МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
имени Т. Ф. Горбачев

«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. П. Абрамов

ПИТАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОНАСОСЫ ТЭС и АЭС

инструкция по изучению конструкций узлов, элементов и приемов эксплуатации для студентов всех форм обучения специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика»

Рекомендована учебно-методической комиссией специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика» для использования в учебном процессе

Кемерово 2012

Рецензенты:

В. Н. Сливной, доцент кафедры стационарных и транспортных машин.

А. Ю. Захаров, председатель УМК специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика»

Абрамов Александр Прохорович. ПИТАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОНАСОСЫ ТЭЦ И АЭС: инструкция по изучению конструкций узлов, элементов и приемов эксплуатации для студентов всех форм обучения специальности «Тепловые двигатели и нагнетатели» [Электронный ресурс]: / А. П. Абрамов. – Электрон. дан. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 512 Мб ; Windows 2003 ; (CD-ROM-дисковод) ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены технические характеристики питательных электронасосов и их напорно-расходные характеристики в пределах рабочей зоны.

Описаны конструкции узлов, элементов и приемов эксплуатации питательных насосов (основных, пускорезервных и предвключенных) с электрическим приводом: ПЭ–380-185, ПЭ–600-300, ПД–650-130; ПД–1600-180 и СПЭ–1600-75.

© ГУ КузГТУ
© Абрамов А. П.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСАХ

Питательные насосы представляют особую группу энергетических насосов, которые предназначены для повышения давления химически очищенной воды после ее деаэрации. Давление на выходе из насоса может достигать 40МПа, что требует большой прочности его корпуса (корпусов) и значительной мощности привода. Температура воды перед насосом, как правило, значительно превышает 100ºС, что требует использования материалов для их производства с высокими коррозионными характеристиками. По выполняемым функциям в тепловой схеме современной электростанции они относятся к основному энергетическому оборудованию.

Питательные насосы в зависимости от начальных параметров пара и компоновки тепловой схемы станции осуществляют подачу питательной воды по одной из схем:

– напрямую в котел,
– через подогреватели высокого давления в котел,
– в коллектор питательной воды.

С учетом выполняемой функции в тепловой схеме питательные насосы принято разделять на четыре группы:

– предвключенные насосы – ПД,
– пускорезервный питательные насосы – ПЭ,
– питательные электронасосы – ПЭ,
– питательные турбонасосы – ПТН.

Питательные насосы с электрическим двигателем в качестве привода производятся в соответствии с ГОСТ 22337-77. Питательные турбонасосы с приводом от паровой реже газовой турбины имеют ряд специфических характеристик и конструктивных особенностей, что выделяет их в отдельную самостоятельную группу насосов.

При эксплуатации на ТЭЦ и АЭС для повышения надежности и эффективности применения к питательным насосам предъявляется ряд специфических требований:

– конструкция насоса должна иметь внешнюю и внутреннюю герметичность;
– конструкция насоса должна допускать температурное расширение при переменной температуре перекачиваемой жидкости;
– насос должен быть динамически устойчивым во всем диапазоне рабочих режимов;
– насосы должны работать надежно и длительно (не менее 10 тысяч часов) без заметного снижения параметров и замены основных деталей и узлов;
– для устойчивой работы в системе, особенно при параллельном включении в систему, насосы должны иметь стабильную форму напорной характеристики в интервале подач от 30% до номинальной с крутизной не более 30%;
– для предотвращения обратного вращения и недопустимого нагрева воды при малых подачах насосы должны снабжаться обратными клапанами с линией рециркуляции.

В соответствии с ГОСТ 22337-77 центробежные питательные насосы:

1. Настоящий стандарт распространяется на многоступенчатые, секционные, го-

ризонтальные питательные центробежные насосы (ПЭ) с приводом от электродвигателя с синхронной частотой вращения 50 $с^{-1}$ (3000 об/мин), предназначенные для питания водой стационарных паровых котлов с абсолютным давлением пара 3,9; 9,8; 13,7; 25 МПа (40, 100, 140, 255 $кгс/см^2$).

2. Вода должна иметь водородный показатель pH = 7,0-9,2; температуру не более 438 К (165 °С) и не содержать твердых частиц.
3. Типоразмеры и основные параметры насосов должны соответствовать указанным в табл. 1.
4. Для насосов с подачей 0,105 $м^3/с$ (380 $м^3/ч$) и выше допускается применять гидромуфты.

   Для насоса типоразмера ПЭ 600-300 должны применяться гидромуфта и мультипликатор.
5. Рабочие части напорно-расходных характеристик насосов должны соответствовать указанным на чертеже (см. ГОСТ).
6. Насосы должны иметь постоянную падающую напорную характеристику в интервале подач $(0,3\text{-}1,0)Q_Н$ ($Q_Н$ – номинальная подача насоса). При этом максимальный напор не должен превышать величину напора при номинальной подаче более чем на 22 %.
7. Насосы с подачей 0,105 $м^3/с$ (380 $м^3/ч$) и выше, а также насос типоразмера ПЭ 250-180 должны допускать отбор воды от промежуточной ступени до 10 % от номинальной подачи с давлением 3,9-7,4 МПа (40-75 $кгс/см^2$) при работе в номинальном режиме. В интервале подач $(0,3\text{-}1,0)Q_Н$ значения давлений отбора должны быть выше указанного не более чем на 22 %.

Основные технические характеристики питательных электронасосов приведены в табл. 1.

Для котлов с давлением пара до 3,9МПа применяют электронасосы следующих моделей: ПЭ-65-45, ПЭ-65-53, ПЭ-100-53, ПЭ-150-53, ПЭ-150-63. Эти насосы – центробежные, горизонтальные, однокорпусные, секционного типа, с односторонним расположением рабочих колес и гидравлической пятой.

Для котлов с давлением пара 9,8 и 13,7МПа применяют электронасосы следующих моделей: ПЭ-150-145, ПЭ-270-150 и ПЭ-250-180. Эти насосы – центробежные, горизонтальные, однокорпусные, секционного типа, с односторонним расположением рабочих колес в количестве 14, 10 и 13 и гидравлической пятой.

Для котлов с давлением пара 13,7МПа применяют питательные электронасосы следующих моделей: ПЭ-380-185/200, ПЭ-500-180, ПЭ-580-185/200, ПЭ-720-185, ПЭ-780-185/210 и ПЭ-900-185. Эти насосы – центробежные, горизонтальные, двухкорпусные с внутренним корпусом секционного типа, с односторонним расположением рабочих колес и гидравлической пятой.

При двухкорпусной конструкции усилия от присоединенных трубопроводов воспринимаются очень жестким наружным корпусом и не передаются внутреннему корпусу, что гарантирует высокую надежность работы насоса. Наличие жидкости между корпусами приводит к значительному снижению уровня шума при работе насоса.

Рабочие части Q(H) характеристик питательных электронасосов, выпускаемых в России по ГОСТ 22337-77, приведены на рис. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики питательных электронасосов

Модель насоса	Q, $м^3/ч$	H, м	$P_Н$, МПа	$P_{ВХ}$, МПа	$Н^{ДОП}_{ВС}$, м	η, %	N, кВт	M, кг
ПЭ-65-40	65	440	3,9	0,68	4	66	106	1090
ПЭ-65-45	65	440	3,9	0,68	4	66	108	1090
ПЭ-65-53	65	580	5,2	0,68	4	66	143	1150
ПЭ-100-53	100	580	5,2	0,68	4	68	210	1310
ПЭ-150-53	150	580	5,2	0,68	5	71	305	2047
ПЭ-150-63	150	700	6,2	0,68	5	71	370	2140
ПЭ-150-145	150	1580	14,2	0,68	8	71	825	4256
ПЭ-250-45	250	450	4,4	0,68	9	75	410	2180
ПЭ-250-180	250	1975	17,6	0,68	11	75	1625	6340
ПЭ-270-150	270	1650	14,7	0,78	11	76	1445	6734
ПЭ-380-185	380	2030	18,1	0,98	12	77	2475	10920
ПЭ-380-200	380	2190	19,6	0,98	12	77	2670	11000
ПЭ-500-180	500	1975	17,6	0,98	15	78	3125	10850
ПЭ-580-185	580	2030	18,1	0,98	9	81	3590	10850
ПЭ-580-200	580	2150	19,1	0,98	9	81	3800	10930
ПЭ-600-300	600	3220	29,4	2,35	15	77	6360	12080
ПЭН-600-320	600	3520	31,4	2,40	15	78	6740	12080
ПЭ-720-185	720	2030	18,1	0,98	15	82	4400	10930
ПЭ-780-185	780	2030	18,1	0,98	15	80	4890	16380
ПЭ-780-210	780	2330	20,6	0,98	15	80	5615	16600
ПЭ-900-185	900	2030	18,1	0,98	15	82	5500	16490

1. Параметры насосов с $P_Н \geq 17,6$МПа указаны без отбора от промежуточной ступени насоса.
2. Допустимый кавитационный запас отнесен к оси насоса, он не зависит от температуры перекачиваемой воды.
3. Напор, указанный дробью, например, 185/210 - соответствует насосам с числом рабочих колес 10 и 11.
4. Масса указана для насоса без двигателя.

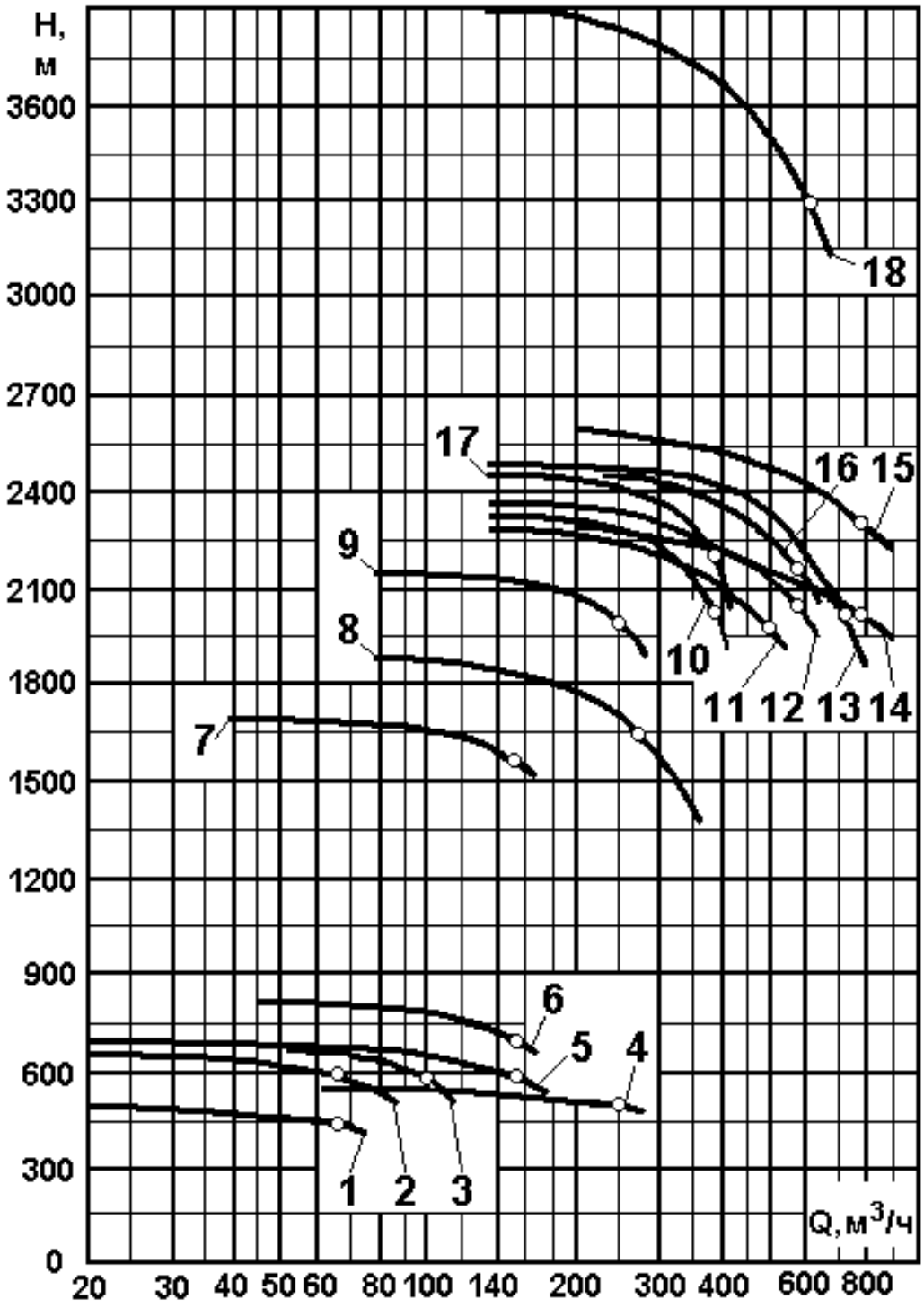


Рис. 1. Рабочие части Q(H) характеристик питательных электронасосов по ГОСТ 22337-77

1 – ПЭ 65-40; 2 – ПЭ 65-53; 3 – ПЭ 100-53; 4 – ПЭ 250-45;
5 – ПЭ 150-53; 6 – ПЭ 150-63; 7 – ПЭ 150-145; 8 – ПЭ 270-150;
9 – ПЭ 250-180; 10 – ПЭ 380-185; 11 – ПЭ 500-185; 12 – ПЭ 580-185;
13 – ПЭ 720-185; 14 – ПЭ 780-185; 15 – ПЭ 780-210; 16 – ПЭ 580-195;
17 – ПЭ 380-200; 18 – ПЭ 600-300

2. ПИТАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОНАСОС ПЭ-380-185

Питательный электронасос ПЭ-380-185 центробежный, двухкорпусной, 11-и ступенчатый, с односторонним расположением рабочих колес рис. 2. Все колеса насоса имеют один диаметр по выходным кромкам лопаток, которые загнуты назад ($\beta_2 < 90^o$). Диаметр всасывающего отверстия первого колеса больше чем у всех остальных, для увеличения кавитационного запаса.

С целью достижения необходимого уровня безопасности эксплуатации и снижения трудоемкости монтажа насос ПЭ-380-185 выпускается двухкорпусным. Аналогичную конструкцию имеют питательные электронасосы ПЭ-500-180, ПЭ-500-185/200, ПЭ-720-185, ПЭ-780-185/210, ПЭ-900-185. Наружный корпус кованный обладает большой жесткостью, что обеспечивает возможность применения фланцевого присоединения подводящего и напорного трубопроводов. Механические усилия от наружного корпуса внутреннему корпусу (секционного типа) практически не передаются, а водяная рубашка между ними существенно снижает вибрацию и уровень шума при работе насоса. Оба патрубка приварены к наружному корпусу и направлены вверх. С торцов наружный корпус закрыт крышками входной и напорной. Для контроля равномерности обжатия металлической прокладки между крышкой и корпусом предусмотрен зазор в 1мм. Крышки напорная и подводящая крепится к наружному корпусу шпильками. В верхней и нижней части корпуса установлены датчики контроля температуры.

Для заполнения пространства между корпусами питательной водой и поддерживания в нем требуемого статического давления через шесть аксиальных каналов в трех первых секциях внутреннего корпуса производится отбор воды после третей ступени. Для этого первые три секции выполняются с утолщенной наружной стенкой. Отборная вода по каналам проходит до стыковой крышки и через радиальные сверления заполняет полость между корпусами от первой до девятой ступени включительно, а оттуда по радиальному каналу в наружном корпусе поступает в трубопровод отбора. На стыке девятой и десятой ступени на внутренней поверхности наружного корпуса выполнен внутренний фланец, к которому через стальную прокладку крепится неподвижно внутренний корпус. Этот фланец является фикс-пунктом внутреннего корпуса.

Все рабочие колеса насоса установлены на вал по скользящей посадке 2-го класса точности. Между торцом ступицы рабочего колеса последней ступени и торцом дистанционной втулки, которая с другой стороны упирается в разгрузочный диск гидропяты, предусмотрен зазор для компенсации температурных расширений деталей ротора. Исключение протечек воды по валу достигается за счет металлического контакта торцов ступиц рабочих колес под действием осевого усилия, направленного в сторону двигателя. Уплотнение первого колеса одношелевое, а всех остальных колес – двухщелевые.

Осевое усилие, передаваемое с рабочих колес на вал, воспринимает разгрузочный диск гидропяты. Он установлен неподвижно на валу за последним рабочим колесом и дистанционной втулкой. Неподвижность диска относительно вала обеспечена шпонкой и стопорной гайкой. В напорную крышку наружного корпуса запрессована калиброванная втулка, которая с дистанционной втулкой на валу образует кольцевой зазор, через который вода с давлением около 18,5МПа

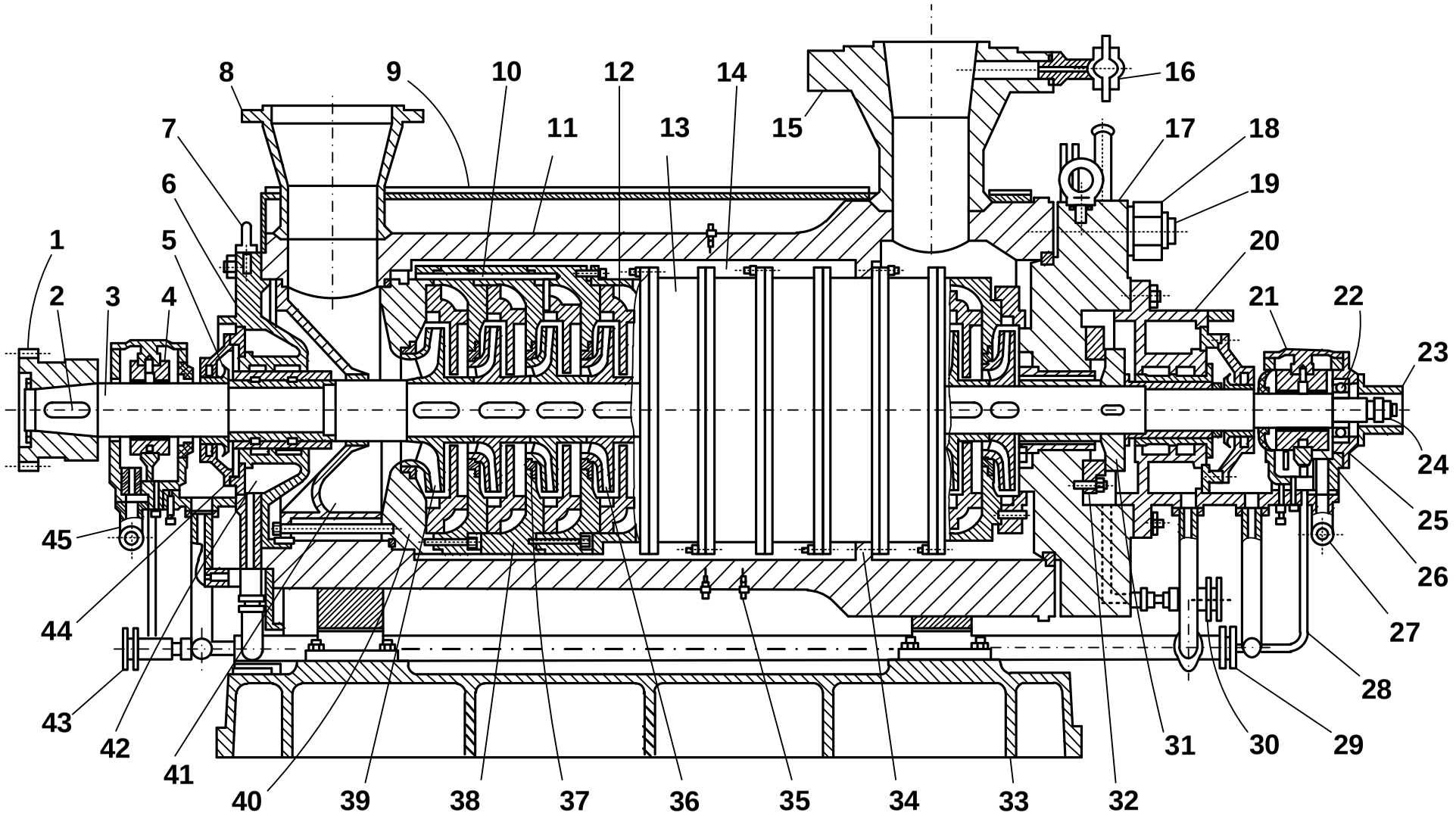


Рис. 2. Питательный насос ПЭ-380-185

1 – ведомая зубчатая полумуфта; 2 – шпонка; 3 – вал; 4 и 26 – радиальные подшипники скольжения передний и задний; 5 – водоотбойный диск; 6 и 17 – щит передний и задний; 7 – рым-болт; 8 и 15 – патрубки подводящий и напорный; 9 – кожух (термошумоограждение); 10 – канал для отвода воды в межкорпусное пространство; 11 – наружный корпус; 12 – направляющий аппарат; 13 и 38 – секции внутреннего корпуса; 14 – межкорпусное пространство; 16 – отвод на манометры; 18 – гайка, шайба плоская и пружинная; 19 – шпилька; 20 – корпус заднего концевого уплотнения; 21 – корпус задней подшипниковой опоры; 22 – упорный подшипник; 23 и 24 – ограждение и указатель осевого сдвига ротора; 25 – крышка упорного подшипника; 27 и 45 – дренаж масла; 28 – подвод масла; 29 и 43 – коллектор дренажей холодного конденсата; 30 – отвод воды от гидропяты; 31 и 32 – разгрузочный диск и подушка гидропяты; 33 – фундаментная плита; 34 – внутренний фланец наружного корпуса (фикс-пункт внутреннего корпуса); 35 – датчики контроля температуры; 36 – рабочее колесо 4-й ступени; 37 – уплотнение; 39 – рабочее колесо первой ступени; 40 – стыковая крышка; 41 – крышка кольцевой подводящей камеры; 42 – камера отвода конденсата; 44 – крышка концевого уплотнения

поступает в рабочую полость гидропяты. Воздействуя на рабочую поверхность разгрузочного диска, вода создает осевое усилие, направленное в сторону свободного конца вала – в противоположную сторону действия осевого усилия на рабочие колеса насоса. Через радиальный кольцевой зазор между подушкой гидропяты, разгрузочным диском и напорной крышкой вода поступает в камеру отвода дренажей, где ее давление незначительно выше атмосферного.

Если осевое усилие на колеса увеличивается, то ротор смещается в сторону подводящего патрубка, зазор между подушкой и разгрузочным диском уменьшается, расход воды через камеру гидропяты уменьшается, поэтому статическое давление воды на диск увеличивается, за счет этого увеличивается и осевое усилие на разгрузочный диск – ротор занимает устойчивое положение.

Если осевое усилие на колеса уменьшается, то ротор смещается в сторону напорного патрубка, зазор между подушкой и разгрузочным диском увеличивается, расход воды через камеру гидропяты увеличивается, поэтому статическое давление воды на диск уменьшается, за счет этого уменьшается и осевое усилие на разгрузочный диск – ротор занимает устойчивое положение.

Концевые уплотнения щелевого типа выполнены с промежуточным подводом холодного и отводом отработанного конденсата. На выходе из концевых уплотнений установлены водоотбойные диски, которые исключают возможность попадания воды в подшипники при аварийном состоянии уплотнений. Корпуса уплотнений крепятся шпильками к крышкам наружного корпуса.

Ротор насоса установлен на два радиальных подшипника скольжения с принудительной смазкой, которая подается с давлением около 50кПа индивидуальной маслостанцией. Рабочие поверхности подшипников цилиндрической формы. К корпусу задней подшипниковой опоры прифланцована крышка с упорным шариковым подшипником, что повышает надежность работы насоса при неудовлетворительной работе гидропяты. Со стороны свободного конца вала предусмотрен упор ротора с визуальным указателем осевого сдвига.

Насос оборудуется системой для прогрева, которая состоит из коллектора с двумя вентилями высокого давления, трубопровода и дросселирующего устройства и используется перед запуском насоса из холодного состояния (после длительной остановки). Для этого в насос подается конденсат с давлением от 50 до 500кПа (0,5-5ата) и температурой не более 150ºС.

Корпус насоса закрыт кожухом из мягкой листовой стали. Под кожух предварительно закладывается теплоизоляционный и шумопоглощающий материал – базальтовое волокно. Это позволяет иметь на поверхности кожуха температуру не более 60-70ºС, а уровень шума снизить на 10-15Дбл.

Зубчатая муфта насоса имеет индивидуальный подвод масла от маслосистемы агрегата. Муфта закрыта кожухом из двух половин, в который сливается масло из муфты. Стык кожуха выполнен фланцевым и уплотнен резиновыми маслостойкими кольцами.

Смазка из подшипников и зубчатой муфты подвергается механической очистке на фильтрах, потом охлаждается и поступает в маслобак, откуда насосом опять подается на подшипники и муфту.

3. ПУСКОРЕЗЕРВНЫЙ ПИТАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОНАСОС ПЭ-600-300

Пускорезервный питательный электронасосный агрегат ПЭ-600-300 состоит из насоса, мультипликатора (Б-10Н), гидромуфты и электродвигателя. Устройство двухкорпусного, семиступенчатого, с односторонним расположением рабочих колес насоса ПЭ-600-300 приведено на рис. 3.

Колеса насоса изготовлены из хромистой стали и посажены на вал по скользящей посадке. Передача крутящего момента с вала на колеса обеспечивается призматическими шпонками. Уплотнения рабочих колес – однощелевые.

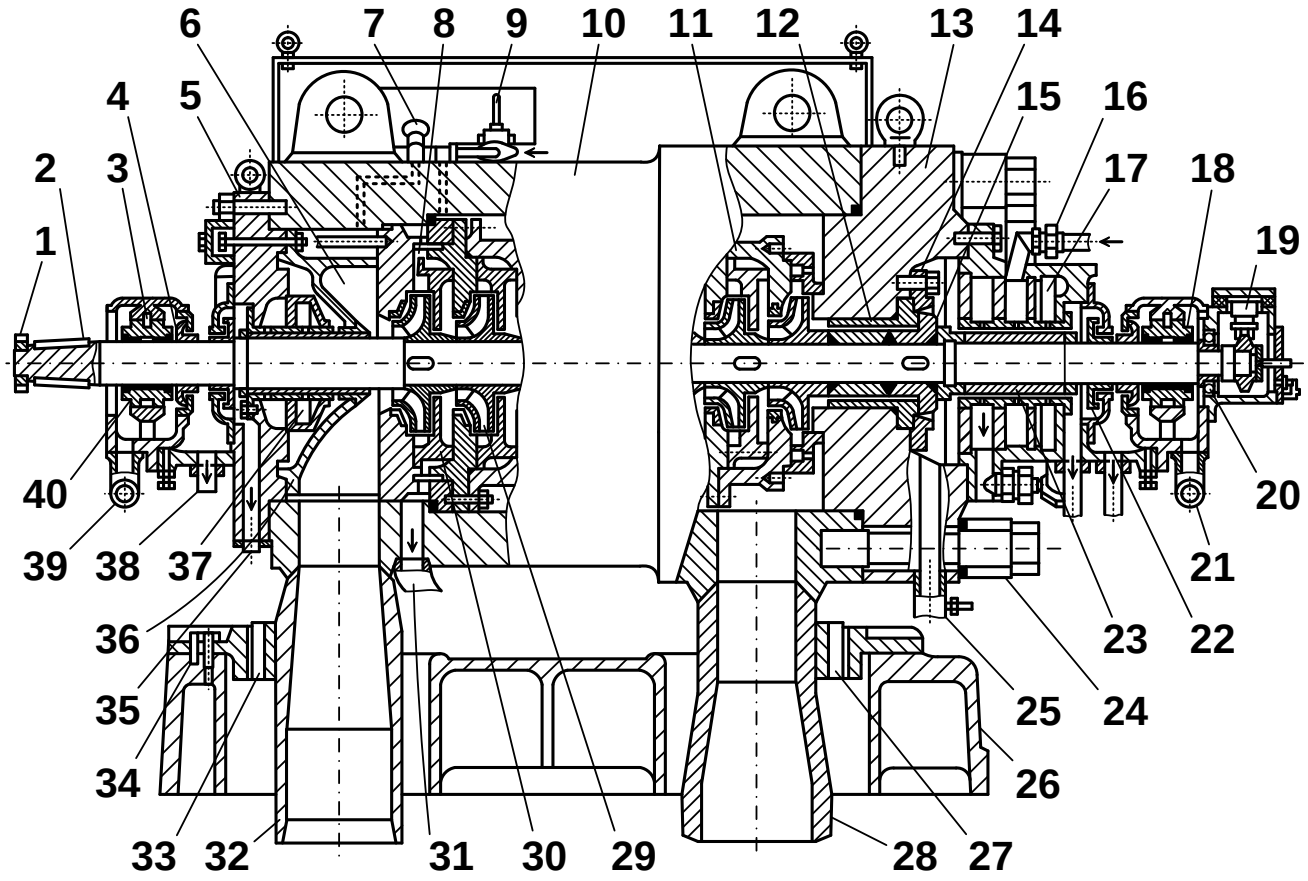


Рис. 3. Пускорезервный питательный насос ПЭ-600-300

1 – стопорная гайка; 2 – шпонка; 3 – канал подвода смазки; 4 – маслоотбойный диск; 5 – крышка всасывания; 6 – полуспиральная камера подвода воды; 7 и 9 – клапаны подвода прогрева; 8 – канал отбора питательной воды; 10 и 11 – наружный и внутренний корпус; 12 – калиброванная втулка; 13 – крышка нагнетания; 14 – стопорное кольцо; 15 – разгрузочный диск гидропяты; 16 и 25 – подвод и отвод охлаждающей воды; 17 и 37 – камеры охлаждения; 18 и 40 – задний и передний радиальные подшипники; 19 – датчик осевого перемещения ротора; 20 – упорный подшипник; 21 и 39 – отвод смазки; 22 – водоотбойный диск; 23 – втулка уплотнения; 26 – фундаментальная плита; 27 и 33 – продольные шпонки; 28 и 32 – напорный и входной патрубок; 29 – рабочее колесо; 30 – направляющий аппарат; 31 – отбор питательной воды; 33 – штифт; 35 – отвод охлаждающей воды; 38 – дренаж.

Первое колесо упирается ступицей в буртик на валу, а каждое последующее упирается своей ступицей в ступицу предыдущего колеса. Между ступицей последнего колеса и ступицей гидропяты на вал установлена дистанционная втулка, с двух сторон которой установлены уплотнения из термостойкой резины для компенсации тепловых расширений деталей ротора.

Ротор установлен на два подшипника скольжения с принудительной смазкой и вкладышами цилиндрической формы. На свободном конце вала установлен датчик осевого перемещения ротора гидравлического типа.

Между концевыми уплотнениями и подшипниками на вал неподвижно установлены диски для динамической балансировки ротора в собственных подшипниках, они также являются и водоотбойными дисками. Дисбаланс может также сниматься с наружной поверхности разгрузочного диска и с торца полумуфты.

В конструкции насоса предусмотрен отбор питательной воды с напором 560м после первой ступени. Для этого направляющий аппарат первой секции насоса имеет со стороны редуктора канал, через который вода поступает в камеру отбора, откуда напрямую через внешний корпус и патрубок отводится из насоса. Камера отбора с одной стороны уплотняется кольцом из термостойкой резины, с другой – кольцом из хромистой стали 12Х13.

Внутренний корпус шпильками, проходящими через крышку всасывания, фиксируется в наружном корпусе, обеспечивая постоянное обжатие стальной прокладки в стыке между частями высокого и низкого давления. Внутренний корпус центруется в расточке наружного корпуса крышкой нагнетания. Пространство между корпусами заполняется водой с давлением 38,4МПа через специальные каналы в направляющем аппарате последней секции насоса. Секции внутреннего корпуса центрируются друг с другом на расточках, которые выполняются по напряженной посадке и соединяются болтами. В нижней части внутреннего корпуса на крайних секциях выполнено по два штифта, которые облегчают процесс установки его в наружный корпус. В собранном насосе между внутренней поверхностью наружного корпуса и штифтами образуется гарантированный зазор 0,25-0,30мм на сторону для избежания нарушения центровки.

Патрубки насоса закреплены на внешнем корпусе и направлены вниз. Входной патрубок приварен к корпусу. Напорный патрубок – вкручивается в цилиндрическое гнездо с установкой прокладки из термостойкой резины и дополнительно фиксируется болтом, конец которого заходит в специальный паз.

Тепловое расширение насоса возможно только в сторону нагнетания, что обеспечивается поперечными штифтами, которые фиксируют опорные лапы внешнего корпуса на плите со стороны входного патрубка. Положение оси насоса при тепловом расширении сохраняется продольными шпонками, которые приварены к входному и напорному патрубкам с противоположных сторон.

Корпус насоса крепится на фундаментальной плите и закрывается защитным кожухом, под который прокладывается слой теплоизоляционного материала. Для выполнения грузоподъемных и транспортных операций насос в верхней части наружного корпуса имеет две проушины.

Направление вращения ротора насоса – по часовой стрелке, если смотреть со стороны приводного электродвигателя.

4. ПРЕДВКЛЮЧЕННЫЕ НАСОСЫ

Для обеспечения нормальной бескавитационной работы главного питательного и пускорезервного насосов на ТЭС и АЭС широко практикуется прием установки перед ними в тракте питательной воды предвключенного насоса (бустерного насоса). Предвключенный насос предназначен создавать необходимый подпор воды во входном патрубке главного питательного или пускорезервного насоса, так как достаточного кавитационного запаса они не имеют из-за высокой быстроходности.

Предвключенные насосы устанавливаются, как правило, в непосредственной близости с деаэратором (под деаэратором), чтобы минимизировать потери давления со стороны подвода питательной воды и увеличить за счет этого собственный кавитационный запас. Эти насосы, как правило, имеют только одно рабочее колесо с двусторонним подводом, что упрощает их конструкцию и существенно ограничивает мощность привода. При работе предвключенные насосы создают давление 1,5-2,0МПа, с которым питательная вода поступает на вход главного насоса. При такой схеме подачи воды в котел главный питательный насос может располагаться на значительном расстоянии от деаэратора и занимать более высокую отметку.

Привод предвключенных насосов малой и средней производительности, как правило, осуществляется автономным электродвигателем, что упрощает выбор места его установки, но снижает КПД насосного агрегата.

Привод насосов большей производительности осуществляется через редуктор от приводной паровой турбины, которая напрямую вращает ротор главного питательного насоса. Такая схема привода предвключенного насоса позволяет сократить потери энергии на двойном преобразовании ее из механической в электрическую и обратно на 5-7%. В этом случае возникают сложности при маневрировании и изменении производительности питательного насоса.

Предвключенный насосный агрегат состоит из насоса и электродвигателя. Между собой они соединены эластичной муфтой (упруго-пальцевой или зубчатой). Основные характеристики предвключенных насосов Российского производства приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики предвключенных насосов типа ПД

Модель насоса	Q, $м^3/ч$	H, м	$H^{доп}_{вс}$, м	T, °C	n, об/мин	η, %	N, кВт	M, кг
ПД-650-160	650	158	18	165	2980	76	330	1780
ПД-750-200	750	200						
ПД-1600-180	1630	180	14	165	1890	82,5	1250	
ПД-3750-280	3760	200	20	165	1800		2460	6000

5. ПРЕДВКЛЮЧЕННЫЙ НАСОС ПД-650-160

Насос ПД-650-160 – однокорпусной, одноступенчатый, с одним рабочим колесом двухстороннего всасывания. Устройство насоса приведено на рис. 4.

Корпус насоса – литой, чугунный с горизонтальной плоскостью разъема на уровне оси вала. Корпус состоит из двух частей: нижней части (постель) и крышки. Входной и напорный патрубок насоса расположены в нижней части корпуса и направлены горизонтально в противоположные стороны, что гарантирует возможность ремонта ротора без отсоединения трубопроводов. Плоскость разъема корпуса насоса уплотняется паронитовой прокладкой толщиной 1,0-1,5мм.

Канал подводящего патрубка делит на две равные по площади части вертикальная перегородка. С каждой стороны рабочего колеса в корпусе насоса выполнены симметрично два полуспиральных канала, которые обеспечивают равномерный подвод воды. Симметричный и равный по объему подвод воды к рабочему колесу с двух сторон является обязательным условием отсутствие осевого усилия на ротор насоса, что не всегда удается выполнить, особенно при работе насоса во время маневрирования.

Отвод воды от рабочего колеса производится по спиральному каналу, сечение которого по мере приближения потока к напорному патрубку постоянно увеличивается. Это позволяет преобразовать динамический напор потока воды в статическое давление и снизить ее скорость до 3,8м/с при работе насоса с производительностью 650м^3/ч.

В нижней части корпус имеет четыре лапы, которыми насос опирается на опорную (фундаментальную) плиту, отлитую из чугуна. Для сохранения положения оси вала при тепловом расширении корпус насоса фиксируется с помощью продольной шпонки и двух поперечных цилиндрических шпонок в лапах корпуса со стороны двигателя. Опорная плита коробчатой конструкции для увеличения жесткости имеет вертикальное ребро, расположенное посредине поперек оси вала насоса.

Верхняя часть корпуса насоса закрыта съемным кожухом, который выполнен из тонкой листовой стали. С внутренней стороны кожух футерован теплоизоляционным материалом в виде волокна из стекла, предпочтительней из базальта. Его использование снижает тепловые потери и значительно уровень шума при работе насоса.

Ротор насоса установлен на двух подшипниковых опорах, которые расположены периферийно. Рабочее колесо диаметром 350мм, выполненное из нержавеющей стали, по скользящей посадке установлено на вал до упора ступицей в буртик, который расположен со стороны двигателя. Для передачи крутящего момента с вала на колесо используется призматическая шпонка. С противоположной стороны в ступицу рабочего колеса упирается дистанционная втулка с вогнутой наружной поверхностью, в торец которой упирается защитная втулка. Обе втулки установлены на вал по скользящей посадке и связаны с ним шпонкой. Рабочее колесо от осевого смещения через две втулки зафиксировано стопорной гайкой со стороны упорного подшипника. Ротор в сборе с упруго-пальцевой муфтой подвергается динамической балансировке.

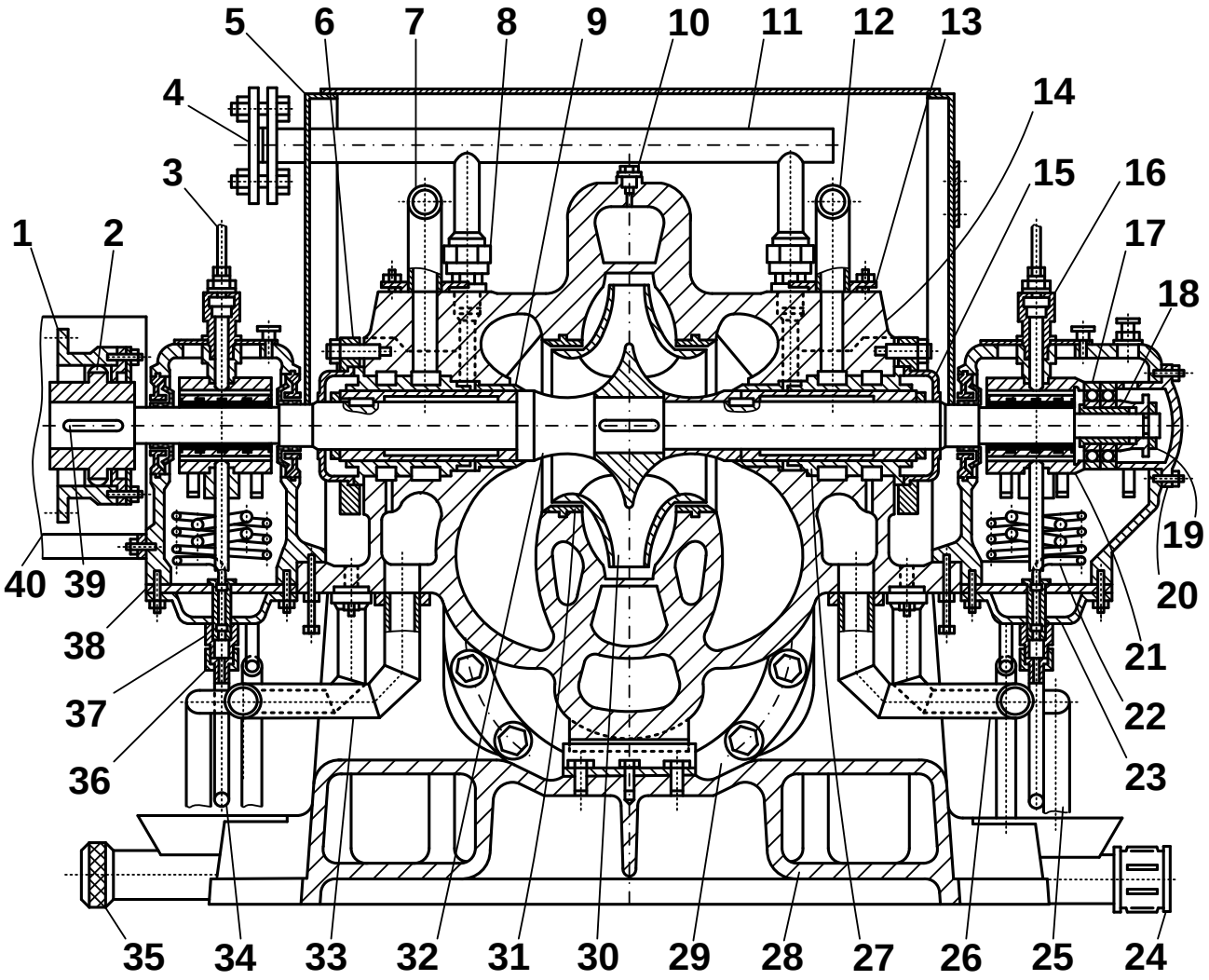


Рис. 2. Предвключенный насос ПД-650-160

1 – зубчатый венец; 2 – ведомая зубчатая полумуфта; 3 и 16 – подвод смазки к радиальным подшипникам; 4 и 11 – подвод и коллектор продувочной воды; 5 – кожух; 6 – фланец; 7 и 12 – подвод охлаждающей воды; 8 и 36 – накидная гайка; 9 и 31 – уплотнительные втулки вала и рабочего колеса; 10 – пробка; 13 – фланец подвода; 14 – проходная крышка корпуса; 15 – боковая крышка; 17 – радиально-упорные подшипники; 18 и 19 – стопорные втулка и гайка; 20 – глухая крышка корпуса подшипника; 21 – подшипник скольжения; 22 – змеевик; 23 и 38 – съемное днище и диафрагма корпуса подшипниковой опоры; 24, 25, 26 и 33 – отвод охлаждающей воды и дренажа; 27 – уплотнение; 28 – опорная плита; 29 – подводящий патрубок; 30 – рабочее колесо; 32 – дистанционная втулка; 34 – отвод смазки; 35 – заглушка; 37 – штуцер; 39 – шпонка; 40 – ограждение соединительной муфты.

Опорами ротора служат два подшипника скольжения с баббитовой заливкой вкладышей. Рабочие шейки подшипников имеют цилиндрическую форму. Корпуса подшипников – разъемные, чугунные, крепятся к кронштейнам корпуса насоса. При выполнении центровки ротора в статоре насоса корпуса подшипни-

ков перемещаются регулировочными винтами и фиксируются призонными болтами к кронштейнам корпуса насоса.

Смазка подшипников принудительная маслом Т-22. Для охлаждения масла в каждом корпусе подшипниковой опоры установлен змеевик, по которому циркулирует охлаждающая вода. Визуальный контроль работы масляных колец производится через смотровые отверстия на крышках подшипников, которые закрыты крышками.

Для восприятия остаточных неуравновешенных осевых усилий на ротор, которые регулярно появляются во время запуска и остановки насоса, а также при изменении его производительности, предусмотрен двусторонний радиально-упорный шарикоподшипник, установленный на свободном конце вала насоса. Глухой крышкой наружное кольцо подшипника неподвижно прижато к корпусу подшипника скольжения. Для его смазки имеется дополнительное смазочное кольцо.

Для исключения выброса масла из корпуса подшипника со стороны привода установлены два щелевых уплотнения, а на вал – два маслоотбойных диска. В подшипниковой опоре со стороны глухого конца вала установлено одно щелевое уплотнение и один маслоотбойный диск.

Концевые уплотнения ротора насоса – сальникового типа с термостойкой набивкой типа АГ-1. Охлаждение уплотнения производится водой из технического водопровода. Для интенсификации охлаждения корпус сальника имеет ребристую наружную поверхность, а перед набивкой предусмотрена цилиндрическая щель. Во избежание парения уплотнения к нажимной втулке сальника подводится охлаждающая вода. Для контроля работы системы охлаждения на сливе предусмотрены воронки свободного слива.

На приводном конце вала выполнена цилиндрическая шейка для установки ведомой зубчатой полумуфты. Крутящий момент с полумуфты на вал передается через призматическую шпонку. Зубья, выполненные на наружной поверхности ведомой полумуфты, входят в зацепление с зубьями венца по всей окружности. Сам венец собирается из двух частей, которые соединяются призонными болтами. Вторая половина зубчатого венца входит в зацепление с зубьями ведущей полумуфты, которая установлена на вал двигателя. Снаружи муфта закрыта ограждением трубчатого типа, которое крепится по фланцу к корпусу подшипника насоса. Смазка муфты принудительная. Из зацепления масло центробежной силой выбрасывается в полость ограждения, а дальше оно самотеком возвращается в систему смазки насоса.

Предвключенный насос ПД-650-160 предназначенный для подачи питательной воды из деаэратора с температурой не более 165ºС экономично работает с производительностью в диапазоне 600-900м^3/ч, напором 170-145м, мощностью 300-380кВт и практически постоянным КПД 80%.

Кратковременно допускается работа насоса с подачей 1200м^3/ч. В этом режиме напор снижается до 100м, мощность увеличивается до 420кВт, а КПД снижается до 69%. Эксплуатация насоса с подачей более 900м^3/ч практически всегда сопровождается работой в зоне развитой кавитации, поэтому продолжительность таких режимов должна быть сокращена до минимума.

6. ПРЕДВКЛЮЧЕННЫЙ НАСОС ПД-1600-180

Предвключенный насос ПД-1600-180 – однокорпусной, центробежный, одноступенчатый, с одним рабочим колесом двухстороннего всасывания. Устройство насоса приведено на рис. 5.

Чугунный корпус насоса имеет горизонтальный разъем, выполненный на уровне оси ротора, что упрощает технологию его сборки и технического обслуживания. В нижней части корпуса отлиты два симметричных канала полуспирального подвода воды к рабочему колесу. Всасывающий патрубок направлен вертикально вниз и его фланец располагается ниже подкладок фундаментной плиты, что позволяет при необходимости оперативно отсоединять подводящий трубопровод. Напорный патрубок направлен горизонтально влево, если смотреть со стороны приводного электродвигателя.

Опорные лапы корпуса максимально приближены к оси насоса для уменьшения расцентровки при нагреве корпуса насоса от питательной воды во время работы. Положение корпуса на фундаментной плите фиксируется двумя продольными шпонками. Тепловое расширение насоса возможно только в сторону свободного конца вала, так как лапы со стороны приводного конца вала зафиксированы на плите поперечными цилиндрическими шпонками.

С двух сторон от опорных лап корпус имеет корытообразные приливы, которые являются кронштейнами для установки и закрепления на них корпусов подшипников скольжения насоса.

Верхняя часть корпуса – крышка устанавливается на нижнюю часть через паронитовую прокладку толщиной 1,5-2,0мм. Правильное положение крышки относительно нижней части задают два направляющих «сухаря», которые неподвижно вкручены в глухие отверстия во фланце основания корпуса с двух сторон оси вала по диагонали асимметрично. Асимметричное расположение «сухарей» исключает возможность неправильной установки крышки на нижнюю часть корпуса насоса при его сборке.

В верхней части крышки выполнены два прилива в форме проушин, что позволяет производить подъемно-транспортные операции с собранным насосом, используя крановое оборудование.

Фундаментная плита отлита из серого чугуна, имеет две опоры пирамидального сечения, которые внизу объединены цилиндрическим раструбом. Сечение раструба обеспечивает свободный монтаж корпуса насоса и присоединение подводящего трубопровода к всасывающему патрубку.

Ротор насоса состоит из стального вала, рабочего колеса, комплекта защитных и дистанционных втулок, маслоотбойных колец, топорных гаек и зубчатой полумуфты. Вал изготавливается из хромистой стали 40ХФА и подвергается двухступенчатой термической обработке шеек: под подшипники, рабочее колесо и зубчатую полумуфту.

Рабочее колесо сварно-литой конструкции из хромистой стали состоит из двух половин правой и левой. Проточные части в обеих половинах колеса выполняется одинаковыми, что снижает вероятность возникновения осевого усилия. Между собой обе половины рабочего колеса сопрягаются по ступенчатой цилиндрической расточке, которая выполнена на задних дисках.

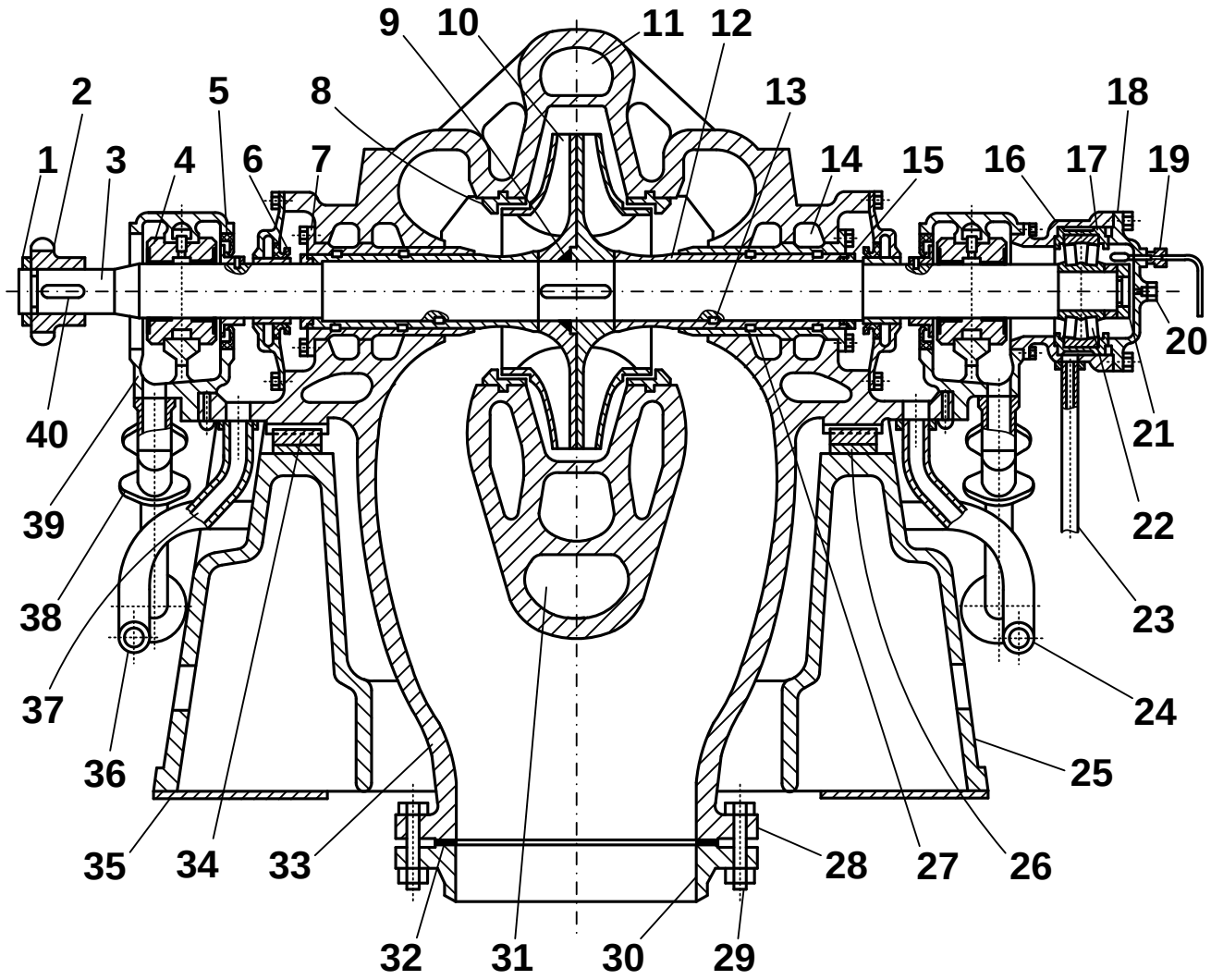


Рис. 4. Предвключенный насос ПД-1600-180

2 – ведомая зубчатая полумуфта; 1, 15 и 21 – стопорные гайки; 3 – вал; 4 – радиальный подшипник скольжения; 5 и 6 – манжетные уплотнения; 7 и 27 – концевые уплотнения; 8 – уплотнение рабочего колеса; 9 – уплотнительное кольцо; 10 – рабочее колесо; 11 и 31 – напорный отводящий канал; 12 – упорная втулка; 13 и 40 – шпонка; 14 – каналы подвода охлаждающего конденсата; 16 – корпус упорного подшипника; 17 – вкладыши; 18 – непроходной фланец; 19 – подвод смазки на упорный подшипник; 20 – заглушка; 22 – упорный подшипник; 23 и 38 – отвод смазки; 24 и 36 – отвод конденсата; 25 – фундаментная плита; 26 и 35 – подкладки; 28 – подводящий патрубок; 29 – болт, гайка, плоская и пружинная шайбы; 30 – подводящий трубопровод; 32 – уплотнительная прокладка; 33 – корпус насоса (нижняя часть); 34 – продольная шпонка; 37 – отвод дренажа; 39 – корпус радиального подшипника.

При установке рабочего колеса на вал между его половинами устанавливается уплотнительное кольцо круглого сечения из термостойкой резины. Крутящий момент от вала на колесо передается призматической шпонкой.

С обеих сторон колеса на вал устанавливают по скользящей посадке дистанционные втулки, которые зафиксированы на валу шпонками и стопорными гайками. Двухстороннее расположение стопорных гаек обеспечивает возможность с большой точностью установить рабочее колесо на валу с учетом его симметричного расположения относительно подводящих каналов в корпусе насоса. Эта операция выполняется только тогда, когда ротор уже установлен в нижнюю часть корпуса насоса и корпуса подшипников закреплены неподвижно на кронштейнах.

Опорами ротора служат два подшипника скольжения, которые воспринимают только радиальную нагрузку. Смазываются подшипники принудительно от маслосистемы агрегата. Разъемные цилиндрические вкладыши от проворачивания вместе с валом фиксируются в корпусе подшипника штифтами.

Для контроля температуры подшипников в нижние вкладыши встроены температурные датчики. Для обеспечения равномерного зазора в уплотнениях рабочего колеса и концевых уплотнениях подшипники перемещаются в вертикальной плоскости тремя установочными винтами. Положение корпуса подшипника фиксируется на корпусе насоса двумя штифтами под развертку (посадка с небольшим натягом).

Неуравновешенное осевое усилие, которое действует на рабочее колесо во время запуска насоса и маневрирования, воспринимается двухрядным сферическим роликоподшипником, который расположен на свободном конце вала. Этот подшипник размещен в отдельном корпусе, который прифланцован к корпусу подшипника скольжения. Принудительный подвод смазки к сферическому подшипнику производится через глухую крышку.

Отвод смазки от всех подшипников насоса производится самотеком в маслобак, который расположен на нижней отметке (ниже оси насоса не менее 2,5-3,0м). Подвод масла в подшипники производится с избыточным давлением 50кПа после предварительной очистки на механических фильтрах и охлаждения.

Щелевые концевые уплотнения насоса выполнены с промежуточным подводом холодного конденсата с температурой не более 40°С и давлением, превышающем на 0,08-0,10МПа давление воды на входе в насос. На линии подвода холодного конденсата следует устанавливать клапан, который поддерживает постоянным требуемое давление. На линии отвода конденсата от уплотнения через сифон в конденсатор турбины расположен вентиль, с помощью которого в камере отбора устанавливается необходимое давление. На трубопроводах подвода и отвода конденсата к уплотнениям предусмотрены штуцера для подсоединения импульсных трубок к манометрам, что необходимо для контроля их работы и возможности регулирования.

Насос связан с электродвигателем зубчатой муфтой, которая принудительно смазывается от маслосистемы турбоагрегата. Отвод смазки из ограждения муфты осуществляется самотеком на нижнюю отметку в маслобак.

Работа насоса с номинальными параметрами производится при частоте вращения ротора 1890об/мин. Кратковременно при частоте вращения ротора 1950об/мин насос может работать с напором 170м и подачей 2230м^3/ч.

7. СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПИТАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОНАСОС СПЭ-1650-75

Для подачи питательной воды на парогенераторы энергоблоков АЭС в нормальных и аварийных режимах работы применяются питательные электронасосы типа СПЭ, например, СПЭ-1650-75, устройство которого приведено на рис. 6. Насос СПЭ-1650-75 – однокорпусной, четырехступенчатый, с одним осевым рабочим колесом и тремя центробежными колесами с односторонним расположением на валу.

Литой чугунный корпус насоса состоит из пяти секций: подводящей, трех промежуточных и напорной. Секции корпуса стянуты шпильками и гайками с двух сторон. Между секций по внешнему диаметру устанавливаются уплотнительные кольца из термостойкой резины. Оба патрубка насоса направлены вверх, что несколько увеличивает кавитационный запас насоса. Корпус закрыт с двух сторон проходными крышками – подводящей и напорной, которые являются одновременно корпусами концевых уплотнений.

Корпус опирается четырьмя лапами на фундаментальную плиту, отлитую из серого чугуна. Под каждой лапой корпуса в плите неподвижно установлена продольно призматическая шпонка. Шпонки обеспечивают перемещение корпуса насоса вдоль оси ротора из-за его температурных расширений при нагреве во время работы и охлаждении при его остановке.

Верхняя часть фундаментальной плиты имеет корытообразную форму, а днище «корыта» выполнено с уклоном в сторону привода. Это обеспечивает отвод утечек воды через концевые уплотнения насоса в бак, расположенный ниже плиты на 1,5-2,5м. Для увеличения жесткости плиты в вертикальной плоскости под днищем «корыта» отлиты три поперечных перегородки, две из которых находятся между передними и задними лапами корпуса насоса, а еще одна – за задними лапами насоса.

Предвключенное рабочее колесо осевого типа выполнено в виде шнека с числом витков спирали 1,5 располагается в цилиндрической расточке первой промежуточной секции корпуса насоса. С валом оно жестко связано призматической шпонкой, но имеет небольшой люфт (1,0-1,5мм) в осевом направлении для компенсации температурных расширений. Значительные смещения шнека в сторону подводящего патрубка невозможны, так как своей ступицей он упирается через две втулки в стопорную гайку. Колесо сварной конструкции выполнено из стали, стойкой к воздействию коррозии, так как оно располагается в зоне начинающейся или развитой кавитации, что зависит от производительности, с которой работает насос в том или ином режиме эксплуатации энергоблока.

Центробежные колеса насоса располагаются в цилиндрических расточках направляющих аппаратов, которые установлены неподвижно во второй и третьей промежуточных секциях и в напорной секции насоса. Направляющие аппараты жестко связаны с корпусами секций штифтами, что исключает их вращение вокруг оси насоса с потоком воды. Все центробежные колеса имеют один диаметр по выходным кромкам лопаток, которые загнуты назад. Диаметр всасывающего отверстия первого центробежного колеса больше, чем у двух последних на 20%. Это повышает кавитационный запас и надежность работы насоса.

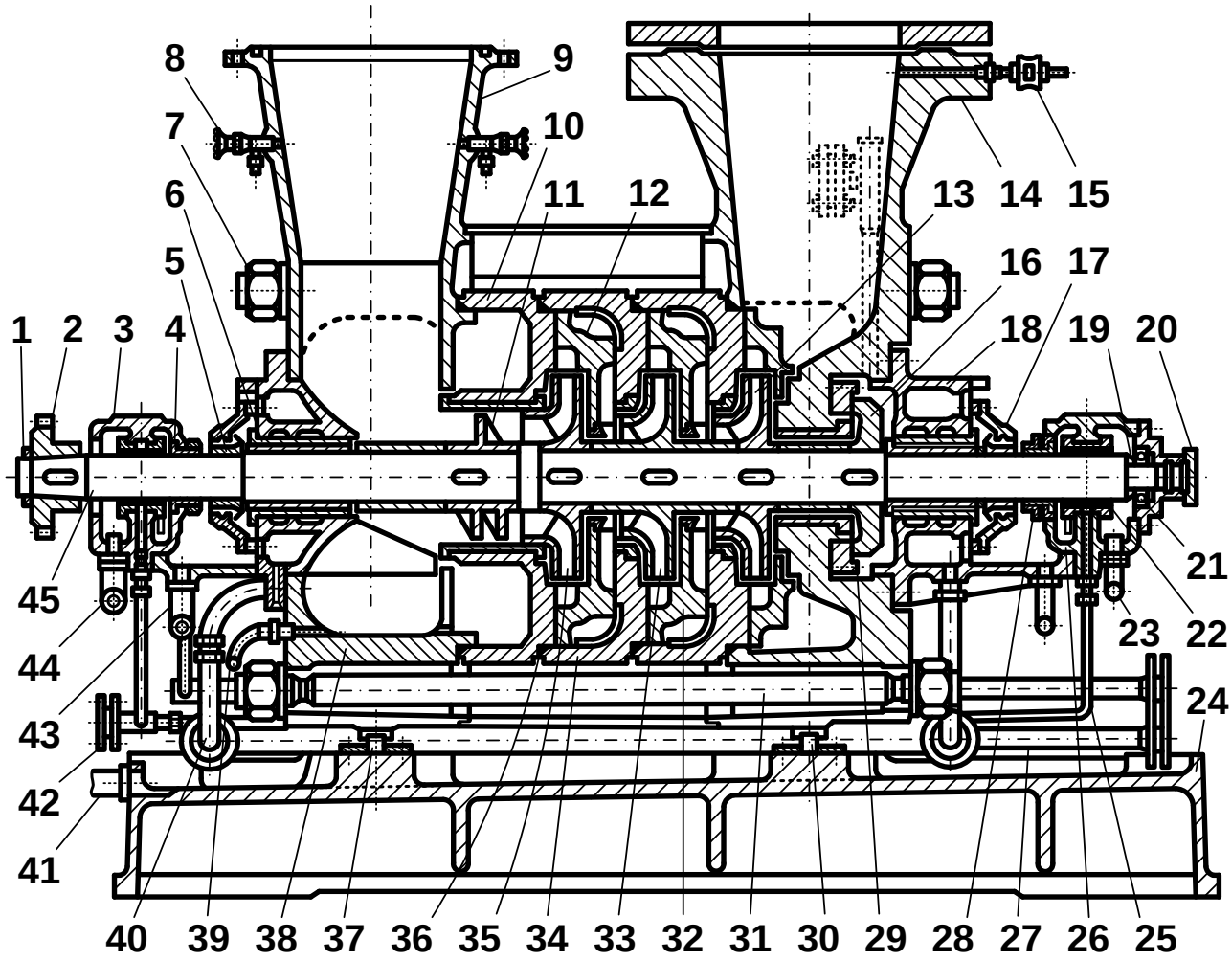


Рис. 6. Специальный питательный электронасос СПЭ-1650-75

1 – стопорная гайка; 2 – зубчатая полумуфта; 3 и 26 – крышка и корпус подшипниковой опоры; 4 – маслоотбойный диск; 5 – водоотбойный диск; 6 и 18 – переднее и заднее концевое уплотнение; 7 – стяжная шпилька, гайки, плоские и пружинные шайбы; 8 – вентиль технологической продувки; 9 и 14 – патрубки подводящий и напорный; 10 и 34 – промежуточная секция; 11 и 13, 33, 35 – осевое и центробежные рабочие колеса; 12 и 32 – направляющий аппарат; 15 – подключение манометра; 16 и 29 – разгрузочный диск и подушка гидропяты; 17 – крышка нагнетания; 19 – тарельчатая пружина; 20 – заглушка; 21 – упорный подшипник; 22 – задний радиальный подшипник скольжения; 23 и 44 – отвод смазки; 24 – фундаментальная плита; 25 – подвод смазки; 27 и 31 – коллекторы подвода и отвода охлаждающей воды; 28 – накидная втулка; 30 и 37 – продольные шпонки; 36 – резиновое уплотнение; 38 – подводящая секция; 39 – отвод для технологической продувки; 40 – подвод охлаждающей воды; 41 и 43 – дренаж воды; 42 – коллектор подвода смазки; 45 – вал.

Все колеса насоса имеют однощелевые уплотнения, которые выполнены из хромистой стали. Передние уплотнения неподвижно зафиксированы болтами на корпусах промежуточных секций, а задние – на двух направляющих аппаратах 2-й и 3-й ступени. Центробежные колеса насоса устанавливаются на вал со сто-

роны задней опоры. Колесо 2-й ступени устанавливается до упора в буртик на валу. Колеса 3-й и 4-й ступени устанавливаются до упора в ступицу предыдущего колеса. Колоса насоса и разгрузочный диск связаны с валом шпонками, а от осевого перемещения их удерживает стопорная гайка.

Напорная крышка и корпус заднего концевого уплотнения образуют камеру, в которой установлена подушка и разгрузочный диск гидропяты. Подушка крепится неподвижно к напорной крышке. Часть воды с максимальным напором, выходя из последнего рабочего колеса, затекает за задний диск и через калиброванный кольцевой зазор, образованный дистанционной втулкой на валу и втулкой запрессованной в напорную секцию, постоянно поступает в рабочую камеру гидропяты. Воздействуя на рабочую поверхность разгрузочного диска, вода создает осевое усилие, которое направлено в строну свободного конца вала. Величина этого усилия в стационарном режиме работы насоса равна сумме осевых усилий действующих на осевое колесо и три центробежных. При длительной эксплуатации насоса сечение калиброванного зазора уменьшается из-за отложения солей, что приводит к увеличению его гидравлического сопротивления и уменьшению давления в рабочей камере гидропяты, уменьшению осевого усилия на разгрузочный диск и смещению ротора в сторону двигателя. В этой ситуации частично осевое усилие принимает на себя упорный подшипник, который запрессован в проходной фланец, а на вал установлен по скользящей посадке. Для очистки калиброванного кольцевого зазора с вала насоса снимаются последовательно задняя подшипниковая опора и концевое уплотнение. Затем вал поднимается домкратом в рабочее положение, откручивается стопорная гайка, снимается разгрузочный диск и дистанционная втулка. Наружная поверхность дистанционной втулки и внутренняя поверхность втулки запрессованной в корпус, очищаются от отложений солей, покрываются закрепителем и производится установка снятых элементов в обратной последовательности. Перед установкой на вал разгрузочного диска рабочие поверхности подушки и диска так же очищаются от солей и ржавчины и покрываются закрепителем.

Радиальная нагрузка от ротора передается на два подшипника скольжения с цилиндрическими рабочими поверхностями. Подшипники установлены на концах вала. Смазка подшипников принудительная для этого насос оборудуется коллектором подвода смазки. Из нижней части корпуса каждого подшипника «горячее» масло самотеком отводится на маслостанцию, где принудительно фильтруется, охлаждается и подается в маслобак. Для исключения выброса масла из корпуса подшипника на вал насоса с каждой стороны, между подшипником и внешним уплотнением, устанавливается накидная втулка с маслоотбойным диском.

Боковая крышка корпуса заднего подшипника закрыта заглушкой. Для проверки правильности работы гидропяты заглушку снимают и измеряют нутромером расстояние до торца вала. При необходимости завод может укомплектовать насос гидравлическим реле осевого смещения ротора насоса, которое устанавливается вместо заглушки.

Для уменьшения нагрева подшипников через вал в камеры концевых уплотнений подается охлаждающая вода, которая нагревается и через дренажные каналы поступает отводящий коллектор.