8$, плотностью до 1300 кг/м³, температурой до + 60 °С, объемной концентрацией твердых включений до 25 %.

Грунтовые насосы типов ГрАТ, ГрАК, 1ГрТ, ГрАУ — центробежные одноступенчатые одно- и двухкорпусные, с внутренним корпусом из износостойкого сплава (ГрАТ, ГрТ, 1ГрТ) или футерованным абразивным материалом (ГрАК, ГрАУ) (табл. 3.18).

Таблица 3.18. Параметры насосов типов ГрАТ, ГрАК, 1ГрАК, 1ГрТ и ГрАУ

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ГрАК 85/40	85	40	45	1500
ГрАТ 85/40	85	40	45	1500
ГрАК 170/40	170	40	75	1500
ГрАТ 170/40	170	40	75	1500
ГрАТ 225/67	225	67	160	1500
ГрАК 350/40	350	40	132	1000
ГрАТ 350/40	350	40	132	1000
ГрАУ 400/20	400	20	75	1000
ГрАТ 450/67	450	67	250	1000
ГрАК 700/40	700	40	250	1000

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
ГрАТ 700/40	700	40	250	1000
ГрУ 800/40	800	40	200	750
ГрАТ 900/67	900	67	630	1000
ГрАТ 950/120	950	120	1000	1000
ГрТ 1250/71	1250	71	630	1000
ГрАК 1400/40	1400	40	500	750
ГрАТ 1400/40	1400	40	500	750
ГрАТ 1800/67	1800	67	800	750
ГрАУ 1600/25	1600	25	315	750
1ГрК 1600/50	1600	50	500	750
1ГрТ 1600/50	1600	50	500	750
ГрАУ 2000/63	2000	63	1000	580
ГрУ 2000/63	2000	63	800	580
1ГрТ 4000/71	4000	71	1600	500

Предназначены для перекачивания абразивных гидросмесей плотностью до 1600 кг/м³, температурой до + 70 °С, с максимальным размером твердых включений от 1 до 200 мм и объемной концентрацией твердых включений до 30 %.

Насосы для перекачивания морской воды

Морские насосы типа НЦВ, НЦВС — электронасосы центробежные вертикальные (табл. 3.19).

Предназначены для перекачивания морской воды температурой до + 35 °С и пресной воды температурой до + 70 °С.

Таблица 3.19. Параметры насосов типов НЦВ, НЦВС

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
НЦВ 25/20	25	20	4	3000
НЦВ 25/30	25	30	5,5	3000
НЦВ 25/65	25	65	11	3000
НЦВС 25/65	25	65	11	3000
НЦВ 25/80	25	80	15	3000

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Мощность двигателя N_d , кВт	Частота вращения n , мин ⁻¹
НЦВ 40/20	40	20	5,5	3000
НЦВС 40/20	40	20	6	3000
НЦВС 40/30	40	30	8	3000
НЦВ 40/65	40	65	15	3000
НЦВС 40/65	40	65	14	3000
НЦВ 40/80	40	80	22	3000
НЦВ 63/20	63	20	7,5	3000
НЦВ 63/30	63	30	11	3000
НЦВС 63/30	63	30	11	3000
НЦВ 63/80А	63	80	25	3000
НЦВ 63/100А	63	100	35	3000
НЦВ 100/20А	100	20	11	3000
НЦВ 100/30А	100	30	15	3000
НЦВС 100/30А	100	30	14	3000
НЦВ 100/80А	100	80	42	3000
НЦВ 100/100А	100	100	55	3000
НЦВ 160/10А	160	10	11	1500
НЦВ 160/20А	160	20	18,5	1500
НЦВ 160/30А	160	30	22	1500
НЦВС 160/30А	160	30	22	1500
НЦВ 160/80А	160	80	73	3000
НЦВ 160/100А	160	100	73	3000
НЦВ 220/100А	220	100	100	3000
НЦВ 250/20А	250	20	22	1500
НЦВ 250/100А	250	100	125	3000
НЦВ 250/30А	250	30	30	1500
НЦВС 250/30А	250	30	30	1500
НЦВ 315/10А	315	10	15	1500
НЦВ 400/20А	400	20	30	1500
НЦВ 400/30А	400	30	45	1500
НЦВ 630/15А	630	15	37	1500
НЦВ 630/30А	630	30	70	3000

3.5. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ НАСОСЫ ПРОИЗВОДСТВА ОАО "НАСОСНЫЙ ЗАВОД" (Г. ЕКАТЕРИНБУРГ)

Насосы предназначены для перекачивания химически активных и нейтральных жидкостей плотностью не более 1850 кг/м³. Параметры насосов приведены в табл. 3.20 — 3.23.

Таблица 3.20. Параметры насосов типов Х и ХТ

Тип насоса	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Частота вращения n , мин ⁻¹	Допустимый кавитацион- ный запас $z_{\text{доп}}$, м	Мощность электро- двигателя N_d , кВт	Масса на- соса/агре- гата, кг
X50-32-125	12,5	20	2900	3,5	3,0 — 4,0	33/95
X65-50-125	25,0	20	2900	4,0	4,0 — 5,5	36/100
434 X65-50-160	25,0	32	2900	4,0	5,5 — 11,0	42/155
X80-65-160	50,0	32	2900	4,5	11,0 — 18,5	46/200
X80-50-250	50,0	80	2900	4,5	30,0 — 45,0	120/440
X150-80-160	100,0	32	2900	5,5	22,0 — 37,0	96/400
X150-125-315	200,0	32	1450	5,5	45,0 — 75,0	230/715
TX125-80-250	80,0	20	1450	5,0	11,0 — 15,0	160/306

Таблица 3.21. Параметры насосов в пластмассовом исполнении консольных

Тип насоса	Пода- ча Q , м ³ /ч	На- пор H , м	Частота враще- ния n , мин ⁻¹	Допусти- мый кави- тацион- ный запас $z_{\text{доп}}$, м	Мощность электро- двигателя N_d , кВт	Габариты, мм	Масса насоса/ агрега- та, кг
X40-32-125П	6,3	20	2900	3,5	2,2 — 3,0	850 × 400 × × 335	34/87
X65-50-125П	25,0	20	2900	4,5	3,0 — 5,5	885 × 400 × × 395	29/90
X65-50-160П	25,0	32	2900	4,5	5,5 — 11,0	985 × 400 × × 480	40/121
X80-65-160П	50,0	32	2900	5,0	11,0 — 18,5	1185 × 440 × × 395	42/176

Таблица 3.22. Параметры насосов моноблочных в пластмассовом исполнении типа ХМ

Тип насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Частота вращения n , мин^{-1}	Допустимый кавитационный запас $z_{\text{доп}}$, м	Мощность электродвигателя $N_{\text{д}}$, кВт	Габариты, мм	Масса агрегата, кг
ХМ40-32-126П	6,3	20	2900	3,5	3,6	$520 \times 370 \times 320$	39
ХМ65-50-125П	25	20	2900	4,5	4,0	$525 \times 370 \times 330$	35
ХМ80-65-160П	50	32	2900	5,0	11,0	$695 \times 370 \times 385$	76
ХМ65-50-160П	25	32	2900	4,5	5,5	$595 \times 370 \times 360$	45

Таблица 3.23. Технические характеристики электронасосов типа ЦГМ

Тип насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Частота вращения n , мин^{-1}	Допустимый кавитационный запас $z_{\text{доп}}$, м	Мощность электродвигателя $N_{\text{д}}$, кВт	Масса электронасоса, кг
ЦГМ-12,5/20	12,5	20	2900	3,0	3,0 – 4,0	165
ЦГМ-25/20	25,0	20	2900	4,0	4,0 – 5,5	175
ЦГМ-25/32	25,0	32	2900	4,0	7,5 – 11,0	280
ЦГМ-50/32	50,0	32	2900	4,0	15,0 – 18,5	310

3.6. ВЕНТИЛЯТОРЫ

Работа центробежного вентилятора, общий вид и аэродинамическая схема которого показаны на рис. 3.6, при заданной частоте вращения характеризуется объемной подачей, полным давлением p , мощностью N и полным КПД η .

Полное давление вентилятора обычно определяют экспериментальным путем как разность полных давлений на выходе и входе вентилятора:

$$p = (p_{2\text{ст}} - p_{1\text{ст}}) + \frac{\rho(c_2^2 - c_1^2)}{2}, \quad (3.12)$$

где $p_{1\text{ст}}$, $p_{2\text{ст}}$ — статическое давление потока соответственно на входе и выходе вентилятора, Па; c_1 и c_2 — соответствующие абсолютные скорости потока, м/с.

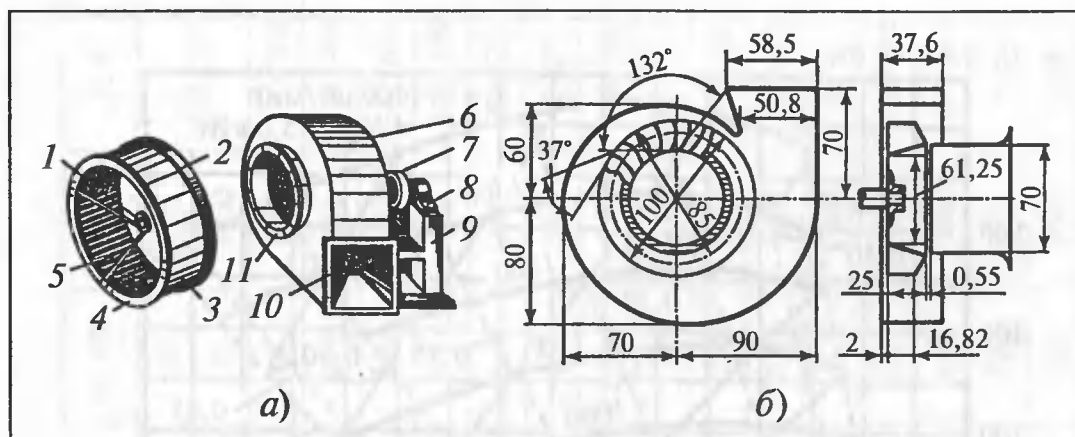


Рис. 3.6. Центробежный вентилятор:

а — устройство; б — аэродинамическая схема; 1 — ступица; 2 — основной диск; 3 — рабочие лопадки; 4 — передний диск; 5 — лопастная решетка; 6 — корпус; 7 — шкив; 8 — подшипники; 9 — станина; 10, 11 — фланцы

Полезная мощность, кВт, вентилятора определяется по формуле

$$N_{\text{пол}} = pQ,$$

где Q — объемная подача (производительность вентилятора), $\text{м}^3/\text{с}$.

Мощность на валу (эффективная мощность) $N_{\text{в}}$ обычно определяется при испытании вентилятора.

Вентиляторы характеризуются полным и статическим КПД, так как в некоторых случаях для вентиляторов характерно не полное давление, ими развиваемое, а лишь его статическая часть $p_{\text{ст}}$ или соответственно статический напор $H_{\text{ст}}$:

$$\eta = pQ/N_{\text{в}};$$

$$\eta_{\text{ст}} = p_{\text{ст}}Q/N_{\text{в}},$$

где $p_{\text{ст}} = p_{2\text{ст}} - p_{1\text{ст}}$.

Статический КПД дополняет оценку эффективности вентилятора, так как в полной энергии, сообщаемой потоку газа, существенную долю составляет кинетическая энергия. Ориентировочно $\eta_{\text{ст}}$ меньше η на 20 — 30 %.

Мощность электродвигателя для привода вентилятора, кВт, выбирают с запасом на возможные отклонения рабочего режима от расчетного:

$$N_{\text{д}} = (1,05 \div 1,2)pQ/(1000\eta_{\text{пер}}), \quad (3.13)$$

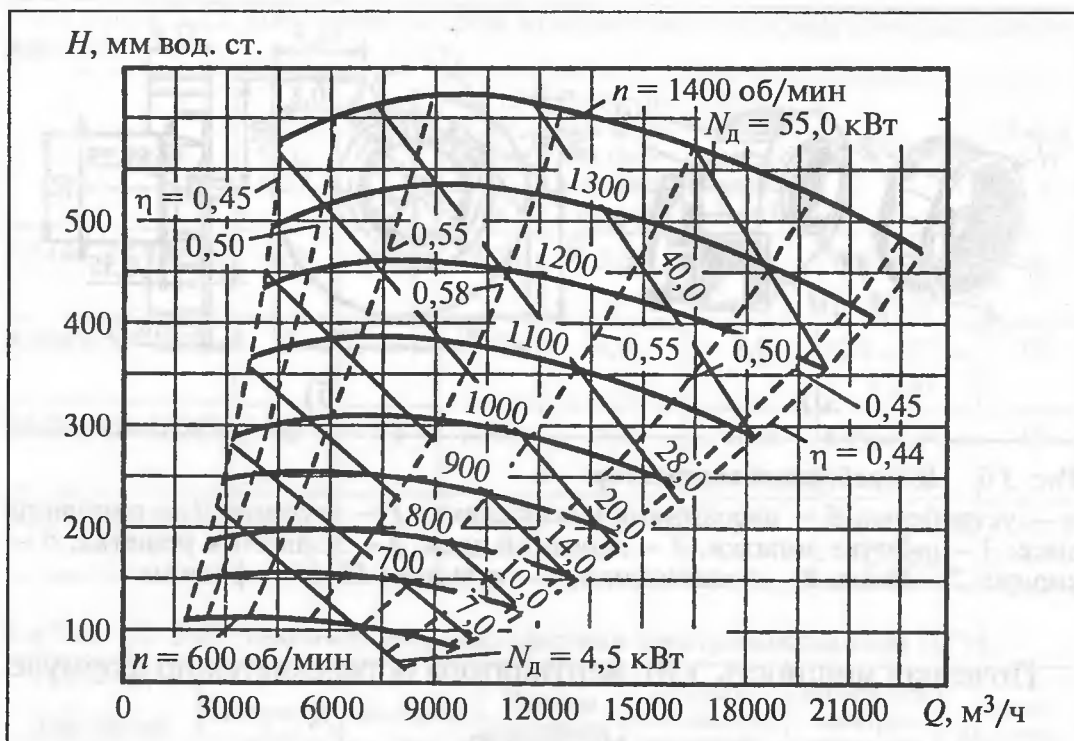


Рис. 3.7. Размерные характеристики вентилятора ВВД № 11 при $n = \text{var}$

где η — полный КПД вентилятора; $\eta_{\text{пер}}$ — КПД передачи. При непосредственном соединении валов двигателя и вентилятора $\eta_{\text{пер}} = 1,0$, при клиноременной передаче $\eta_{\text{пер}} = 0,92$.

На рис. 3.7 представлены характеристики общепромышленного вентилятора ВВД № 11.

Основные параметры вентиляторов и дымососов производства ОАО “Дальэнергомаш” даны в табл. 3.24 и 3.25.

3.7. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ (РАСХОДА) ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

Требуемую подачу при эксплуатации можно обеспечить изменением числа работающих машин (ступенчатое регулирование), воздействием на характеристики нагнетателя и на характеристику сети.

При длительном изменении нагрузки меняют число параллельно включенных насосов. На рис. 3.8, а представлена суммарная характеристика $H = f(Q_I + II)$ при параллельном включении двух насосов на общую сеть. Точка пересечения общей характеристики с характеристикой сети H_c определяет рабочую точку параллельно работающих насосов. Очевидно, что

Таблица 3.24. Параметры вентиляторов (режим подачи)

Тип вентилятора	Q, тыс. м ³ /ч	P, мм вод. ст.	N, кВт	l × b × h, м	m, т	N _д , кВт	n, мин ⁻¹	U, В
Д-15/140	7,5 – 15 – 28	212 – 225 – 210	7 – 14 – 27	2,0 × 2,0 × 1,7	1,5	30	750	220/380
	10 – 20 – 37	380 – 405 – 375	17 – 32 – 63			75	1000	
Д-60/310	21 – 36 – 53	165 – 180 – 170	15 – 25 – 40	2,1 × 2,2 × 2,0	1,6	55	600	220/380
	26 – 45 – 66	260 – 286 – 270	30 – 50 – 78			110	750	220/380
	35 – 60 – 88	460 – 500 – 480	70 – 118 – 184			200	1000	380/600
Д-90/410	30 – 54 – 78	215 – 240 – 230	28 – 50 – 78	2,3 × 2,6 × 2,2	1,9	90	600	220/380
	38 – 68 – 100	335 – 375 – 360	55 – 100 – 156			160	750	380/660
	50 – 90 – 130	600 – 666 – 640	130 – 233 – 360			400	1000	6000
ДН-15У	20 – 38 – 55	240 – 215 – 140	20 – 28 – 30	2,2 × 2,5 × 2,4	2,11	55	750	220/380
	27 – 50 – 73	425 – 380 – 245	45 – 62 – 70			75	1000	220/380
	40 – 75 – 110	960 – 860 – 560	150 – 210 – 240			250	1500	380/660
	40 – 75 – 110	960 – 860 – 560	150 – 210 – 240			315	1500	380/660
	40 – 75 – 110	960 – 860 – 560	150 – 210 – 240			315	1500	6000
ДН-17У	30 – 55 – 80	300 – 270 – 170	35 – 50 – 55	2,3 × 2,8 × 2,6	2,38	90	750	220/380
	40 – 73 – 107	535 – 480 – 300	82 – 115 – 125			160	1000	380/660
	60 – 110 – 160	1200 – 1080 – 680	275 – 385 – 425			500	1500	6000
	60 – 110 – 160	1200 – 1080 – 680	275 – 385 – 425			630	1500	6000
	60 – 110 – 160	1200 – 1080 – 680	275 – 385 – 425			630	1500	6000

Таблица 3.25. Параметры дымососов (режим всасывания)

Тип	Q , тыс. м ³ /ч	p , мм вод. ст.	N , кВт	$l \times b \times h$, м	m , т	N_d , кВт	n , мин ⁻¹	U , В
Д-15/140	7,5 – 15 – 28	136 – 145 – 135	5 – 9 – 17	2,0 × 2,0 × 1,7	1,5	30	750	220/380
	10 – 20 – 37	242 – 255 – 240	11 – 21 – 40			45	1000	
Д-60/310	21 – 36 – 53	106 – 115 – 109	10 – 16 – 23	2,1 × 2,2 × 2,0	1,6	55	600	220/380
	26 – 45 – 66	166 – 183 – 173	20 – 32 – 50			110	750	
	35 – 60 – 88	295 – 320 – 307	45 – 75 – 118			200	1000	
Д-90/410	30 – 54 – 78	135 – 154 – 145	18 – 32 – 50	2,3 × 2,6 × 2,2	1,9	55	600	220/380
	38 – 68 – 100	215 – 240 – 230	35 – 64 – 100			160	750	
	50 – 90 – 130	385 – 426 – 410	84 – 150 – 230			400	1000	
ДН-15У	20 – 38 – 55	155 – 140 – 90	12 – 18 – 20	2,2 × 2,5 × 2,4	2,11	55	750	220/380
	27 – 50 – 73	275 – 245 – 160	30 – 40 – 45			75	1000	
	40 – 75 – 110	620 – 560 – 360	95 – 138 – 152			250	1500	
	40 – 75 – 110	620 – 560 – 360	95 – 138 – 152			315	1500	
	40 – 75 – 110	620 – 560 – 360	95 – 138 – 152			315	1500	
ДН-17У	30 – 55 – 80	195 – 175 – 110	22 – 32 – 35	2,3 × 2,8 × 2,6	2,38	90	750	220/380
	30 – 55 – 80	195 – 175 – 110	22 – 32 – 35			90	750	
	40 – 73 – 107	345 – 310 – 195	52 – 75 – 82			160	1000	
	60 – 110 – 160	780 – 700 – 440	180 – 250 – 275			500	1500	
	60 – 110 – 160	780 – 700 – 440	180 – 250 – 275			630	1500	

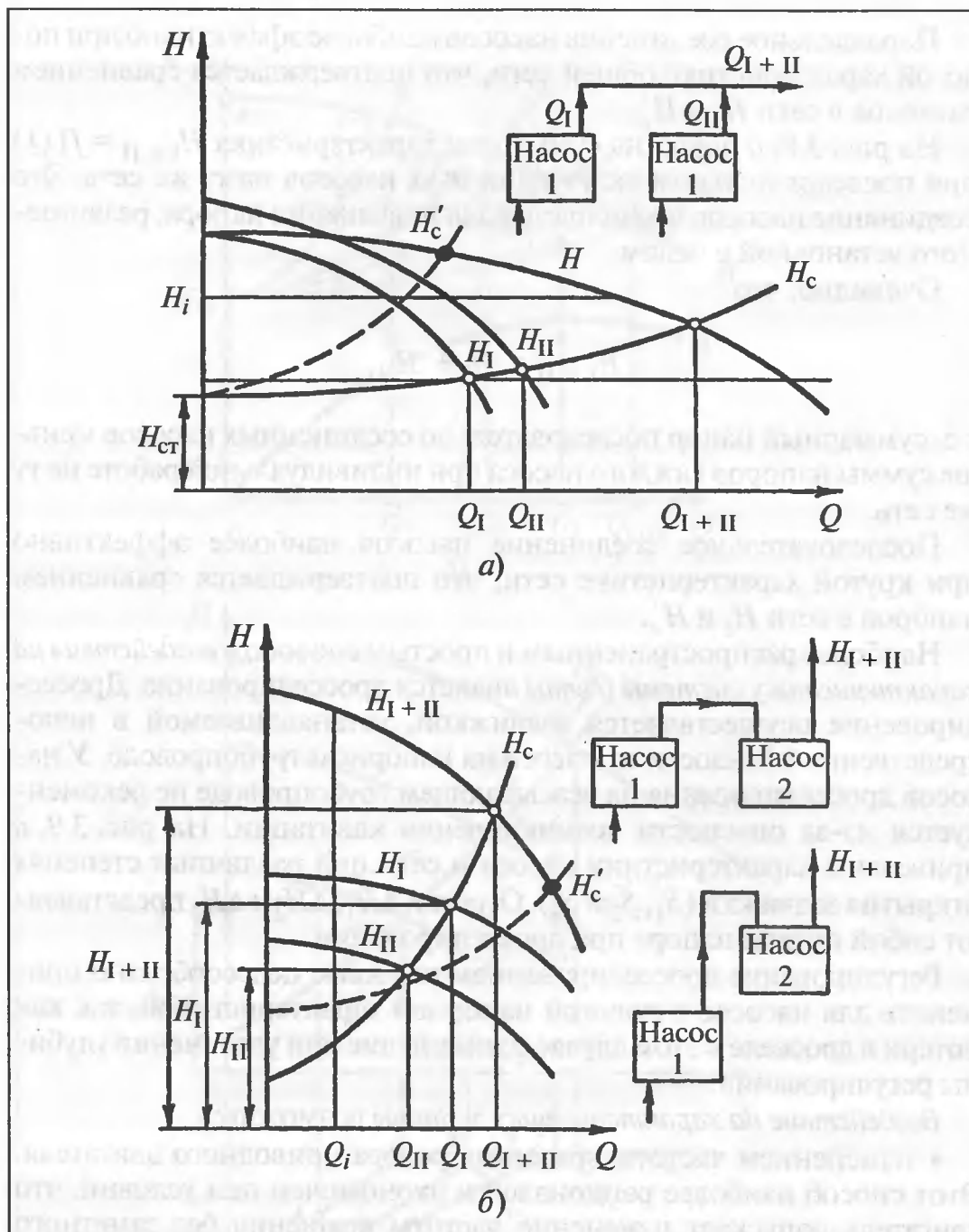


Рис. 3.8. Последовательное (а) и параллельное (б) соединение центробежных нагнетателей (насосов)

$$Q_{I+II} < Q_I + Q_{II},$$

т.е. суммарный расход параллельно работающих насосов меньше суммы расходов каждого насоса в отдельности на ту же сеть.

Параллельное соединение насосов наиболее эффективно при пологой характеристике общей сети, что подтверждается сравнением расходов в сети H_c и H'_c .

На рис. 3.8, б показана суммарная характеристика $H_{I+II} = f(Q)$ при последовательном включении двух насосов на ту же сеть. Это соединение насосов применяется для повышения напора, развиваемого установкой в целом.

Очевидно, что

$$H_{I+II} < H_I + H_{II},$$

т.е. суммарный напор последовательно соединенных насосов меньше суммы напоров каждого насоса при индивидуальной работе на ту же сеть.

Последовательное соединение насосов наиболее эффективно при крутой характеристике сети, что подтверждается сравнением напоров в сети H_c и H'_c .

Наиболее распространенным и простым способом *воздействия на характеристику системы (сети)* является дросселирование. Дросселирование осуществляется задвижкой, устанавливаемой в непосредственной близости от насоса на напорном трубопроводе. У насосов дросселирование на всасывающем трубопроводе не рекомендуется из-за опасности возникновения кавитации. На рис. 3.9, а приведены характеристики насоса и сети при различных степенях открытия задвижки (S_1 , S_2 и S_3). Отрезки ΔH_1 , ΔH_2 и ΔH_3 представляют собой потери напора при дросселировании.

Регулирование дросселированием наиболее целесообразно применять для насосов с пологой напорной характеристикой, так как потери в дросселе в этом случае наименьшие при увеличении глубины регулирования.

Воздействие на характеристику машины возможно:

- изменением частоты вращения ротора приводного двигателя. Этот способ наиболее рационален и экономичен при условии, что двигатель допускает изменение частоты вращения без заметного снижения КПД (электродвигатели постоянного тока, паровые турбины). В настоящее время широко распространен способ применения тиристорных преобразователей частоты на электродвигателях. На рис. 3.9, б приведены характеристики насоса H_1 , H_2 и H_i при различных частотах вращения n_1 , n_2 и n_i , что позволяет регулировать подачу насоса от Q_{p1} до Q_{pi} без потерь напора;

- изменением частоты вращения ротора насоса посредством гидро- или электромагнитных муфт;

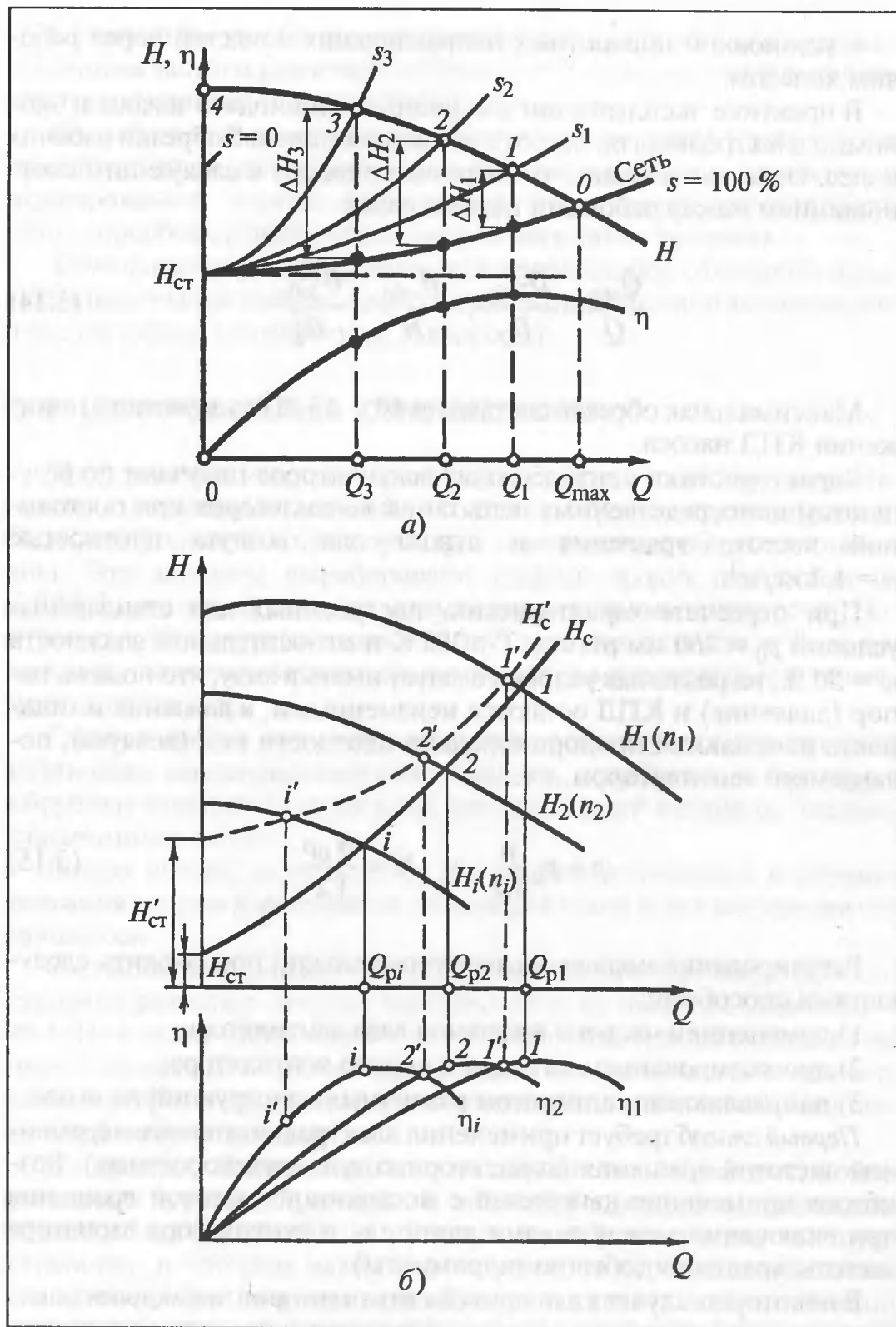


Рис. 3.9. Регулирование нагнетателей (насосов):
 а — дроссельное; б — частотное ($n = \text{var}$)

- установкой поворотных направляющих лопастей перед рабочим колесом.

В практике эксплуатации для уменьшения подачи насоса и экономии электроэнергии широко используют способ обрезки рабочих колес. Опыт показывает, что обрезка приводит к следующим соотношениям между рабочими параметрами:

$$\frac{Q_{\text{обр}}}{Q} = \frac{D_{2\text{обр}}}{D_2}; \quad \frac{H_{\text{обр}}}{H} = \frac{D_{2\text{обр}}^2}{D_2^2}. \quad (3.14)$$

Максимальная обрезка составляет 10 – 15 % без заметного понижения КПД насоса.

Характеристики центробежных вентиляторов получают по результатам непосредственных испытаний вентиляторов при постоянной частоте вращения и строят для воздуха плотностью $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

При пересчете характеристик, построенных для стандартных условий $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$, $T = 293 \text{ К}$ и относительной влажности $\psi = 50 \%$, на реальные условия следует иметь в виду, что подача, напор (давление) и КПД остаются неизменными, а давление и мощность изменяются пропорционально плотности газа (воздуха), подаваемого вентилятором, т.е.

$$p = p_0 \frac{\rho}{1,2} \quad \text{и} \quad N = \frac{N_0 \rho}{1,2}. \quad (3.15)$$

Регулирование подачи вентиляторов можно производить следующими способами:

- 1) изменением частоты вращения вала вентилятора;
- 2) дросселированием на входе и выходе вентилятора;
- 3) направляющим аппаратом различных конструкций на входе.

Первый способ требует применения электродвигателей с переменной частотой вращения (коллекторных или двухскоростных). Возможно применение двигателей с постоянной частотой вращения при включении между валами двигателя и вентилятора вариатора частоты вращения (обычно гидромукфы).

В некоторых случаях для привода вентиляторов применяют электродвигатели с фазовым ротором, в которых с помощью специальных контактных колец и реостата можно регулировать сопротивление в цепи ротора и таким образом изменять частоту вращения вала.

В настоящее время для регулирования подачи вентиляторов изменением частоты вращения используют приводные двигатели с тиристорными преобразователями частоты.

Второй способ применяется очень широко ввиду простоты его конструкции. Вентиляторы малых и средних размеров, приводимые асинхронными короткозамкнутыми двигателями, регулируются этим способом, единственным доступным в таких условиях.

Третий способ распространен для вентиляторов с большой подачей в шахтных установках, и особенно в станционной теплоэнергетике (дутьевые вентиляторы, дымососы).

3.8. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

По назначению компрессоры подразделяются на воздушные и газовые (кислородные) машины. Наибольшее распространение получили воздушные компрессоры, или компрессоры общего назначения. Эти машины вырабатывают сжатый воздух давлением до 5,0 МПа, который широко применяется в промышленности. Например, в металлургии сжатый воздух используется для дутья в доменных и мартеновских печах, вагранках, нагревательных и термических печах и пр.

Сжатый воздух как энергоноситель используется для привода различных пневмомеханизмов, молотов, трамбовок, вибраторов, обрубных молотов, патронов для зажима деталей в станках, пневмоподъемников и т.п.

Воздух широко используется для транспортирования и перемешивания сыпучих материалов, сепарации пыли и для многих других процессов.

Рост сети газопроводов и увеличение их протяженности способствовали развитию газовых компрессоров на высокие давления — 40 МПа и выше. Для доставки природного газа в пункт потребления через каждые 100 — 150 км газопроводов необходимо устанавливать компрессорные станции, перекачивающие до нескольких миллионов кубометров газа в сутки.

По принципу действия различают поршневые (объемные) компрессоры и турбокомпрессоры. В поршневых машинах повышение давления происходит из-за уменьшения объема замкнутого пространства, в котором находится газ, за счет перемещения стенки (например, поршня в цилиндре). При сжатии газ практически неподвижен, силы инерции в нем не проявляются (статическое сжатие). Характерной особенностью этих машин является периодичность рабочего процесса.

В турбокомпрессорах сжатие происходит вследствие использования сил инерции потока газа. Преобразование энергии в таких машинах можно условно разделить на два этапа: на первом этапе газу сообщается кинетическая энергия (например, вращающимся лопаточным аппаратом), а на втором — поток газа тормозится и его кинетическая энергия преобразуется в потенциальную (в диффузоре). Оба этапа могут совершаться одновременно. Характерной особенностью этих машин является непрерывность рабочего процесса.

Следует заметить, что получение сжатых газов является весьма энергоемким производством. Например, на многих машиностроительных заводах для привода компрессоров расходуется около 30 % общих затрат энергии, а на предприятиях горнорудной промышленности еще больше.

Конструктивная схема центробежного компрессора представлена на рис. 3.10. Можно сказать, что центробежный компрессор действует аналогично центробежному насосу.

Реальный компрессорный процесс сжатия считается политропным. Работу политропного сжатия идеального газа (без учета потерь

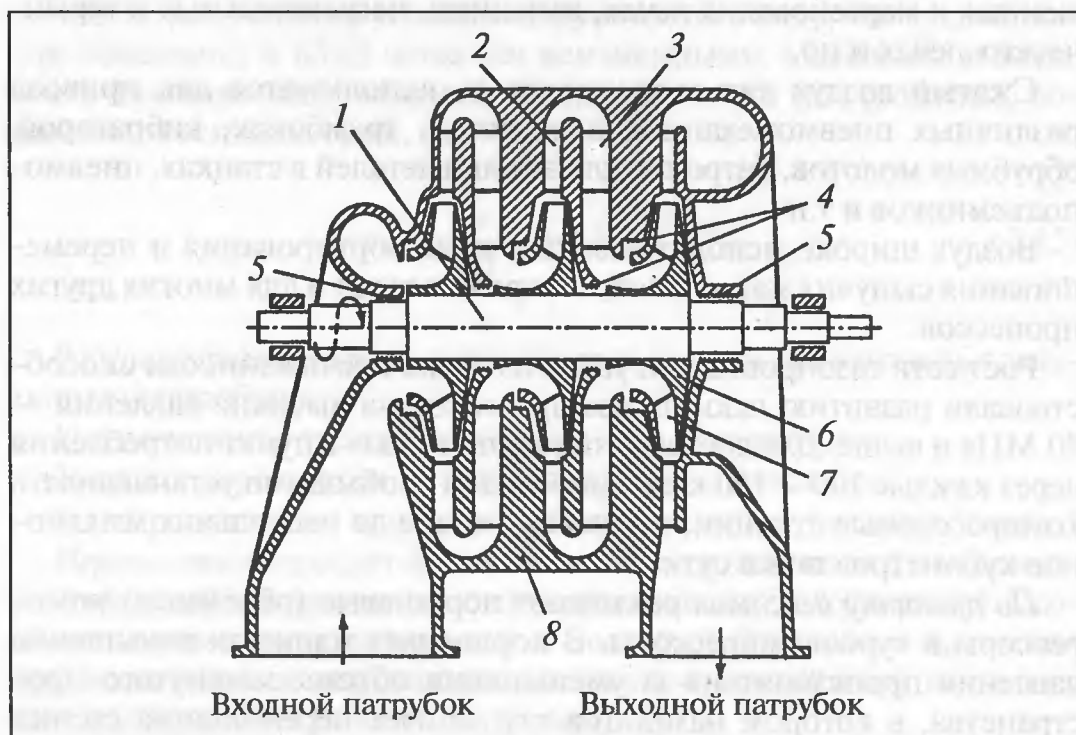


Рис. 3.10. Трехступенчатый центробежный компрессор:

1 — вал; 2 — диффузор; 3 — неподвижные направляющие лопатки; 4 — лабиринтовые уплотнения; 5 — концевые уплотнения; 6 — рабочее колесо; 7 — рабочие лопатки; 8 — корпус компрессора

на трение) можно определить по уравнениям термодинамики в специальной литературе (погрешность составляет 2 — 3 %).

Удельная работа, совершаемая над потоком в реальном компрессоре, расходуется на сжатие и перемещение газа, изменение его кинетической энергии и на внутренние потери. При наличии потерь в зависимости от интенсивности внешнего охлаждения процесс сжатия в компрессоре может протекать с показателем политропы $n = 1,2 \div 1,7$, меньшим или большим показателем адиабаты.

К основным параметрам компрессора относятся подача, конечное давление, мощность на валу и КПД (относительный), так как совершенство компрессорного процесса оценивают с помощью относительных термодинамических КПД — изотермического $\eta_{из}$ и изоэнтропного η_a .

Если действительный политропный процесс в компрессоре происходит с показателем n при удельной энергии L , то изотермический и изоэнтропный КПД определяют по формулам

$$\eta_{из} = L_{из}/L; \quad \eta_a = L_a/L, \quad (3.16)$$

где $L_{из}$ и L_a — удельные энергии изотермического и изоэнтропного процессов.

Центробежные и осевые компрессоры (с неинтенсивным охлаждением) оцениваются с помощью изоэнтропного КПД η_a . Это объясняется тем, что для компрессоров этого типа изоэнтропный процесс является эталонным и наиболее совершенным.

Подачей называется количество газа (воздуха), подаваемого компрессором в единицу времени. Различают массовую m , кг/с, и объемную Q_0 , м³/с, подачу. В характеристиках машины обычно указывается объемная подача, отнесенная к условиям всасывания либо к нормальным условиям по ГОСТ 2939-63 ($t_H = 20^\circ\text{C}$, $p_H = 101,325$ кПа). Давление p , развиваемое компрессором, можно рассматривать как энергию, сообщаемую одному кубическому метру газа ($1 \text{ Дж/м}^3 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м/м}^3 = 1 \text{ Па}$).

Мощность на валу центробежного компрессора, кВт, для одной ступени

$$N_B = \frac{\rho Q_0 L_a}{1000 \eta_a \eta_{мех}}, \quad (3.17)$$

где ρ — плотность газа (воздуха), кг/м³; Q_0 — объемная подача, м³/с; L_a — удельная энергия изоэнтропного процесса сжатия, Дж/кг; η_a —

относительный изоэнтропный КПД, принимаемый $0,8 - 0,9$; $\eta_{\text{мех}}$ — механический КПД, принимаемый $0,96 - 0,98$.

Мощность многоступенчатого компрессора представляет собой сумму мощностей отдельных ступеней.

Характеристиками центробежных компрессоров называются графически изображенные зависимости $p = f_1(Q_0)$, $N_b = f_2(Q_0)$ и $\eta_k = f_3(Q_0)$. Наиболее важной из них является зависимость между давлением (удельной работой) и подачей $p = f_1(Q_0)$.

Центробежные компрессоры выполняются с большим разнообразием схем и конструкций проточной части, отдельных узлов и деталей. Их изготовляют одноступенчатыми и многоступенчатыми. Повышение давления, создаваемого одной ступенью центробежного компрессора, ограничивается аэродинамической прочностью рабочего колеса. Поэтому для достижения требуемого конечного давления применяются многоступенчатые компрессоры. В современных центробежных компрессорах в зависимости от требуемого конечного давления в одном корпусе размещают шесть — восемь ступеней. Многоступенчатые центробежные компрессоры могут иметь промежуточные теплообменники (охладители). После сжатия в секции, состоящей из одной — трех неохлаждаемых ступеней, газ охлаждается в теплообменнике (рис. 3.11).

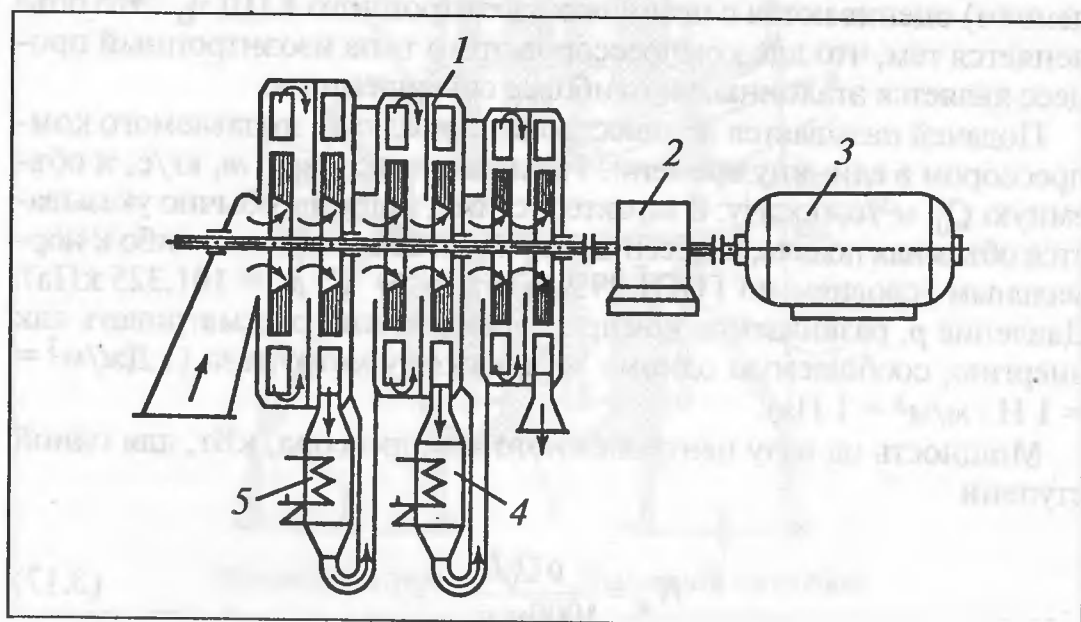


Рис. 3.11. Схема трехсекционного шестиступенчатого центробежного компрессора:

1 — компрессор; 2 — редуктор; 3 — привод; 4 — охладитель II секции; 5 — охладитель I секции

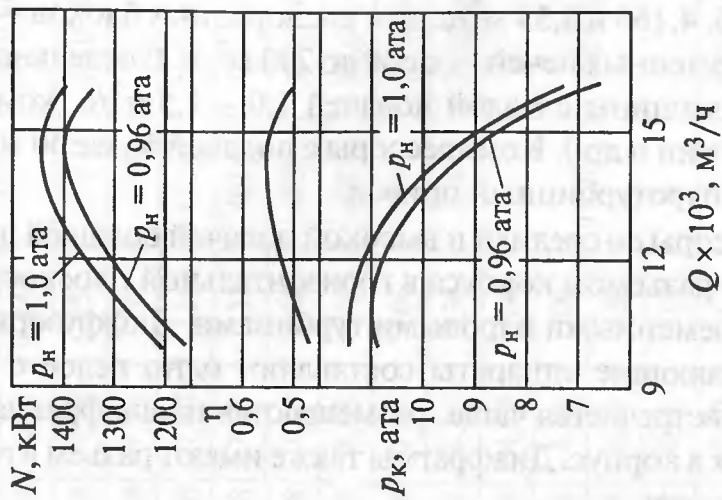
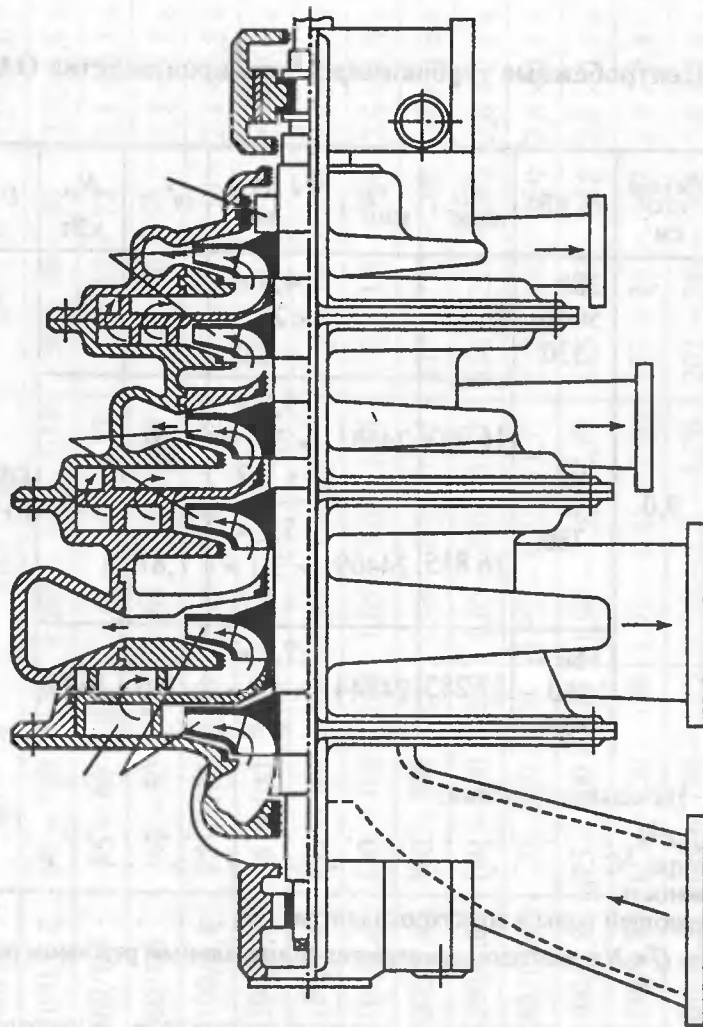


Рис. 3.12. Воздушный компрессор К-250-61-1 (а) и его характеристики при $t_n = 20^\circ \text{C}$; $n = 11\,230 \text{ мин}^{-1}$ (б)

Центробежные компрессоры общего назначения выпускаются с подачей 1,66; 4,166 и 8,33 м³/с, для кислородных блоков — 15 м³/с и выше, для доменных печей — от 50 до 200 м³/с. В отдельных случаях производят машины с малой подачей 1,0 — 1,5 м³/с (компрессоры для нефтехимии и др.). Компрессоры с подачей более 50 м³/с имеют в основном паротурбинный привод.

Компрессоры со средней и высокой подачей большей частью выпускаются с разъемом корпуса в горизонтальной плоскости по аналогии с современными паровыми турбинами. Диффузоры и обратные направляющие аппараты составляют одно целое с корпусом или же, что встречается чаще, размещаются на диафрагмах, плотно вставленных в корпус. Диафрагмы также имеют разъем в горизонтальной плоскости.

Таблица 3.26. Центробежные турбокомпрессоры производства ОАО "Дальэнергомаш"

Тип компрес-сора	Q , м ³ /мин	$p_{к\max}$, кгс/см ²	N , кВт	n_1 , мин ⁻¹	n_2 , мин ⁻¹	$l \times b \times h$, м	m^* , т	N_D , кВт	U , В	m_D , т
ТКА 80/9	58 — 80 — 86	9,0	380 — 500 — 530	16 815	24409	$4,6 \times$ $\times 2,5 \times$ $\times 2,0$	7,0	630	6000, 10 000	2,8
ТКА130/9	95 — 130 — 140		560 — 745 — 780	16 933	24581	$5,8 \times$ $\times 3,1 \times$ $\times 2,3$	7,6	800		4,6
				16 815	24409	$5,1 \times$ $\times 3,1 \times$ $\times 2,3$	7,87			3,0
ТКА250/9	170 — 260 — 276		880 — 1450 — 1490	17 283	24844	$7,7 \times$ $\times 4,1 \times$ $\times 23$	12,0	1600		7,0

Примечания: 1. Начальные условия:

Давление, кПа (кгс/см²) 98(1,0)

Начальная температура, °С 20

Относительная влажность, % 50

Температура охлаждающей воды в воздухоохладителе, °С 20;

2. Средние значения Q и N в диапазонах являются номинальным режимом работы агрегата.

3. m^* — масса без приводного двигателя; m_d — масса двигателя; n_1 — частота вращения тихоходного ротора; n_2 — частота вращения быстроходного ротора.

Т а б л и ц а 3.27. Параметры центробежных низконапорных нагнетателей (воздуходувок) производства ОАО "Дальэнергомаш"

Тип машины	Q , м ³ /мин	p_k , кгс/см ²	N , кВт	$l \times b \times h$, м	m , т	N_d , кВт	n , мин ⁻¹	U , В
ЦНВ60/1,2	60 — 70	1,21 — 1,2	24 — 30	1,9 × 1,6 × 1,8	4,73	30	2945	220/380
ЦНВ100/1,2	90 — 100 — 130	1,205 — 1,2 — 1,18	36 — 38 — 45	2,0 × 1,6 × 1,8	4,87	45		
ЦНВ60/1,4	45 — 60 — 100	1,45 — 1,4 — 1,32	42 — 50 — 72	2,1 × 2,1 × 1,8	7,20	75	4125	220/380
ЦНВ60/1,6	40 — 60 — 80	1,65 — 1,6 — 1,57	50 — 70 — 89	2,2 × 2,1 × 1,8	7,26	90	4898	220/380
ЦНВ100/1,4	75 — 100 — 150	1,45 — 1,4 — 1,35	65 — 85 — 110	2,4 × 2,3 × 1,8	7,60	110	4139	220/380
ЦНВ100/1,6	65 — 100 — 150	1,65 — 1,6 — 1,45	74 — 110 — 132	2,5 × 2,3 × 1,8	7,67	132	4914	380/660
ЦНВ160/1,4	130 — 160 — 150	1,45 — 1,4 — 1,32	115 — 130 — 150	2,6 × 2,4 × 1,8	7,80	160	4139	380/660
ЦНВ160/1,6	120 — 160 — 210	1,65 — 1,6 — 1,46	133 — 170 — 194	2,6 × 2,3 × 1,8	8,01	200	4914	380/660
ЦНВ200/1,4	140 — 200 — 230	1,44 — 1,4 — 1,35	119 — 155 — 160	2,6 × 2,3 × 1,8	7,82	160	4139	380/660
ЦНВ200/1,6	140 — 200 — 260	1,65 — 1,6 — 1,47	165 — 215 — 245	2,6 × 2,4 × 1,8	8,35	250	4914	380/660
ЦНВ80/1,85	70 — 80 — 92	1,92 — 1,85 — 1,77	120 — 132 — 150	2,6 × 2,3 × 1,8	4,27	160	16 764	380/660
ЦНВ100/1,8	75 — 100 — 110	1,90 — 1,8 — 1,70	125 — 153 — 165	2,6 × 2,3 × 1,8	4,55	200		
ЦНВ130/1,85	115 — 130 — 140	1,92 — 1,85 — 1,80	187 — 207 — 222	2,6 × 2,3 × 1,8	4,32	250		
ЦНВ160/1,8	120 — 160 — 175	1,90 — 1,8 — 1,70	202 — 247 — 262	2,6 × 2,3 × 1,8	4,85	315		
ЦНВ80/3,2	75 — 80 — 105	3,2 — 3,4 — 3,2	230 — 255 — 325	3,3 × 2,2 × 1,8	5,70	315	16 764	380/660
ЦНВ100/3,2	85 — 100 — 110	3,35 — 3,2 — 2,9	270 — 310 — 335	3,5 × 2,2 × 1,8	5,85	400		380/660
ЦНВ130/3,2	120 — 135 — 140	3,4 — 3,3 — 3,2	375 — 405 — 430	3,7 × 2,4 × 2,0	5,90	500		6000
ЦНВ160/3,2	130 — 160 — 170	3,4 — 3,2 — 2,7	410 — 480 — 500	3,8 × 2,4 × 2,1	6,60	630		6000, 10 000

Таблица 3.28. Технические характеристики центробежных компрессоров производства ОАО "Казанькомпрессормаш"

Марка компрессора (компрессорной установки)	Сжимаемый газ	Производительность, м ³ /мин	Давление, кгс/см ²		Привод
			начальное	конечное	
ЦК-135/8М1	Воздух, азот	135	1	7,8	Электр.
ЦК-115/9	Воздух, азот	115	1	9	Электр.
543ЦК-450/35М1	Воздух	450	1	35	Электр.
ВЦ1-75/10	Воздух	75	1	10	Дизель
32ВЦ-100/9	Воздух, азот	100	1	9	Электр.
43ВЦ-160/9	Воздух, азот	160	1	9	Электр.
АЭРОКОМ22-63/9	Воздух	62,6	0,99	9	Электр.
АЭРОКОМ 2-60/3,5 УХЛ 4	Воздух	60	1,02	3,5	Электр.
АЭРОКОМ АА-250/9,4	Воздух	262	1,02	9,4	Электр.
АЭРОКОМ АА-250/9Д	Воздух	253	1,02	9,4	Дизель
АЭРОКОМ 43-120/9 ОМ5	Воздух	113	0,985	9	Электр.
ЦНОН-160/1,8	Воздух	160	1	1,8	Электр.
ЦКОН-43-160/9Р	Воздух		0,98	9	Электр.
ЦНОН-60/2,5	Воздух	60	1,033	2,5	Электр.
КТК-7/14	Кислород	117	1	14	Электр.

Все центробежные компрессоры, как правило, многоступенчатые. Охлаждение корпуса компрессора улучшает его энергетические характеристики.

На рис. 3.12, а представлены разрез и характеристика широко распространенного в промышленности воздушного компрессора К-250-61-1. Компрессор шестиступенчатый, трехсекционный, имеет корпус с горизонтальным разъемом. Все подводящие и отводящие патрубки отлиты как одно целое с нижней половиной корпуса. Диффузоры компрессора канального типа имеют горизонтальный разъем и плотно вставлены в корпус. Привод компрессора электрический и соединен с компрессором через повышающий редуктор.

Регулирование подачи компрессора производят следующими способами: изменением частоты вращения вала, закруткой потока перед рабочим колесом и дросселированием потока на всасывании или нагнетании.

Таблица 3.29. Технические характеристики центробежных компрессоров фирмы "Атлас Копко"

Модель компрессора	Рабочее давление, бар	Диапазон производительности, м ³ /ч	Мощность двигателя N _д , кВт	Уровень шума, дБ(А)	Масса, кг	Габариты l × b × h, мм
Компрессоры среднего давления двухступенчатые						
ZH7000	3,5; 3,9; 4,2; 4,6	4332 – 7280	315 – 500	68	6500	5000 × 2120 × 2400
ZH10000		6720 – 10933	500 – 710	68	10 500	5250 × 2120 × 2400
ZH15000		10900 – 17032	710 – 1250	68	18 000	5800 × 2370 × 2630
Компрессоры среднего давления трехступенчатые						
ZH7000	7; 8; 9; 10,4	4360 – 7350	450 – 800	74	8000	5000 × 2120 × 2400
ZH10000		6700 – 11246	630 – 1120	74	12 000	5250 × 2120 × 2400
ZH15000		10870 – 16910	1120 – 1850	74	15 000	5800 × 2370 × 2630
Безмасляные центробежные компрессоры низкого давления						
ZB80VSD	0,3 – 1	25,4 – 59,3	80	67	1130	1520 × 1446 × 2076
ZB120VSD	0,3 – 1,4	23,2 – 63,7	120	67	1180	
ZB160VSD	0,3 – 1,7	23,2 – 70	160	67	1230	

Таблица 3.30. Технические характеристики компрессоров серии ТМ компании Samsung

Модель	ТМ 400	ТМ 500	ТМ 600	ТМ 700	ТМ 800	ТМ 900	ТМ 1000	ТМ 1250	ТМ 1500	ТМ 1750	ТМ 2000	ТМ 2250
Мощность двигателя, кВт (л. с.)	224 – 2386 (300 – 3200)											
Производительность, м³/ч	2200 – 22 000											
Выходное избыточное давление, бар	2,5 – 20											
$l \times b \times h$, мм	2900 × 1600 × 1800		3210 × 1900 × 1930		3985 × 2070 × 1980		5800 × 2300 × 2550					
Масса, т	4,5 – 12											

Характеристики турбокомпрессоров производства ОАО "Дальэнергомаш" приведены в табл. 3.26, а центробежных низконапорных воздуходувок — в табл. 3.27. Технические характеристики компрессоров некоторых других производителей представлены в табл. 3.28 — 3.30.

Список литературы

1. **Теплотехнический справочник. Т. 1** / Под общ. ред. В. И. Юренева и П. Д. Лебедева. М.: Энергия, 1976.
2. **Быстрицкий Г. Ф.** Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. М.: Академия, 2003.
3. **Быстрицкий Г. Ф.** Основы энергетики. М.: Инфа-М, 2005.
4. **Черкасский В. М.** Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. **Деев Л. В., Балахничев Н. А.** Котельные установки и их обслуживание. М.: Высшая школа, 1990.
6. **Кривченко Г. И.** Гидравлические машины. М.: Энергия, 1978.
7. **Справочник энергетика** / В. И. Григорьев, Э. А. Киреева, Г. Ф. Быстрицкий и др. М.: Колос, 2006.
8. **Материалы заводов и фирм — производителей оборудования,** 2006.
9. **Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник** / Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Кн. 3 и 4. М.: Энергоатомиздат, 1991.

Содержание

Предисловие	3
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Энергетическое топливо	4
1.1. Общие сведения	4
1.2. Элементарный состав твердого и жидкого топлива	4
1.3. Расчеты горения топлива	11
ГЛАВА ВТОРАЯ. Промышленные котельные установки	15
2.1. Общие сведения	15
2.2. Паровые котлы производственных котельных	17
2.3. Водогрейные котлы	22
2.4. Тепловой баланс котельного агрегата	29
2.5. Тепловые потери котла	31
2.6. Коэффициент полезного действия и расход топлива	34
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Нагнетательные машины	36
3.1. Общие сведения	36
3.2. Определение мощности приводного двигателя центробежного насоса	42
3.3. Виды и характеристики центробежных насосов	43
3.4. Насосное оборудование производства ЗАО "Гидромаш-холдинг"	51
3.5. Центробежные химические насосы производства ОАО "Насосный завод" (г. Екатеринбург)	67
3.6. Вентиляторы	68
3.7. Регулирование подачи (расхода) центробежных насосов и вентиляторов	70
3.8. Центробежные компрессоры	77
Список литературы	86

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу "Энергетик"

БЫСТРИЦКИЙ ГЕННАДИЙ ФЕДОРОВИЧ

Теплосиловое оборудование промышленных предприятий
(справочные материалы)

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Телефоны: (495) 675-19-06, тел. 675-00-23 доб. 22-47; факс: 234-74-21

Научный редактор **А. М. Александров**

Редакторы: **Л. Л. Жданова, Н. В. Олышанская**

Худож.-техн. редактор **Т. Ю. Андреева**

Корректор **Е. П. Севостьянова**

Сдано в набор 26.04.07. Подписано в печать 21.06.07.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 5,5. Заказ БЭТ/06(102)-2007

Макет выполнен издательством "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Журнал “Энергетика за рубежом”

— приложение к журналу “Энергетик”

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу “Энергетик” — **“Энергетика за рубежом”**. Это приложение выходит **один раз в два месяца**.

Журнал “Энергетика за рубежом” знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики, такими, как:

- развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;
- особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;
- опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;
- модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;
- распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **“ПРЕССА РОССИИ”**. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Индексы журнала “Энергетика за рубежом”

— приложения к журналу “Энергетик”

87261 — для предприятий и организаций;

87260 — для индивидуальных подписчиков.

Об авторе



Геннадий Федорович Быстрицкий — заслуженный профессор Московского энергетического института (технического университета), опытный специалист по энергетическому оборудованию, автор четырех учебников для высшего и среднего технического образования, а также “Справочника энергетика”.

Автор большого числа статей в различных научно-технических журналах.

Правильный выбор и грамотная эксплуатация различного теплоэнергетического и силового оборудования повышают эффективность любого предприятия