

# **Тепловые двигатели и нагнетатели**

## **Центробежные нагнетатели (насосы и вентиляторы) (часть 4)**

Лекция № 33

# **1. Формы рабочих колес различной быстроходности**

- Конструкции колеса в значительной степени определяется коэффициентом быстроходности  $n_s$ . В зависимости от коэффициента быстроходности рабочие колёса лопастных насосов условно разделены на пять типов.

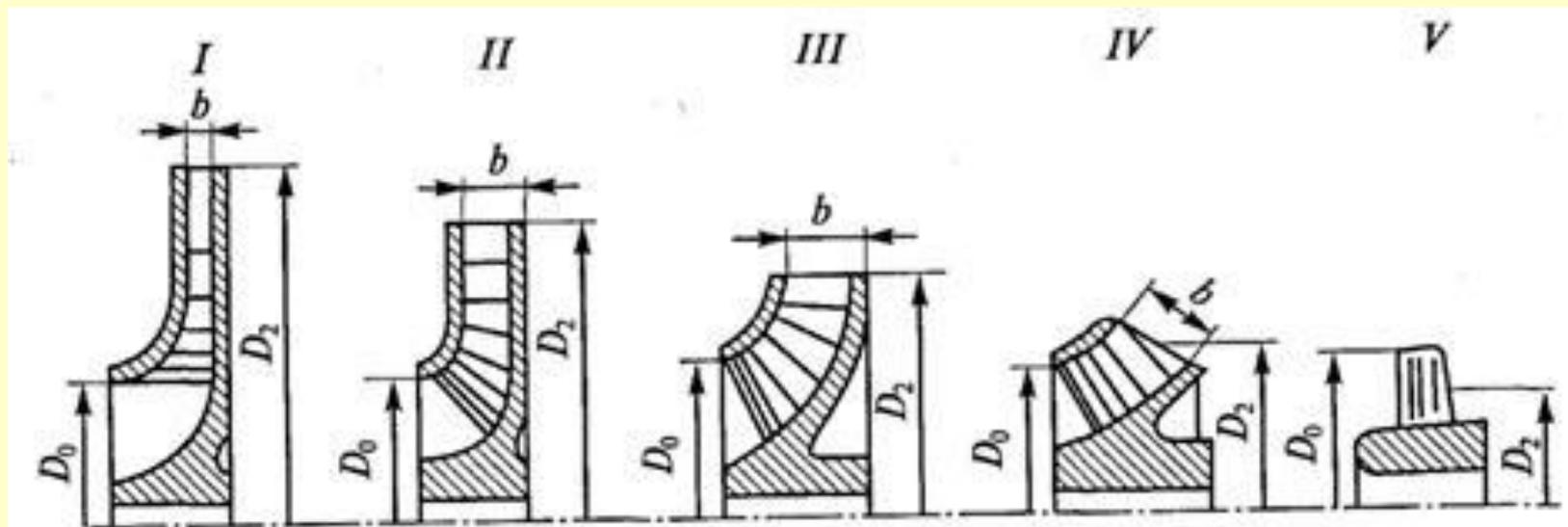


Рис. 6.18. Классификация рабочих колес по коэффициенту быстроходности:

*I* — тихоходные ( $D_2/D_0 = 2,5$ ;  $n_s = 40 \dots 80$ ); *II* — нормальные ( $D_2/D_0 = 2$ ;  $n_s = 80 \dots 150$ ); *III* — быстроходные ( $D_2/D_0 \approx 1,2$ ;  $n_s = 150 \dots 300$ ); *IV* — диагональные ( $D_2/D_0 = 1,2$ ;  $n_s = 300 \dots 600$ ); *V* — осевые ( $D_2/D_0 = 0,8$ ;  $n_s > 600$ )

- При увеличении коэффициента быстроходности происходит возрастание относительной ширины лопасти рабочего колеса на выходе и уменьшение относительного диаметра, т.е. РК преобразуется последовательно из радиального в осевое.
- Из формулы коэффициента быстроходности

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}.$$

- видно, что колесо центробежного насоса с заданными напором и подачей, при увеличении частоты вращения увеличивают быстроходность.

- Большие частоты вращения обуславливают малые размеры и массу насосов и приводных двигателей при высоком КПД агрегатов. Поэтому применение РК с высоким  $n_s$  (**типы 3, 4, 5**) экономически более целесообразно.
- При заданной частоте вращения тем выше, чем больше подача и меньше напор, развиваемые РК.
- РК с высоким коэффициентом быстроходности являются низконапорными и дают большую подачу (**типы 3, 4, 5**).
- РК **типов 1, 2** характерны для малых подач и высоких напоров.

- Коэффициент быстроходности определяет не быстроходность насоса в целом, а лишь одного рабочего колеса.
- Общий вид формулы для определения быстроходности РК многоступенчатого многопоточного насоса будет

$$n_s = 3,65n \frac{i^{3/4} \sqrt{Q}}{z^{1/2} H^{3/4}} \cdot$$

- где  $Q$  и  $H$  – полные подача и напор насоса;
- $z$  – число потоков;
- $i$  – число ступеней давления насоса.

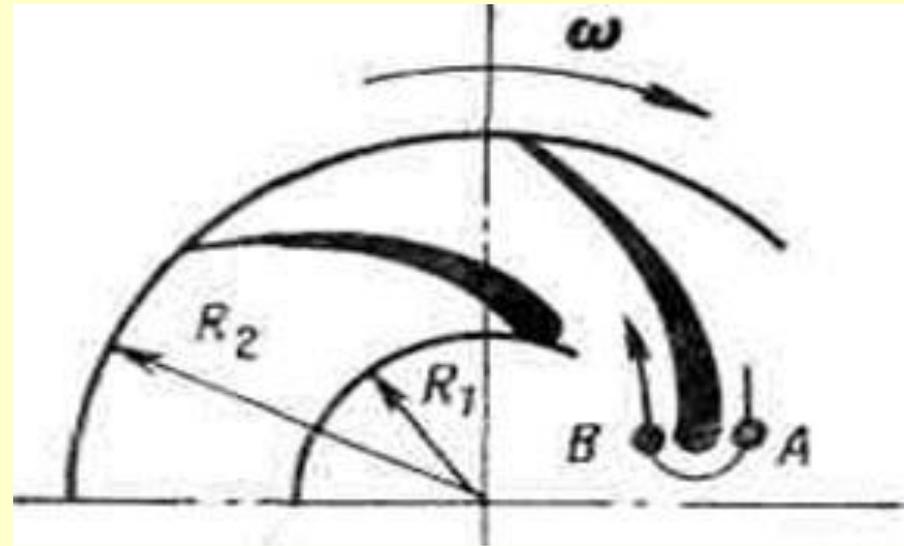
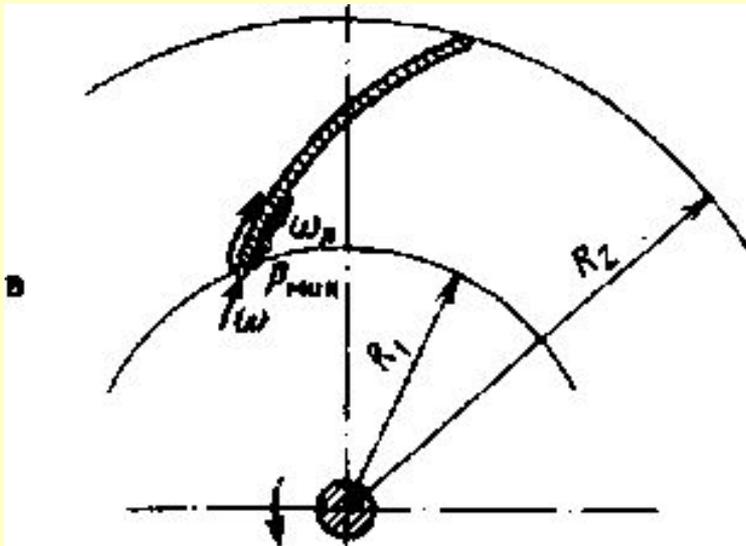
- РК центробежного насоса может быть изготовлено с двусторонним подводом жидкости.
- В этом случае заданная **подача  $Q$**  распределяется поровну между правой и левой его половинами. При этом коэффициент быстроходности уменьшается в раз и колесо становится менее быстроходным.
- **Условия работы** лопастей колёс ***различной быстроходности неодинаковы.***
- Например, в тихоходном колесе **типа 1** струйки потока жидкости движутся практически в одинаковых условиях, входная кромка лопасти лежит на цилиндрической поверхности, а сама лопасть является цилиндрической. Это особенность радиальных центробежных колёс.

- **В нормальных и быстроходных колёсах** входные кромки лопастей вынесены в область поворота потока жидкости, т.е. в ту зону, где направление потока изменяется от осевого к радиальному. Это обстоятельство вызывает превращение цилиндрической лопасти в лопасть с поверхностью двойкой кривизны.
- Резко выраженными формами лопастей двойкой кривизны обладают диагональные насосы (**тип 4**).
- **Общие требования, предъявляемые к конструктивной форме сечения лопасти:** *соблюдение расчётных углов входа и выхода, минимальное гидравлическое сопротивление и достаточная прочность.*

## 2. Кавитация

**Давление жидкости**, проходящей через насос, непрерывно изменяется в направлении движения и неодинаково в отдельных точках сечений проточной полости.

- В обычных конструкциях центробежных насосов наименьшее давление наблюдается близ входа в цилиндрическое сечение рабочего колеса на вогнутой стороне лопастей, т.е. там, где относительная скорость  $w$  и соответствующая ей кинетическая энергия, достигают наибольших значений (зона  $A$ ).
- Если в зоне  $A$  **давление оказывается равным или меньшим давления насыщения**, соответствующего температуре всасываемой жидкости, то возникает **явление кавитации**.



- **Явление кавитации** *состоит в вскипании жидкости в зоне пониженного давления и в последующей конденсации пузырьков при выносе кипящей жидкости в область повышенного давления.*
- При этом *кавитационный процесс распространён по некоторой длине потока.*
- **Кавитация** может быть *местным процессом, характерным для короткого участка потока*, в тех случаях, когда давление в сечении пульсирует около его среднего значения, равного давлению насыщенного пара при температуре всасываемой жидкости.
- В этом случае *процессы вскипания и конденсации паровых пузырьков протекают с большой частотой*, пульсирующим образом.

- **В любых случаях кавитации при быстрой конденсации парового пузырька окружающая его жидкость устремляется к центру пузырька (центру конденсации) и в момент смыкания его объёма производит вследствие малой сжимаемости жидкости резкий точечный удар.**
- **Давление в точках смыкания паровых пузырьков при их конденсации в кавитационных процессах достигает нескольких меганаскалей.**
- Если пузырёк пара в момент его конденсации находится на поверхности, ограничивающей поток, то удар приходится на эту поверхность и вызывает местное разрушение металла, **называемое питтингом.**

- **Кавитация** сопровождается термическим и электрохимическими процессами, существенно влияющими на разрушения поверхностей проточной части насосов.
- **Характер питтинга** зависит от материала, из которого изготовлена проточная часть насоса.
- **Питтинг чугуновых деталей**, например рабочих лопастей низконапорных насосов, даёт губчатую структуру с весьма неровной поверхностью и извилистыми узкими щелями, проникающими глубоко в металл и нарушающими прочность детали.

- *В насосах высоконапорных*, работающих при большой частоте вращения, с деталями, выполненными из обычных конструкционных и легированных сталей, **ПИТТИНГ** **проявляется в виде гладких**, как бы проточенных впадин и канавок.
- *Материалов*, абсолютно устойчивых против **кавитации**, *не существует.*
- **Очень плохо противостоят кавитации** неоднородные хрупкие материалы, такие как чугун и керамика.
- **Наиболее устойчивы к кавитации** легированные стали, содержащие хром и никель.

- Кроме разрушения металла **при кавитации у насоса снижается КПД.**
- Работа насоса **в кавитационном режиме** внешне проявляется шумом, внутренним треском, повышенным уровнем вибрации, а при сильно **развившейся кавитации** – ударами в проточной части, опасными для насоса.
- **Кавитационный процесс можно разделить на три стадии.**
- **В начальной стадии зона кавитации** заполнена смесью жидкости и более или менее крупных пузырьков пара. **Во второй стадии в кавитационном потоке** на ограничивающей поверхности образуются крупные каверны, срываемые потоком и вновь образующие. **Третья стадия – суперкавитация:** весь обтекаемый элемент гидромашины лежит в области каверны.

- *Работа насоса в стадии начальной кавитации нежелательна, но допустима*, если детали насоса изготовлены из **кавитационно** – устойчивых материалов.
- В стадиях развитой кавитации и суперкавитации *работа насоса становится ненадёжной* и **поэтому недопустима**.
- **Кавитация возникает обычно во всасывающем тракте насоса на лопастях рабочего колеса**, однако **кавитационные процессы** могут возникать и в напорных потоках в местах срыва жидкости с рабочих лопастей, направляющих лопаток, регулирующих органов.

- **Меры, предупреждающие возникновение кавитации:** ограничение скорости жидкости в проточной полости насосов, применение радиальных форм сечений проточной полости и профилей лопастей, эксплуатация насосов в режимах, близких к расчётным.
- **В многоступенчатых насосах наиболее подвержено кавитации** первое по ходу жидкости рабочее колесо, потому что на входе в него давление наименьшее.
- **Чтобы повысить кавитационные качества таких насосов,** перед первой ступенью их устанавливают предвключенное осевое колесо или шнек, состоящий из двух – трёх витков. Они выполняются из кавитационно–устойчивых материалов и развивают на входе в первое колесо многоступенчатого насоса давление, **препятствующее возникновению кавитации.**

- *Оценка кавитационного качества насосов производится на основе кавитационных характеристик, получаемых испытанием на специальных стендах.*
- *Основной мерой* против кавитации *в насосах любых типов и конструкций* является соблюдение такой высоты всасывания насоса, *при которой кавитации не возникает.*
- Такая высота всасывания называется *допустимая.*

# **3. Конструкции центробежных насосов**

Обозначения и маркировка насосов общего назначения за исключением специальных конструкций определены ГОСТ.

- **ГОСТ** определяет группу **центробежных многоступенчатых насосов секционного типа** для чистой воды с подачей от 6 до 1000 м<sup>3</sup>/ч и напором от 40 до 2000 м.

- **Обозначение насоса включает три буквы:**

□ Ц – центробежный,

□ Н – насос,

□ С – секционный

- **и два числа,**

✓ первое – подача  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч,

✓ второе – напор  $H$ , м ст. жидкости.

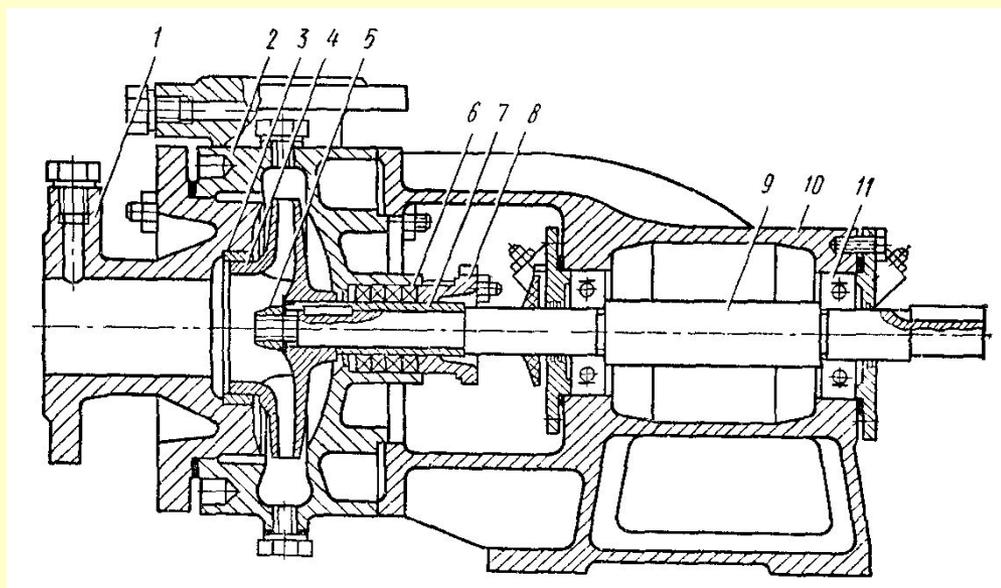
- Например, **ЦНС – 22 – 88** означает: центробежный насос секционного типа с подачей 22 м<sup>3</sup>/ч и напором 88 м.

- **ГОСТ определяет группу центробежных насосов двустороннего входа**, обозначаемую буквой **Д**.
- Подача и напор даются в марке, так же как и в секционных насосах.
- Например: **Д – 2000 – 100** - центробежный насос двустороннего входа с подачей 2000 м<sup>3</sup>/ч и напором 100 м.
- Насосы типа **Д** охватывают область подач от 200 до 12500 м<sup>3</sup>/ч и напоров до 100 м; КПД этих насосов до 92%.

- *Применительно к теплоэнергетике все центробежные насосы могут быть разделены на следующие группы:*
- **1)** насосы для чистой воды, одноступенчатые и многоступенчатые;
- **2)** конденсатные;
- **3)** питательные;
- **4)** насосы для кислых сред;
- **5)** насосы для подачи смесей жидкостей и твёрдых частиц.

**Рассмотрим характерные черты указанных групп насосов.**

- **Насосы для чистой воды** применяются для хозяйственного, технического и противопожарного водоснабжения электрических станций и промышленных предприятий. Они бывают одноступенчатыми и многоступенчатыми.
- Простейшим типом одноступенчатого насоса является консольный насос, обозначаемый буквой **К**.

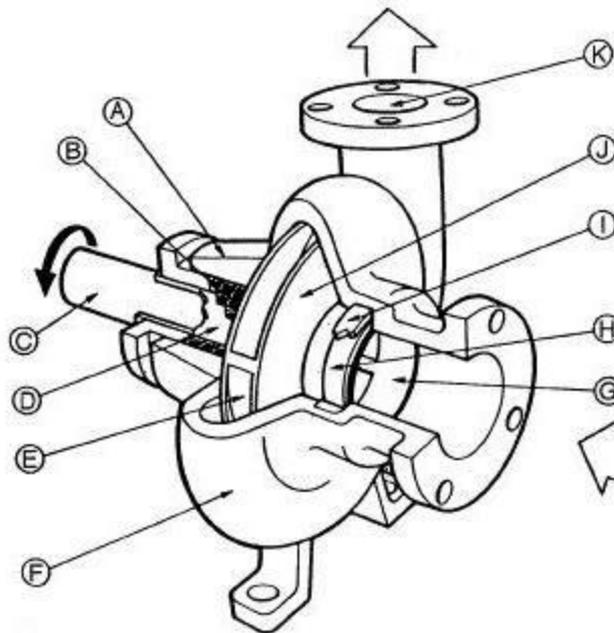
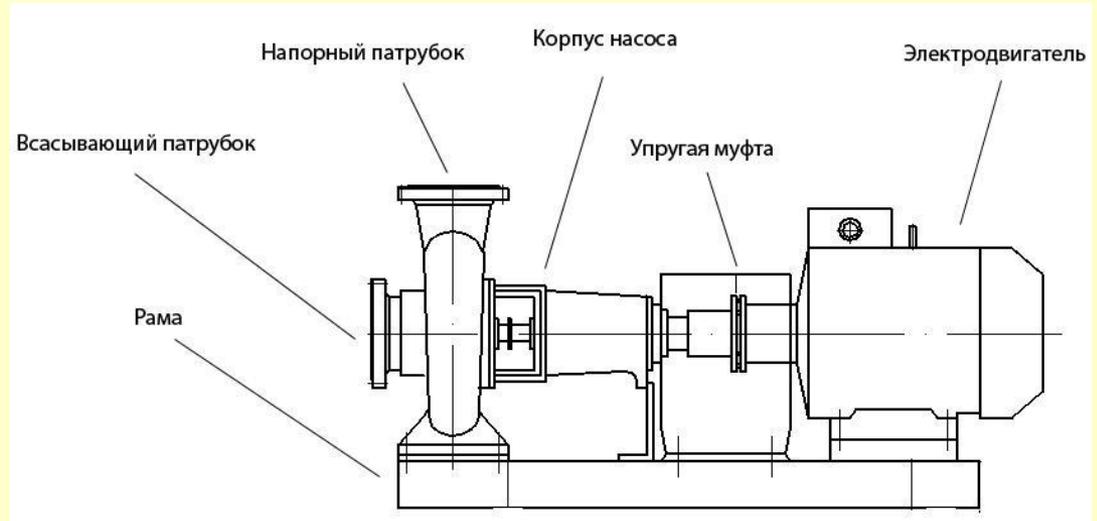


**Схема консольного насоса  
одностороннего всасывания  
типа К**

1 – крышка корпуса; 2 – корпус; 3 – сменное уплотняющее кольцо; 4 – рабочее колесо; 5 – шпонка и гайка; 6 – сальник; 7 – сменная защитная втулка; 8 – грундбукса; 9 – вал насоса; 10 – опорный кронштейн; 11 – шарикоподшипники

- Характерной особенностью консольного насоса является расположение рабочего колеса на консоли вала, вращающегося в двух широко расставленных шариковых подшипниках.
- Корпус спиральный с осевым подводом жидкости.
- Сальник здесь имеется только на стороне подачи.
- Насосы этого типа рассчитаны на подачу 10 – 360 м<sup>3</sup>/ч.
- Создаваемые ими напоры лежат в пределах 10 – 100 м, частота вращения 1450 – 2900 об/мин, диаметр рабочих колёс 132 – 328 мм, полный КПД находится в пределах 50 – 84%.

# Чертеж консольного насоса:



- A Сальник
- B Набивка
- C Вал
- D Втулка вала
- E Лопасть
- F Корпус
- G Приемное пространство лопостного колеса
- H Рабочее колесо
- I Уплотнительное кольцо
- J Рабочее колесо
- K Выпускной патрубок

## Разрез насосной части консольных насосов:

- Консольный тип насосов предназначен для подачи чистой воды и других малоагрессивных жидкостей.
- РК одностороннего всасывания подвержены воздействию осевой силы, которая направлена в сторону входа жидкости в рабочее колесо.
- Осевая сила возникает из-за того, что расположенная против входного сечения колеса площадь  $F = \pi D_1^2/4$  передней стороны заднего диска находится под действием давления всасывания  $p_1$ , а также по величине площадь задней стороны этого диска — под давлением нагнетания  $p_2$ .

- Осевая сила  $T$  может быть вычислена из уравнения

$$T = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \cdot (p_2 - p_1).$$

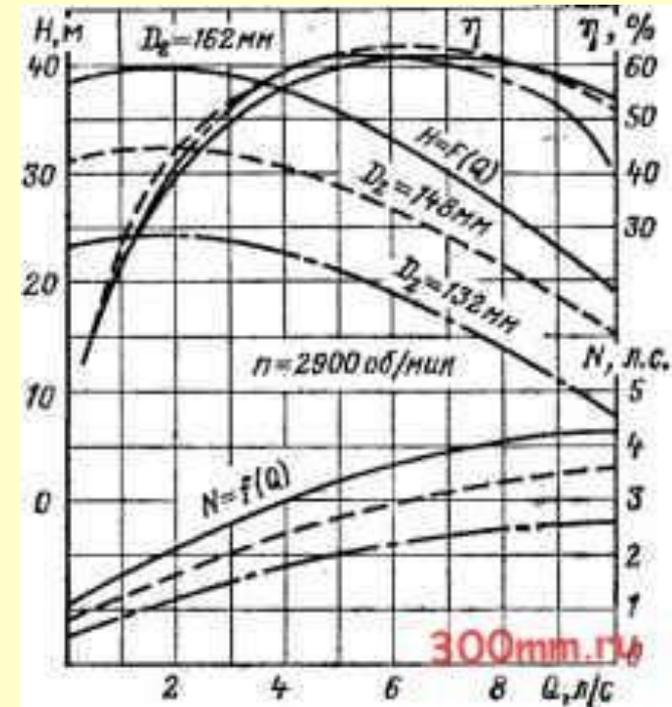
где  $D_1$  – диаметр входа в РК;  $D_2$  – диаметр вала.

- Осевая сила надежно воспринимается упорным подшипником.
- Данный тип насосов устанавливается на фундаменте, обвязка насосов трубопроводами производится без усилий на корпус насоса. Насос имеет задвижки на всасе и напоре, на напорном трубопроводе, между присоединительным фланцем насоса и напорной задвижкой, устанавливается обратный клапан.

- Насосы консольного типа исполняются с электроприводом (агрегатно) или отдельно, также широкое применение получили данные насосы в моноблочном исполнении.
- Насосы маркируются следующим образом: **К** или **КМ 8/18**. Буквы в маркировке имеют следующее значение – консольный (консольный моноблочный), цифры означают – производительность, м<sup>3</sup>/ч, и напор, м.
- Данный тип насосов выпускается по производительности от 18 -290 м<sup>3</sup>/ч, и напором от 18 до 55 м.
- Насосы данного типа нашли широкое применение в системах тепло- и водоснабжения.

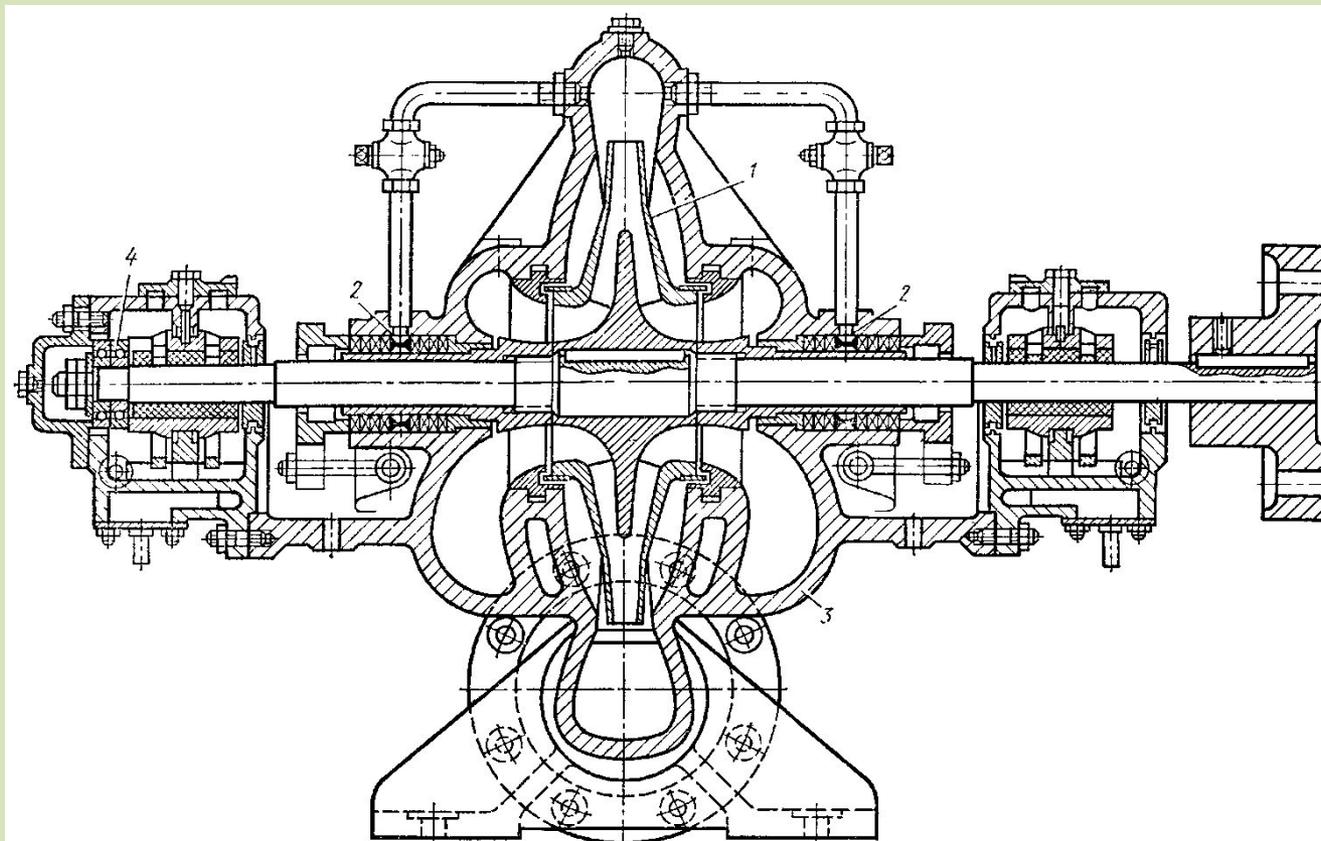
На рисунке представлена типична для насоса типа К характеристика при  $n = 2900$  об/мин.

- Для внесения большого разнообразия в рабочие параметры насосов заводы широко практикуют обрезку рабочих колёс; это даёт возможность изменения параметров при сохранении конструкции и габаритов насоса.



Приведённые на рисунке характеристики относятся к насосам трёх различных диаметров, отмеченных на графике.

# Продольный разрез типа Д



## Одноступенчатый насос двухстороннего всасывания

1 – рабочее колесо; 2 – гидравлическое кольцо; 3 – корпус; 4 – подшипник

- Широкое применение в энергетике получили одноступенчатые насосы двухстороннего всасывания.
- Основной принцип заложенный в конструкции данного насоса – это эффективный способ разгрузки ротора.
- Применение насосов с колесами двухстороннего всасывания – типа Д, у которых благодаря симметрии не возникает осевого усилия.
- У этих насосов имеется раздваивающийся полуспиральный подвод.
- В рабочем колесе эти потоки соединяются и выходят в общий спиральный отвод.

Разъем корпуса насоса горизонтальный.

Вал насоса защищен от износа закрепленными на валу сменными втулками.



- Сальники, уплотняющие подвод насоса, имеют кольца гидравлического затвора.

Радиальная нагрузка ротора воспринимается подшипниками скольжения.

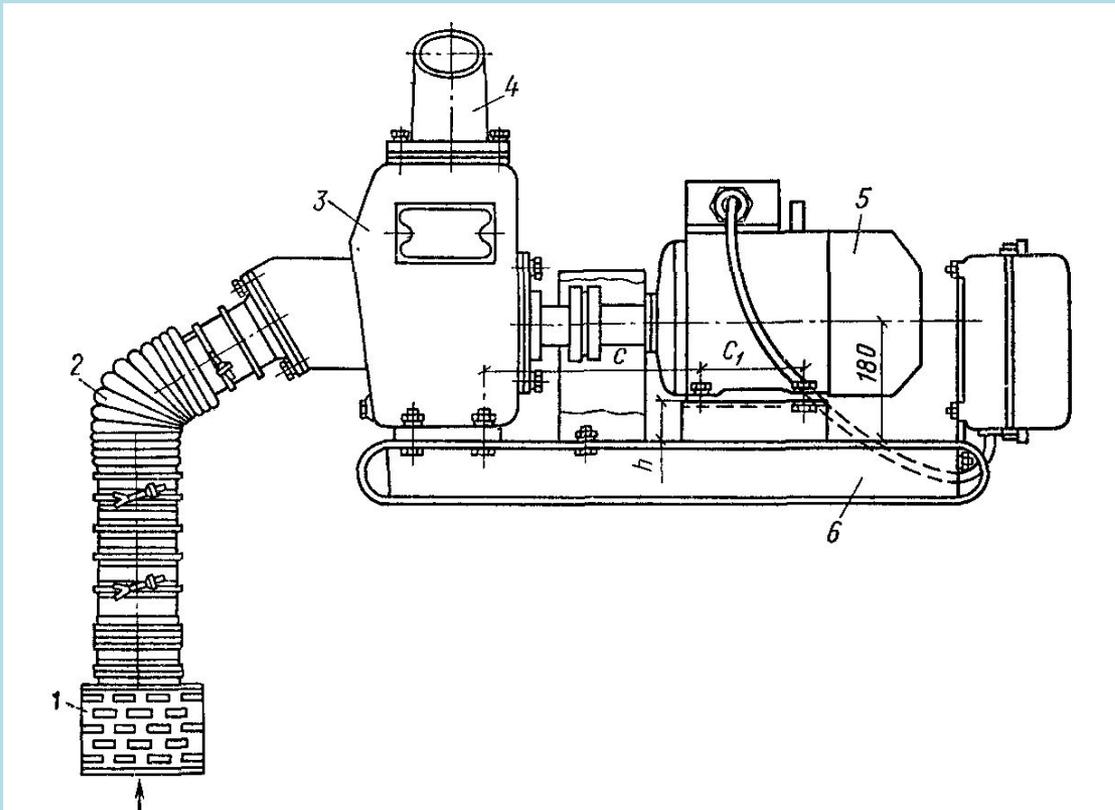
- Для фиксации вала в осевом направлении и восприятия осевого усилия, которое может возникнуть при неравномерном изготовлении или износе одного из уплотнений рабочего колеса, в левом подшипнике имеются радиально-упорные шарикоподшипники.

- Насосы типа Д характеризуются двусторонним подводом жидкости к рабочему колесу, спиральной безлопаточной формой направляющих аппаратов и присоединением всасывающего и напорного патрубков к нижней половине патрубков к нижней половине корпуса при горизонтальной плоскости его разъёма.



- Наиболее распространенным типом центробежных насосов являются одноступенчатые насосы с горизонтальным расположением вала и РК одностороннего входа.

## Насосная установка типа НЦС – насос циркуляционный самовсасывающий

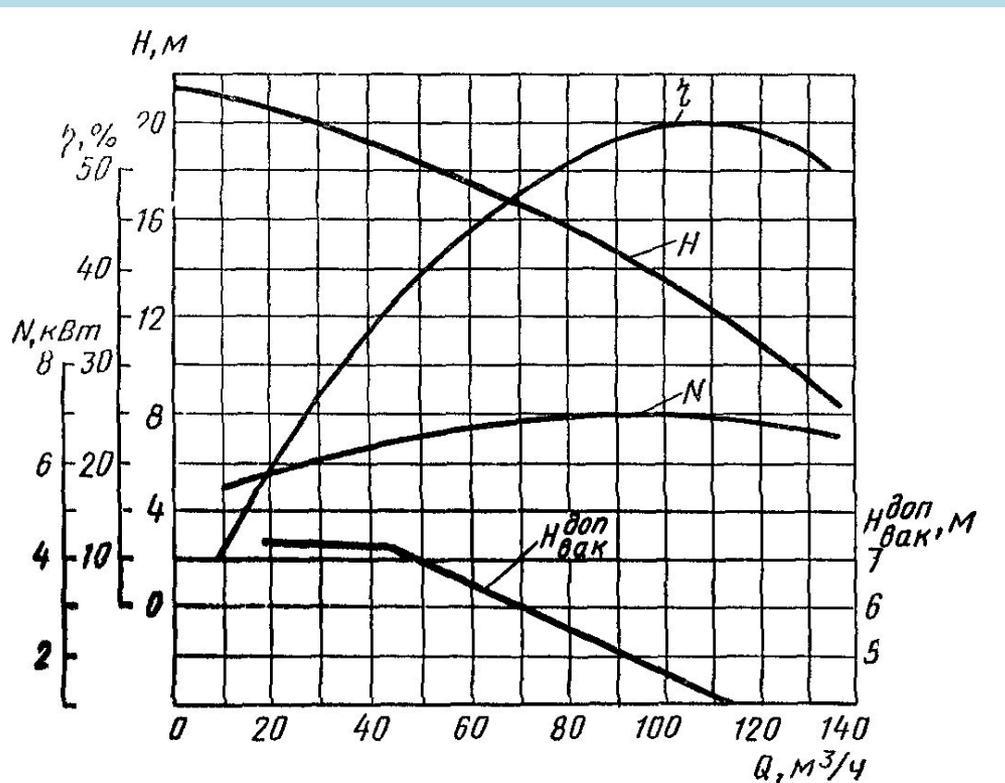


### Схема центробежного самовсасывающего насоса

1 – фильтр; 2 – всасывающий рукав; 3 – корпус насоса; 4 – напорный патрубок; 5 – электродвигатель; 6 – рама

- Привод насосов типа ЦНС, помимо электродвигателя, может осуществляться бензиновыми двигателями внутреннего сгорания.
- Основное применение насосы данного типа нашли во многих производствах и хозяйствах как откачивающие насосы грунтовых вод и в аварийных ситуациях.
- Производительность насосов данной серии имеет широкий диапазон от единиц до  $90\text{ м}^3/\text{ч}$  откачиваемой жидкости.
- Основным условием безотказной работы насосов данной конструкции является: герметичность соединений деталей насоса; чистота фильтра и рабочего колеса; целостность клапана фильтра сальника вала.

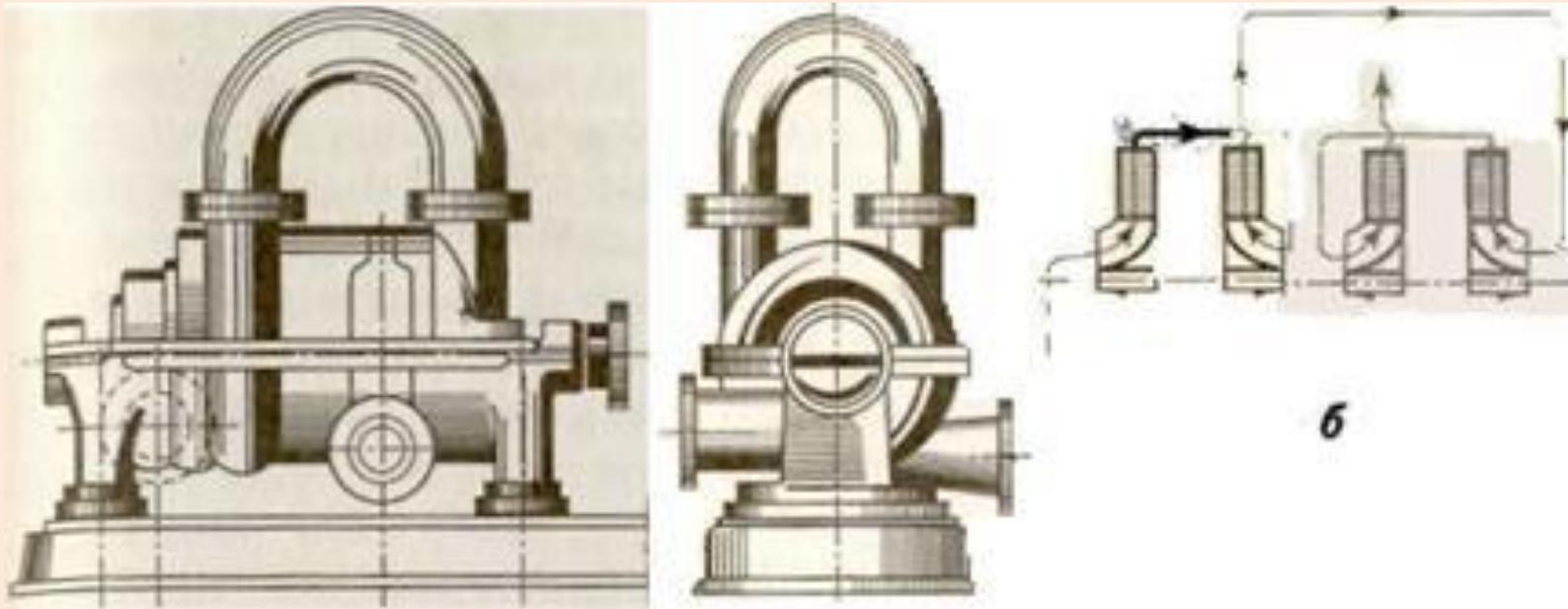
- Глубина всасывания насосов данного типа находится в пределах 3 до 7 метров.
- Электродвигатель работает от сети переменного тока с напряжением 380 В через пусковой прибор.



**Характеристика насоса НЦС-1**

- Многоступенчатые насосы представлены тремя основными группами: секционные типа С (секционные насосы с колёсами одностороннего входа), насосы с колёсами одностороннего входа и горизонтальным разъемом корпуса, насосы с первым колесом двустороннего входа и остальными колёсами одностороннего входа и горизонтальным разъемом корпуса.
- Многоступенчатые насосы этих типов развивают подачу от 5 до 1000 м<sup>3</sup>/ч при напорах от 35 до 100 м.
- Специальные конструкции могут быть выполнены с основными параметрами, выходящими за указанные пределы.

**Внешний вид четырёхступенчатого насоса  
и приведена схема последовательного включения  
его колёс**



- ***Конденсатные насосы*** применяются для удаления конденсата, а также как горячие, дренажные насосы бойлерных установок. Они предназначены для перекачивания конденсата и дренажа при температуре до 393 К.
- ***Питательные насосы*** применяются для подачи питательной воды в паровые котлы. В большинстве случаев это центробежные многоступенчатые насосы высокого давления, приспособленные к работе с водой с высокой температурой.
- ***Насосы для кислых сред*** изготавливаются из специальных нержавеющей сталей. Подача у них от 5 до 300 м<sup>3</sup>/ч при развиваемых напорах от 7 до 500 м.

- *Насосы для подачи смесей жидкостей и твёрдых частиц.*
- Условия работы таких насосов специфичны.
- Поток жидкости. Содержащей твёрдые частицы, проходя с большой скоростью через проточную полость, истирает внутреннюю поверхность насоса.
- Поэтому к конструкциям и материалам таких насосов применяются особые требования.
- В теплоэнергетике такие насосы применяются для перекачки золосмесей и шлакосмесей в системах гидрозолоудаления, и также при производстве работ по очистке гидротехнических сооружений станций (каналов, колодцев).