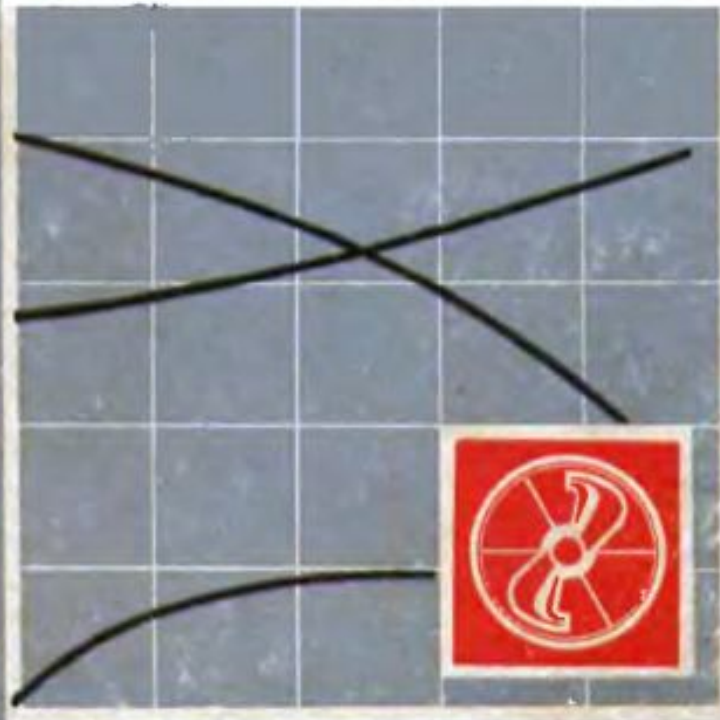


Черпаковые насосы

Лекция 2



К. Н. СПАССКИЙ • В. В. ШАУМЯН

**НОВЫЕ НАСОСЫ
ДЛЯ МАЛЫХ ПОДАЧ
И ВЫСОКИХ НАПОРОВ**

Конструкция черпакового насоса

Для уменьшения дисковых и объемных потерь и улучшения кавитационных характеристик при больших скоростях вращения ротора применяют в высоконапорных установках центробежные насосы с вращающимся корпусом или *черпаковые*.

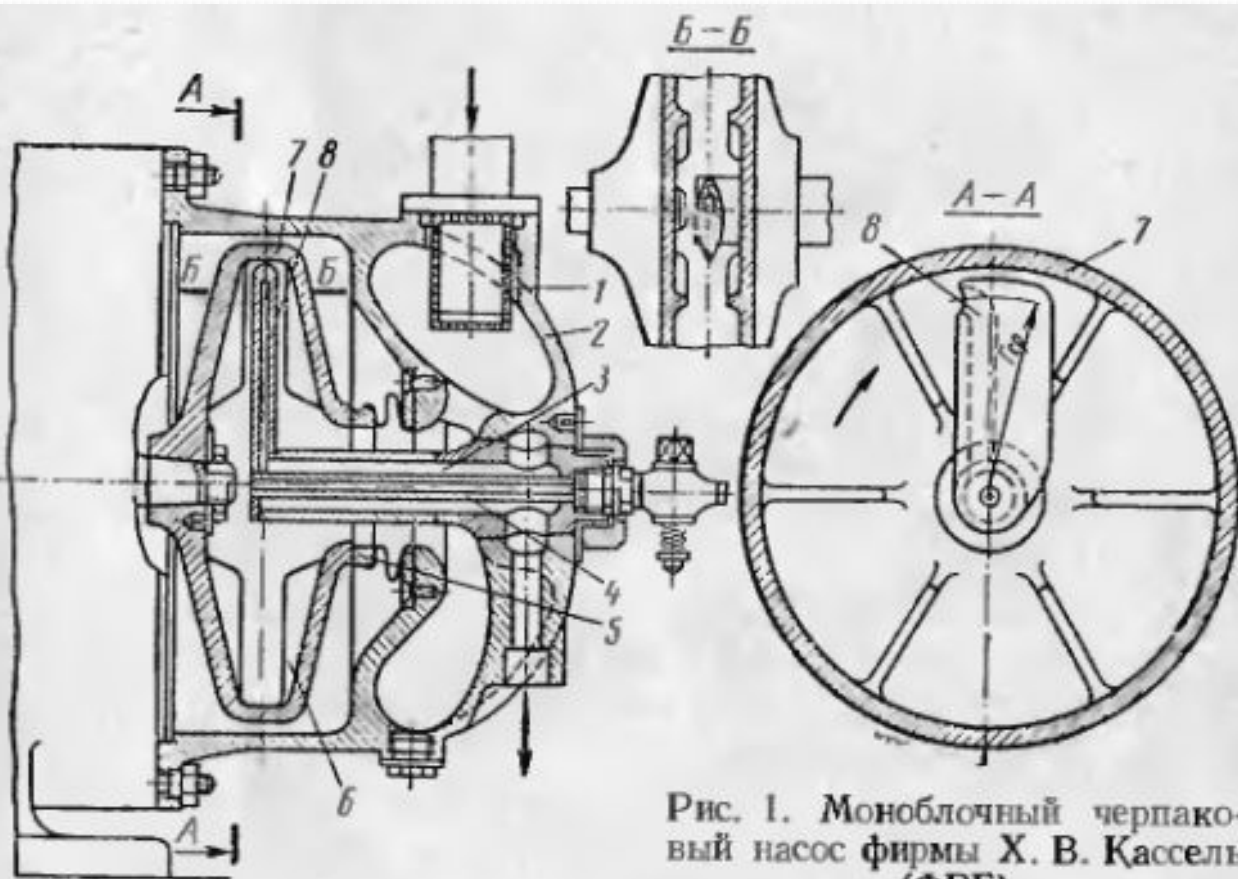
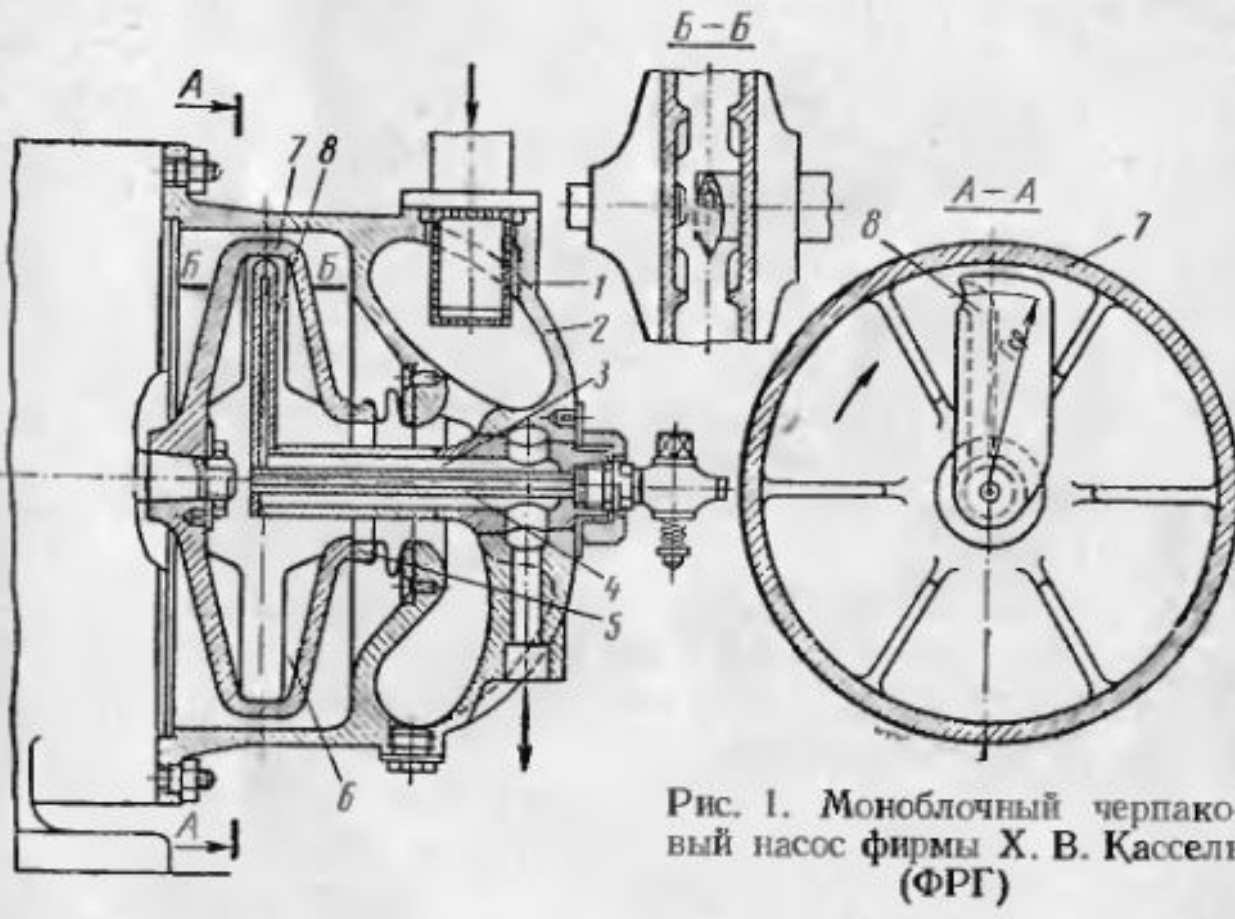


Рис. 1. Моноблочный черпаковый насос фирмы Х. В. Кассель (ФРГ)

- Моноблочный черпаковый насос предназначен для перекачивания маловязких топлив и легкокипящих жидкостей.
- Насос имеет подачу 250 кг/ч и развивает давление до 4,4 МПа при $n = 6000$ об/мин.



- Насос состоит из кожуха с полуспиральным подводом 2, вращающегося корпуса 7 и черпака 8.
- Жидкость поступает в корпус, закручивается радиальными лопатками 6 и направляется к его периферии.

Отсюда она поступает в отверстие отводного канала черпака и по осевой трубе 3 отводится в нагнетательный трубопровод.

Уплотнение торцового типа 5 только одно и расположено со стороны всасывания на малом диаметре входа.

Для удаления воздуха, наличие которого во вращающемся корпусе приводит к уменьшению напора и расхода насоса, предусмотрена трубка 4 с двухходовым краном.

- Для предотвращения засорения отводного канала и вывода из строя торцового уплотнения на входе в полуспиральный подвод установлен сетчатый фильтр 1. Двигатель и его подшипники защищены от паров перекачиваемой жидкости манжетным уплотнением из химически стойкой резины.
- Защитный кожух с полуспиральным подводом и вращающийся корпус выполняются точным литьем с последующей обработкой и тщательной балансировкой вращающихся деталей.
- Черпак изготавливают литьем или штамповкой из двух половин, которые свариваются между собой и с отводной трубой.

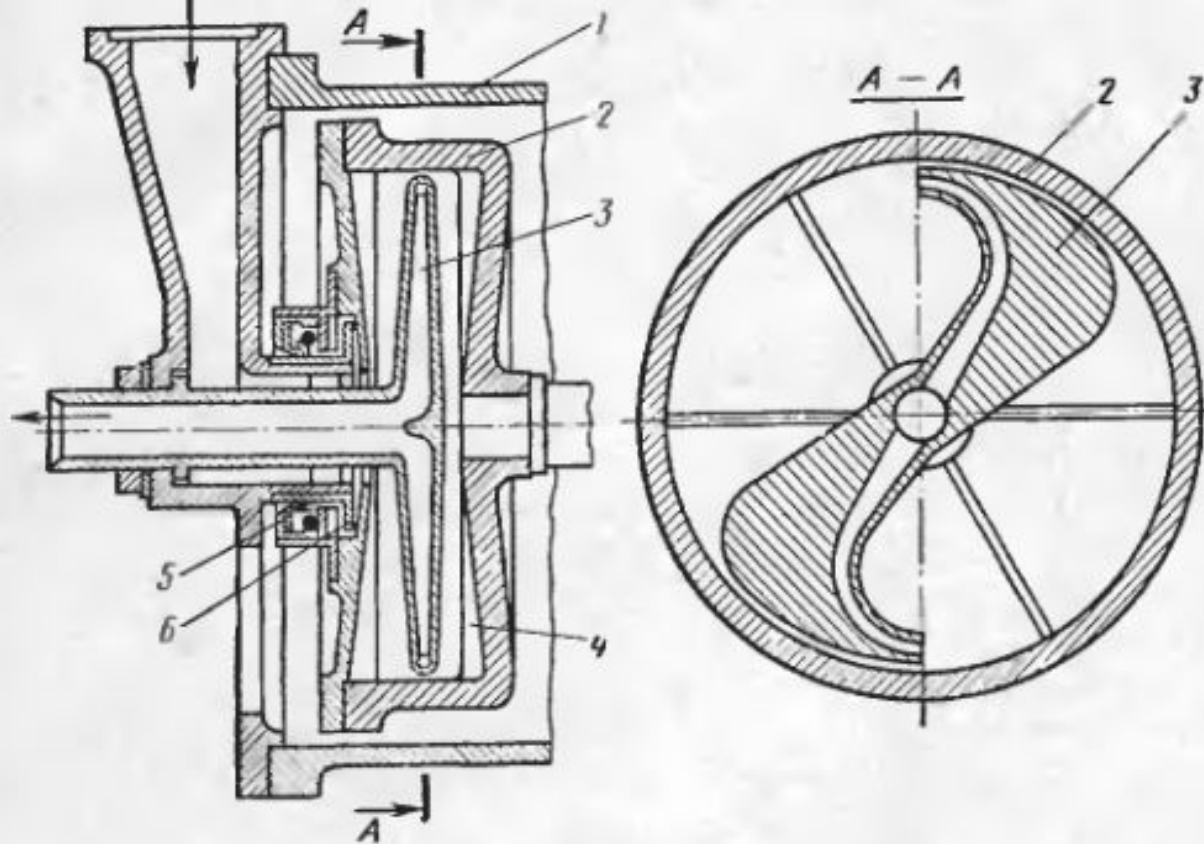


Рис. 2. Черпаковый насос с симметричной относительно оси формой черпака фирмы Х. В. Кассель (ФРГ)

- Выпускаются также черпаковые насосы, установленные на опорной стойке, с приводом от обычного электродвигателя через клиноременную передачу (рис. 2).
- Например, насос на рис. 2 рассчитан на подачу $14,4 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление до $2,85 \text{ МПа}$ при скорости вращения вала $5000\text{—}6000 \text{ об/мин}$ и применяется для перекачивания маловязких топлив.

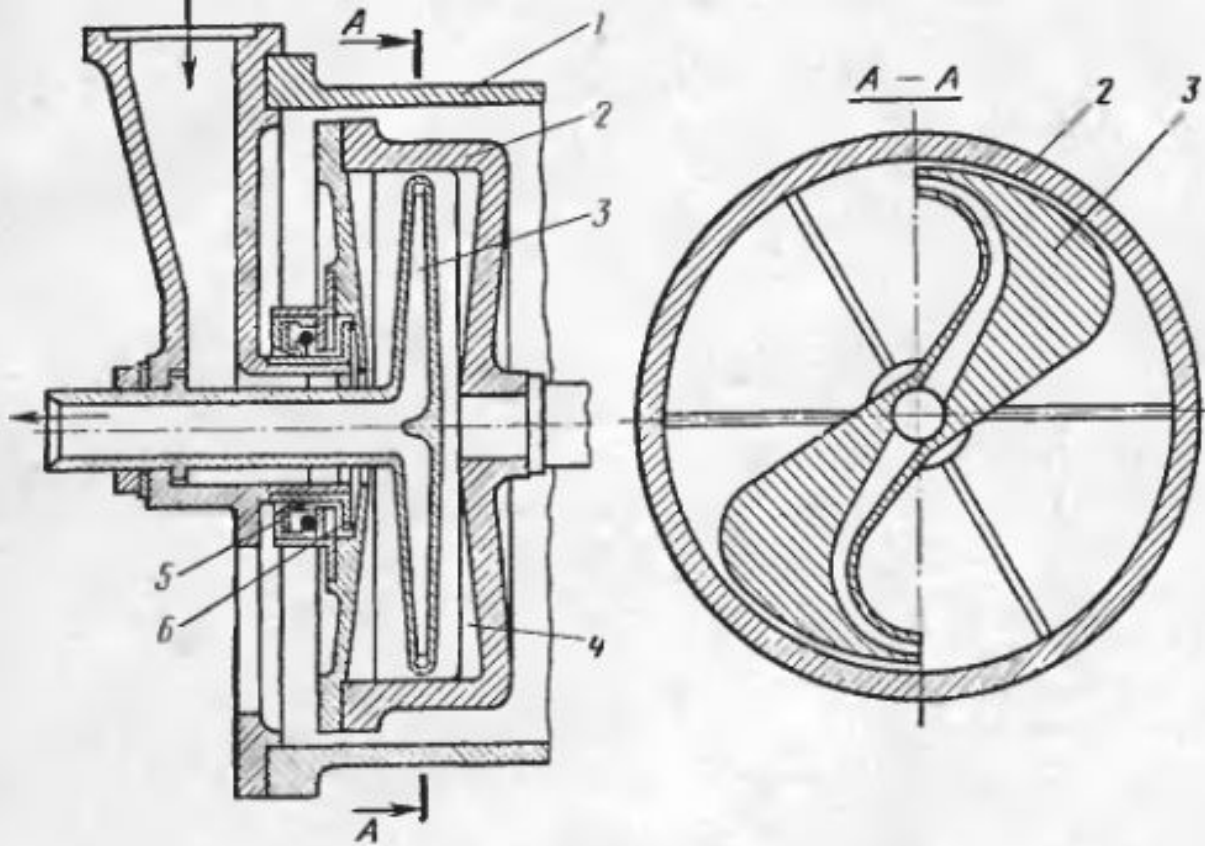
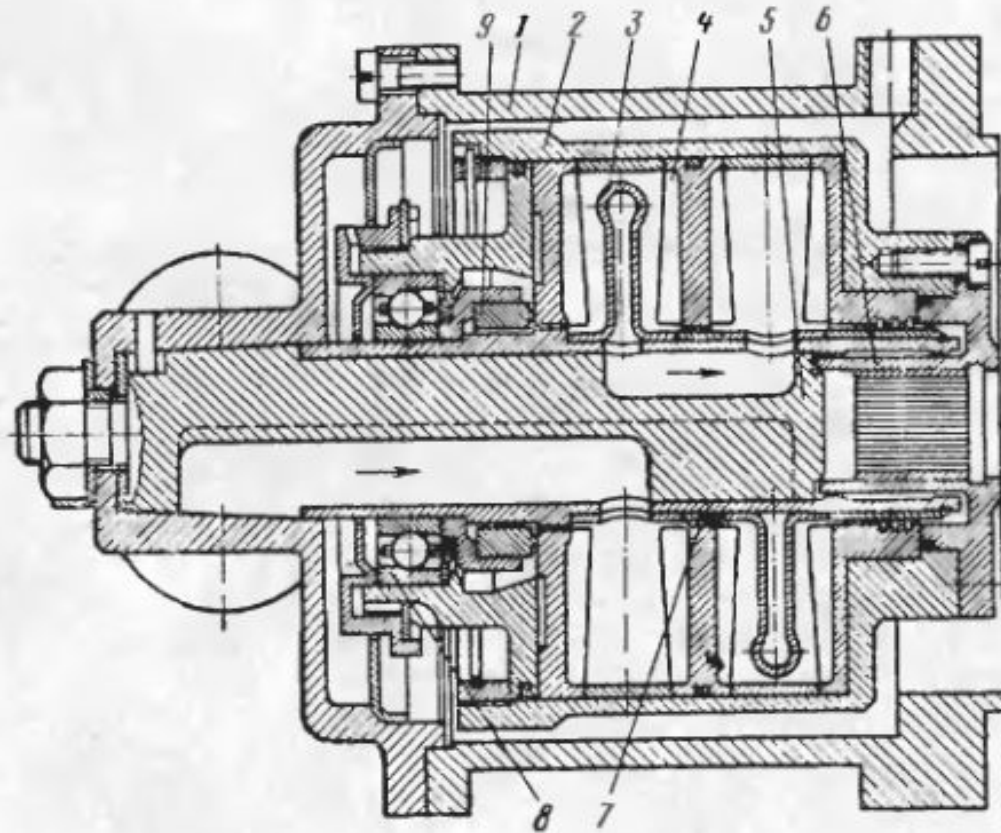


Рис. 2. Черпаковый насос с симметричной относительно оси формой черпака фирмы Х. В. Кассель (ФРГ)

У этого насоса вращающийся корпус 2 расширен к области входа в отводной канал; между лопатками 4 корпуса и черпаком 3 имеются большие зазоры, которые снижают гидравлические сопротивления при обтекании черпака и повышают КПД, почти не меняя давления, развиваемого насосом.

- Уплотнение 5 комбинированного типа более надежно при больших скоростях вращения ротора. Оно состоит из резиновой манжеты и импеллера. Манжета служит запирающим органом на стоянке, а импеллер — во время работы насоса.
- Для выравнивания давления на входе в насос с давлением, передающимся на импеллер, на кольцевой пластине 6 имеются ребра. Такое уплотнение даст возможность сократить длину консоли, на которой крепится черпак. Ограждающий кожух 1 крепят к фланцу опорной стойки.

- Форма черпака исключает радиальные нагрузки на корпус насоса, а диффузорный отводной канал уменьшает потери скоростной энергии на выходе из насоса и увеличивает напор и гидравлический КПД.
- Симметричное расположение профилей черпака ухудшает механический КПД, при этом профильное сопротивление возрастает вдвое по сравнению с черпаком несимметричного типа.
- Коэффициент быстроходности насосов этого типа не превышает 2—2,5. Следовательно, их применяют при тех же подачах и напорах, что и насосы объемного типа.
- Однако черпаковые насосы с коэффициентами быстроходности меньше 10 имеют низкий КПД. Для насосов небольших мощностей это особого значения не имеет из-за малой абсолютной величины потерь.
- Но при увеличении мощности насоса требования к его экономичности повышаются, приходится увеличивать скорость вращения ротора, что одновременно уменьшает и установленную мощность привода.



- В США выпущен насос со следующими техническими параметрами: напор 1850 м, подача 3,6 м³ ч, скорость вращения вала 35 000 об/мин, температура рабочей жидкости от -50 до +130 град. С, КПД – 60%.
- Насос предназначен для перекачивания маловязких топлив или жидких металлов: натрия, калия, лития. Его масса около 3 кг. Привод — газовая или паровая турбина.

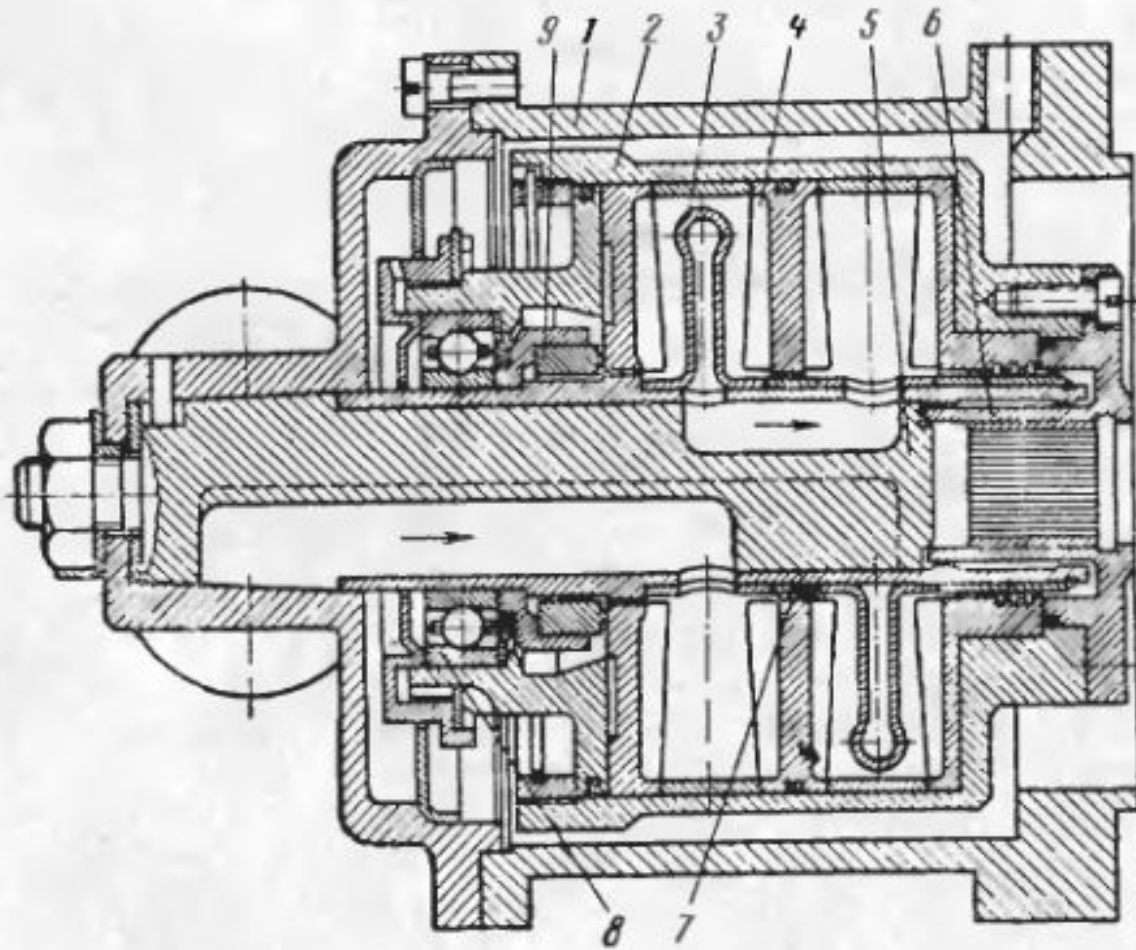


Рис. 3. Двухступенчатый черпаковый насос компании Нью-Йорк Эйр Брэйк Компани (США)

- Насос состоит из цилиндрического вращающегося корпуса 2 с двумя камерами, в которых расположены два неподвижных черпака 3 сигарообразной формы (по одному в каждой камере).
- Подвод и отвод перекачиваемой жидкости осуществляется по осевым каналам неподвижной консоли 5, укрепленной на фланце защитного кожуха 1 насоса.

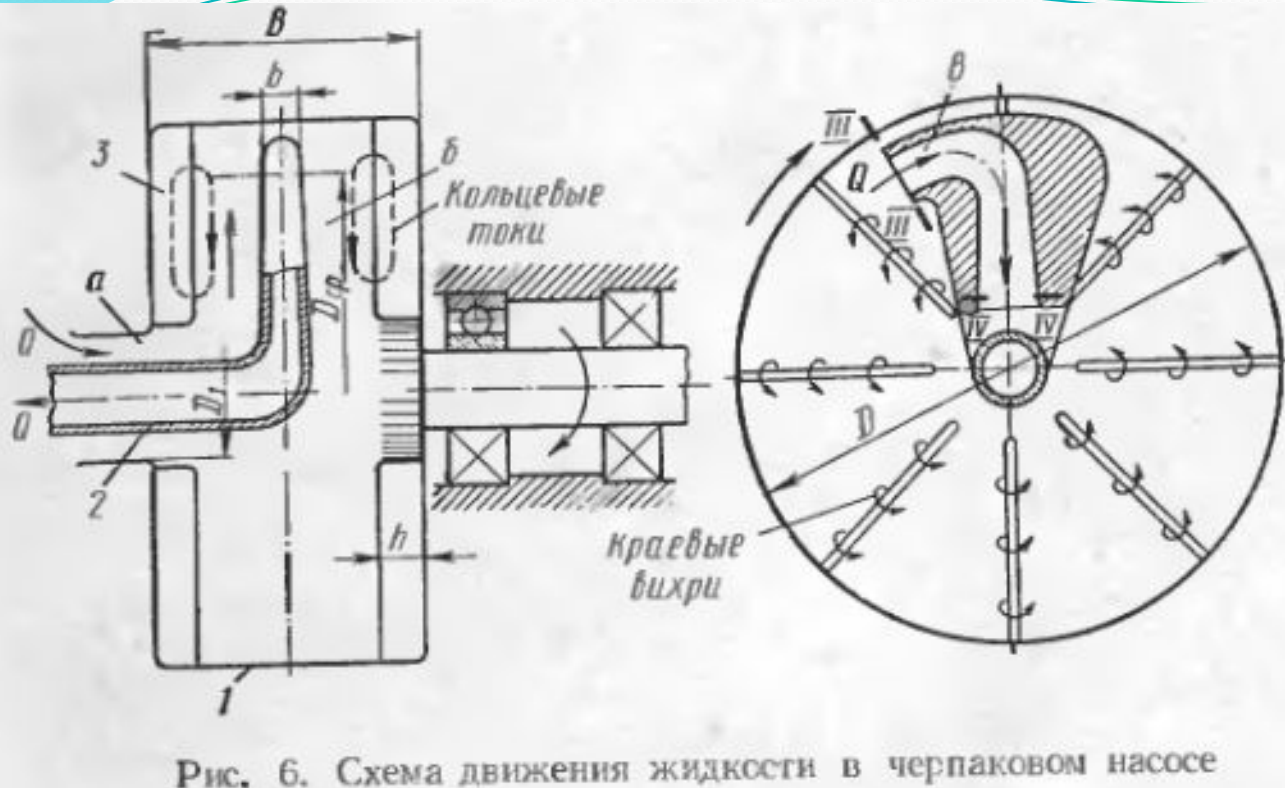
Задняя опора вращающегося корпуса — гидродинамический подшипник скольжения 6, смазываемый перекачиваемой жидкостью. Передняя опора, воспринимающая осевую нагрузку, — шариковый или роликовый подшипник 8 прецизионного изготовления.

- Уплотнение 9 наружной щели — между вращающимся корпусом и консолью насоса — торцового типа.
- Внутреннее уплотнение 7 — щелевое или лабиринтное.
- У этого насоса уравновешены не только осевые, но и радиальные силы благодаря симметричному относительно оси расположению черпаков.
- Сигарообразная форма черпака в сочетании с лопатками 4 корпуса, отогнутыми назад увеличивает гидравлический КПД.
- Применять такие насосы рекомендуется там, где требуются подачи в пределах $3,6 - 14,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напоры до 2000 м.
- Насос имеет высокие экономические качества при низком коэффициенте быстроходности, равном 25.

- Из рассмотрения конструкций некоторых черпаковых насосов можно сделать вывод, что их применяют там, где требуются высокие напоры и малые подачи.
- В этих условиях работы они имеют более высокий КПД, чем центробежные насосы той же быстроходности. Кроме того, черпаковые насосы имеют ряд положительных качеств конструктивного характера. Внутренних уплотнений нет, а наружное уплотнение располагается на всасывающей стороне и на малом диаметре входа.
- Моноблочная конструкция насоса очень удобна благодаря расположению уплотнения на вращающемся корпусе с противоположной стороны от двигателя.
- При этом утечка перекачиваемой жидкости через уплотнение происходит не в атмосферу, а в кожух насоса, откуда может быть отведена в специальную емкость. Это очень важно при перекачивании химически активных жидкостей.
- При одно- и двухступенчатом исполнении насоса осевые силы полностью уравниваются, за исключением силы, действующей на торец консоли. Однако эта сила играет даже положительную роль, фиксируя ротор в определенном положении.

- Радиальные силы в одноступенчатой конструкции черпакового насоса полностью уравниваются при симметричной относительно оси вала форме черпака, а в двухступенчатой — при симметричном относительно оси расположении черпаков.
- Простая конструкция деталей насоса и отсутствие торцовых допусковых зазоров облегчают его изготовление и сборку и повышают надежность в эксплуатации. Форма вращающегося корпуса позволяет применить антикоррозионное покрытие или изготовить его из неметаллических материалов.
- Черпак насоса может изготавливаться из металла или пластмассы методом точного литья, прессованием, штамповкой и механической обработкой.
- Черпаковые насосы могут применяться там, где не требуется специфическая форма характеристики $Q—H$.

Рабочий процесс черпакового насоса



Жидкость с расходом Q подводится по цилиндрическому каналу во вращающийся корпус 1 насоса (рис. 6). Здесь создается момент скорости в результате воздействия лопаток 3, расположенных на боковых стенках корпуса.

- Передача вращения центральной массе жидкости осуществляется путем обмена количеством движения (импульсом) между жидкостью, сходящей с лопаток и находящейся в межлопаточном зазоре б.
- Вращение жидкости в зазоре б возможно только при условии некоторого различия окружных скоростей корпуса и самой жидкости.
- В зазоре б жидкость несколько отстает от лопаток. Она тормозится поступлением новых порций через входной патрубок и сопротивлением черпака 2, размещенною в межлопаточном зазоре. Поскольку жидкость всегда отстает от лопаток, то обмен количеством движения продолжается постоянно, пока вращается корпус

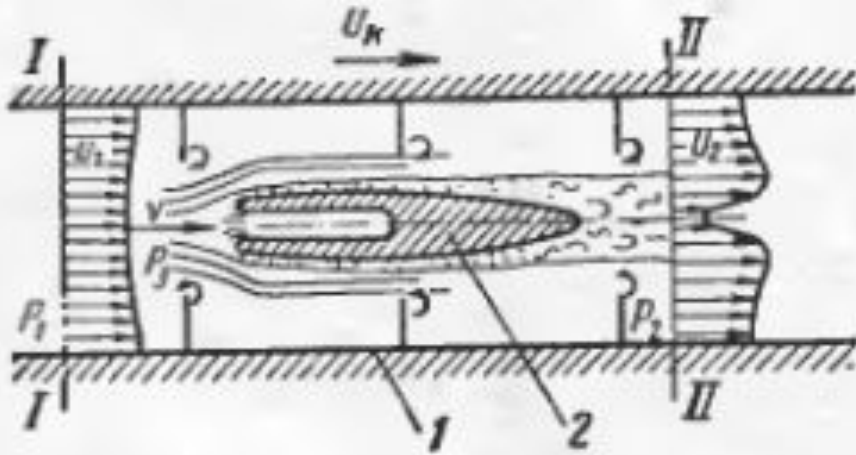
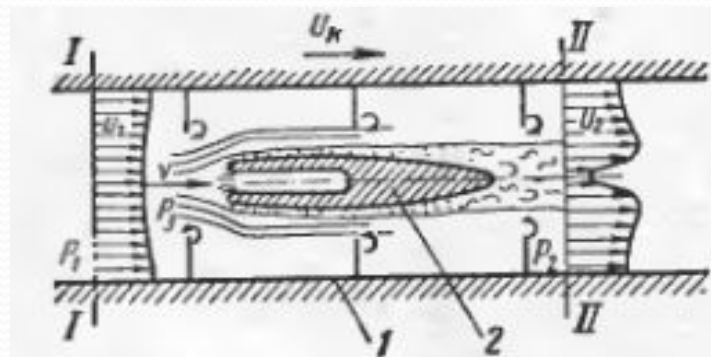
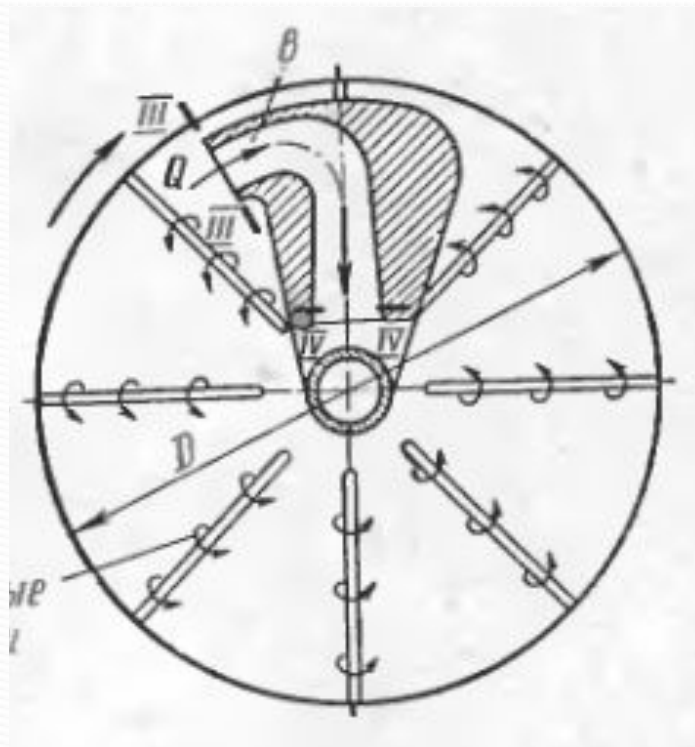


Рис. 7. Схема обтекания профиля черпака во вращающемся корпусе и распределение скоростей в потоке

- Окружные скорости по ширине корпуса распределяются так, что наибольшие будут у стенок корпуса 1 и наименьшие в его середине в плоскости расположения черпака 2 (рис. 7).
- Перед черпаком давление p_1 больше, чем после него. Давление внутри корпуса возрастает пропорционально квадрату окружной скорости. Следовательно, величина его у стенки больше, чем в средней части корпуса.
- В соответствии с таким распределением скоростей и давлений на лопатках возникнут кольцевые токи и образуются вихревые жгуты, которые и осуществляют обменный процесс, описанный выше.

- В результате возникновения кольцевых токов радиальные скорости жидкости распределяются так, что наибольшие будут у стенки, а наименьшие — в середине корпуса.
- Отбор жидкости через отводной канал в черпака вызывает направленный радиальный поток от центра к периферии корпуса.
- Входное отверстие отводного канала располагают в зоне наибольших давления p_3 и скоростей v для средней части корпуса



- Взаимодействие вращающегося корпуса с жидкостью осуществляется механизмом вихревого обменного процесса, при этом возникают основные потери в насосе.
- Часть энергии, переданной вихрями, расходуется на преодоление сопротивления при обтекании черпака — это механические потери. Другая часть передается проходящему полезному расходу насоса, а некоторая доля этой энергии расходуется на гидравлические потери в корпусе и отводном канале черпака.
- Для сокращения потерь распределение скоростей по ширине и окружности корпуса должно быть равномерным. Для этого черпак должен иметь небольшое гидравлическое сопротивление, занимать наименьшую часть меридионального сечения корпуса и создавать минимальное стеснение потоку.

Конструкции корпусов и черпаков

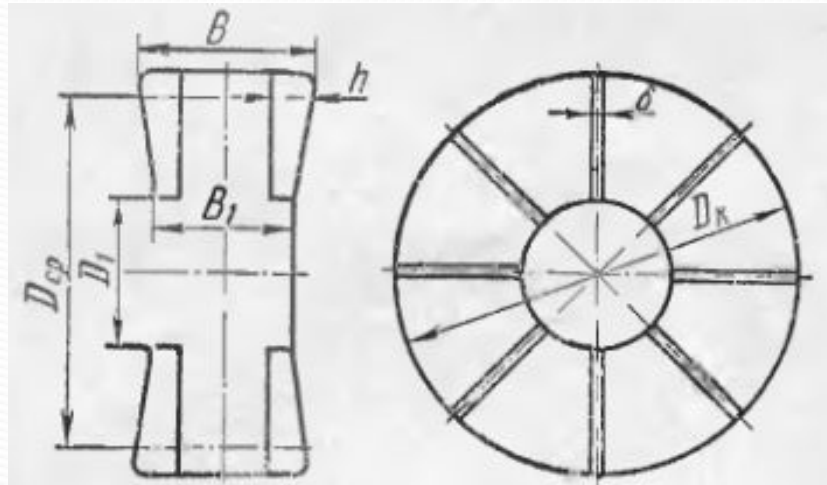


Рис. 9. Геометрия корпусов № 1; 1а; 1б; 2; 2а; 2б

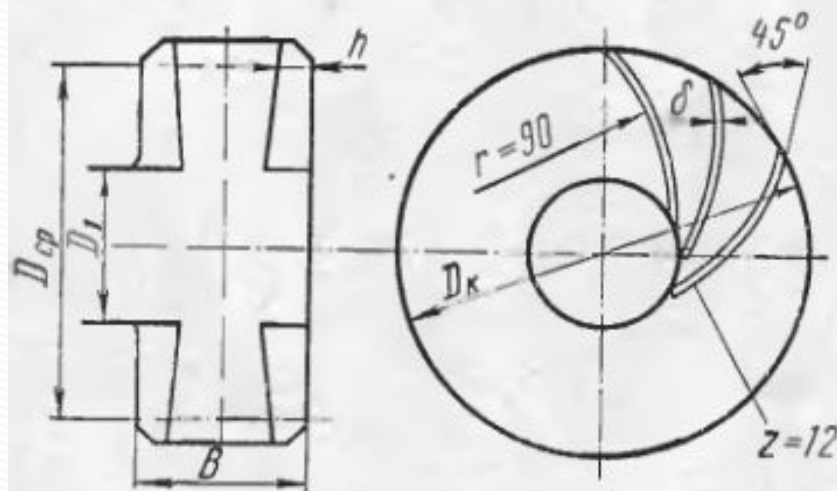


Рис. 10. Геометрия корпуса № 3

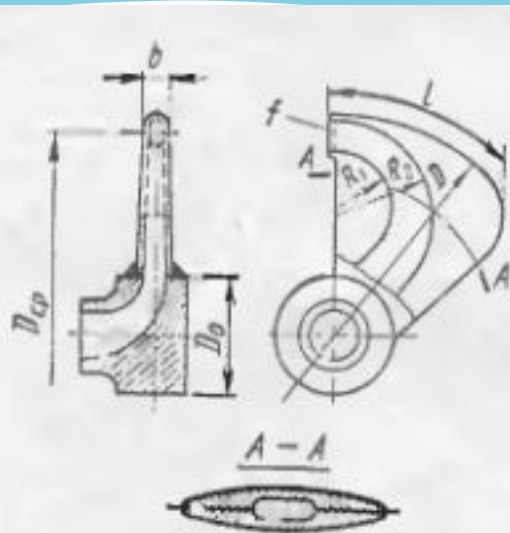


Рис. 11. Черпаки профилеобразного типа № 1; 2; 6; 9

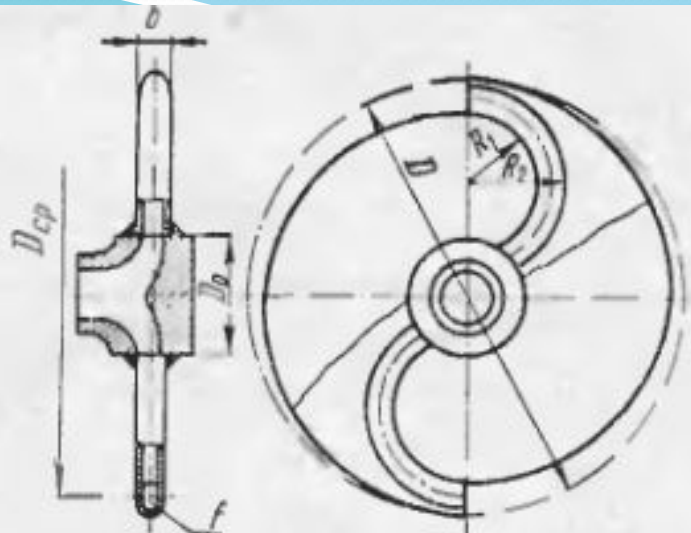


Рис. 13. Черпак № 4 дисковый симметричный

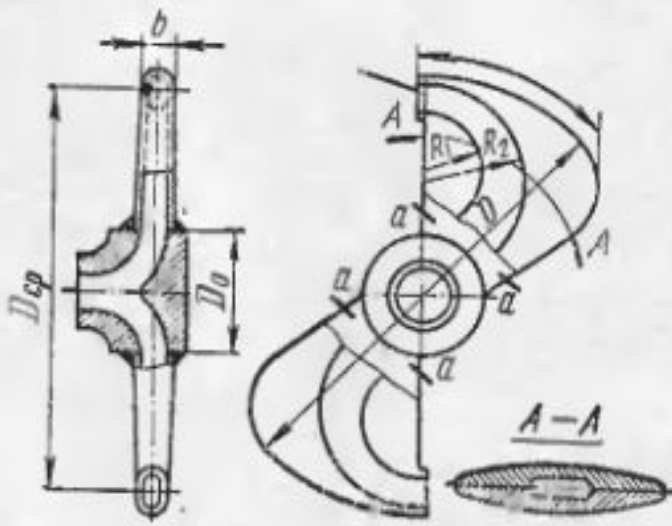


Рис. 12. Черпак № 3 симметричный с отъемными в плоскостях $a-a$ профилями и регулируемым D_{cp}

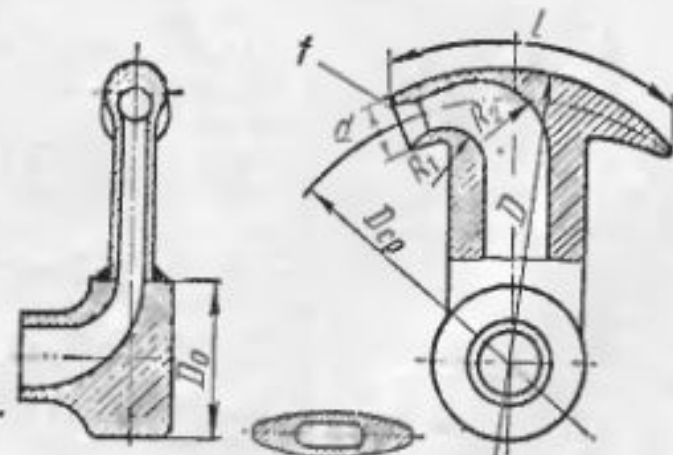
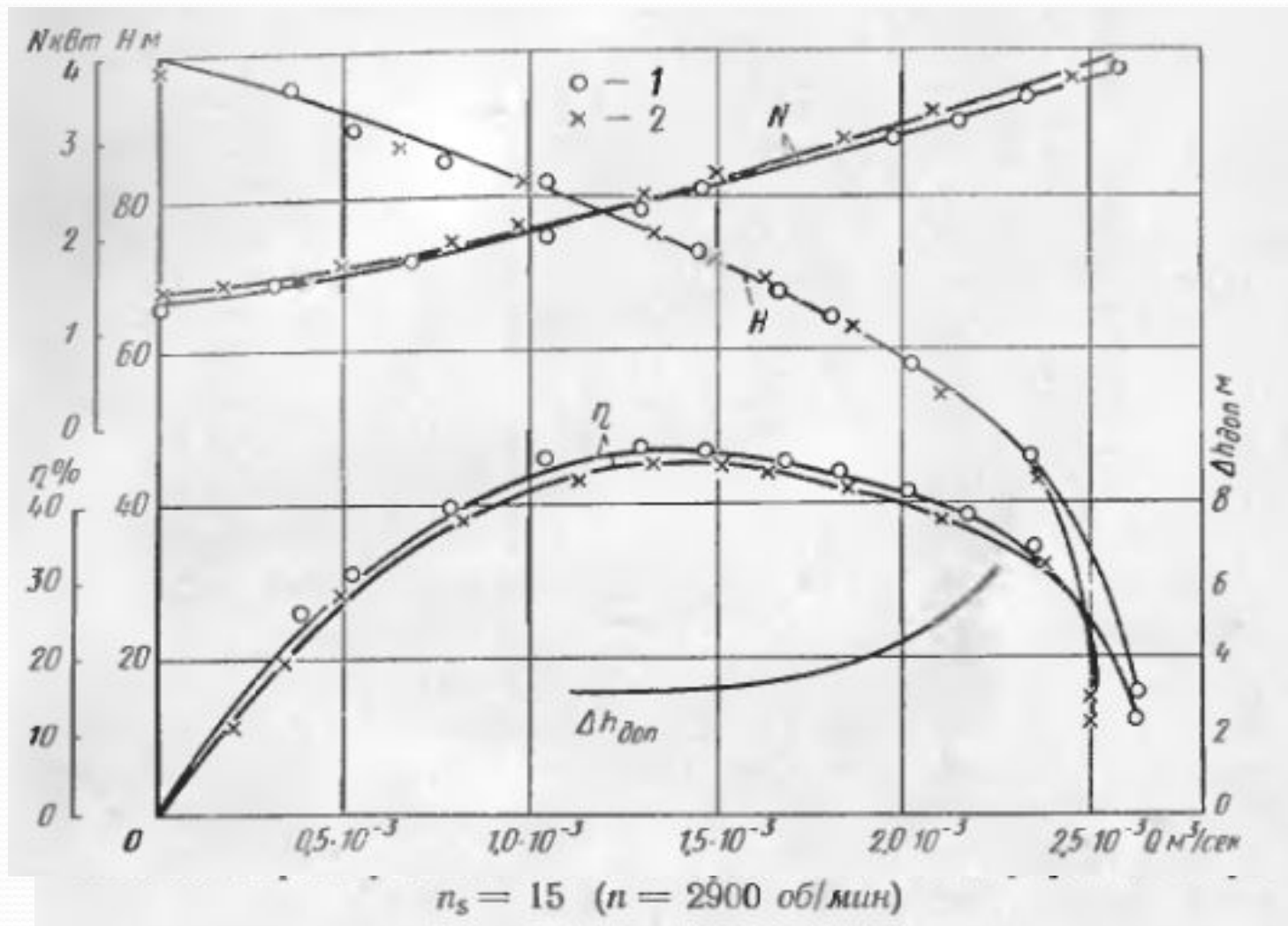


Рис. 14. Сигарообразные черпаки № 5; 7; 8

насоса



- Характеристика $Q—H$ насоса — круто падающая кривая с почти вертикальным участком в области Q_{\max} , а $Q—N$ — возрастающая кривая.
- Наибольший напор насоса соответствует нулевому расходу перекачиваемой жидкости.
- Падение напора с ростом расхода насоса вызвано уменьшением окружной скорости жидкости u во вращающемся корпусе и увеличением потерь на сопротивление в отводном канале.
- Характеристика $Q—H$ черпакового насоса близка к прямой и по своей форме аналогична подобной характеристике центробежного насоса низкой быстроходности.
- Повышение мощности с ростом расхода Q насоса связано с увеличением разности окружных скоростей жидкости и u стенок вращающегося корпуса u_k .
- Кривая КПД черпакового насоса имеет максимум при $Q = 0,5Q_{\max}$.

насоса

Формула для теоретического напора черпакового насоса примет вид

$$H_T = \frac{\omega_k \omega r_{cp}^2}{g}. \quad (11)$$

r_{cp} — расстояние от оси вращения до центра входного отверстия отводного канала;

ω_k — угловая скорость стенок вращающегося корпуса.

ω — угловая скорость жидкости;

Действительный напор, развиваемый насосом, меньше теоретического на величину гидравлических потерь в корпусе и отводном канале черпака.

Разность энергий на выходе и на входе в насос представляет собой его напор

$$H = k_H \frac{(\omega r_{cp})^2}{g} - \frac{aQ^2}{f^2 \cdot 2g}, \quad (14)$$

где H — действительный напор, развиваемый насосом, в м;

k_H — коэффициент напора, зависящий от стеснения потока черпаком;
 f — площадь входа в отводной канал;
 a — суммарный коэффициент потерь в отводном канале.

Для определения k_H и a имеются экспериментальные зависимости от геометрических параметров насоса и расхода.

Баланс энергии насоса

Суммарная величина механических потерь в уплотнении манжетного типа, в подшипниках опорной стойки и потери трения вращающегося корпуса о воздух (вентиляционные потери) определяются по формуле

$$N_{м.п} = \frac{n(P - P_{х.х})}{26\,700} \text{ квт}, \quad (32)$$

где n — скорость вращения вала в об/мин;
 P — нагрузка на чашке весов при включенном насосе, не заполненном водой, в н;
 $P_{х.х}$ — нагрузка на чашке весов при холостом ходе двигателя в н.

Внутренняя мощность N определяется по той же формуле, но P здесь соответствует навеске на чашке весов при работающем насосе, заполненном водой, а $P_{х.х}$ — холостому ходу насоса и двигателя.

гидравлическая мощность насоса

$$N_e = \frac{QH_T\gamma}{1000} \text{ кВт}; \quad (34)$$

потери мощности на гидравлические сопротивления

$$N_{г.с} = \frac{Q(H_T - H)\gamma}{1000} \text{ кВт}; \quad (35)$$

потери мощности на профильное сопротивление

$$N_{пр} = N - N_e \text{ кВт}; \quad (36)$$

полезная мощность насоса

$$N_n = \frac{QH\gamma}{1000} \text{ кВт}. \quad (37)$$

Гидравлический и механический к. п. д. определяются по формулам

$$\eta_e = \frac{H}{H_T}; \quad (38)$$

$$\eta_m = \frac{N - N_{np}}{N} \quad (39)$$

Объемный к. п. д. $\eta_o = 1$, так как внутренних утечек нет, а утечка наружу через манжетное уплотнение очень мала. Полезный к. п. д.

$$\eta = \frac{N_n}{N}; \quad \eta = \eta_e \eta_m, \quad (40)$$

где N — величина подводимой мощности без учета потерь в уплотнении и подшипниках.

- В таблице приведены оптимальные значения КПД для насосов трех быстроходностей.
- Основными в черпаковых насосах являются механические потери.
- Большая часть механических потерь (около 70%) получается при обтекании участка входа в отводной канал.
Уменьшить их очень трудно, поскольку они обусловлены необходимостью отвода жидкости из вращающегося корпуса.
- Примерно 30% механических потерь получаются от трения жидкости на обтекаемом участке профиля.

Номер корпуса и черпака	Коэффициент быстроходности n_s	Механический к. п. д.	Гидравлический к. п. д.	Общий к. п. д.
Корпус № 3, черпак № 7 (сигарообразный)	10	0,485	0,74	0,36
Корпус № 1, черпак № 1	15	0,575	0,79	0,45
Корпус № 2, черпак № 9	20	0,68	0,72	0,49
Корпус № 3, черпак № 5 (сигарообразный)	20	0,54	0,78	0,42

- Механические потери в черпаковом насосе составляют 26—51 % от потребляемой мощности и зависят в основном от формы черпака, чистоты обработки его внешней поверхности и геометрических соотношений
- Гидравлические потери составляют примерно 11—18% от потребляемой мощности. Эти потери получаются во вращающемся корпусе и в отводном канале. Они зависят от формы отводного канала, чистоты его обработки, геометрических соотношений.

Результаты подсчета для насоса с коэффициентом быстроходности 15 (черпак № 1, корпус № 1) приведены в табл. 12.

Таблица 12

Q в $\text{м}^3/\text{сек}$	H в м	H_T в м	H_3 в м	η_e	$\eta_{отв}$	$\eta_{в.к}$
0	98,5	98,5	98	1	1	1
$0,5 \cdot 10^{-3}$	91	95,5	95	0,95	0,96	0,99
$1 \cdot 10^{-3}$	82,5	93,5	92	0,885	0,895	0,985
$1,5 \cdot 10^{-3}$	72	91,5	88	0,79	0,82	0,96
$2 \cdot 10^{-3}$	58	90	85	0,645	0,68	0,945
$2,5 \cdot 10^{-3}$	27,5	89	83	0,31	0,33	0,93

$\eta_{отв}$ — гидравлический к. п. д. отводного канала;

$\eta_{в.к}$ — гидравлический к. п. д. вращающегося корпуса;

H — действительный напор насоса;

H_T — теоретический напор;

H_3 — напор на входе в отводной канал; $H_3 =$

$$= k_H \frac{(\omega r_{cp})^2}{g}.$$

- Основная доля гидравлических потерь приходится на отводной канал. Так, для оптимального режима работы насоса ($Q = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$) в отводе теряется 0,17 Нт и 0,05 Нт во вращающемся корпусе.
- Лучшая форма отводного канала была получена в сигарообразном черпаке, в котором гидравлические потери на трение составили 0,12 Нт.
- Существенным преимуществом черпакового насоса по сравнению с центробежным является не только более высокий КПД, но и более высокий напор при одинаковых диаметрах ротора.
- В результате увеличения напора полезная мощность тоже возрастает и потери в черпаковом насосе перераспределяются так, что механическая их составляющая становится меньше, чем в центробежном насосе, а гидравлическая — примерно одинакова.

Кавитация в черпаковых насосах

- В черпаковом насосе кавитация может возникать на входных участках лопаток вращающегося корпуса и на наружной поверхности профиля черпака.
- При этом у черпакового насоса величина мощности в режиме кавитации не изменяется, а в центробежном она уменьшается.
- Уменьшение давления на входных участках лопаток происходит в результате скачкообразного увеличения окружной скорости жидкости, поступающей на лопатку.
- Кавитация начинается при уменьшении давления на лопатках до величины давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости.
- Входные участки лопаток заполняются паровыми кавернами, в связи с чем в этой области уменьшаются интенсивность обмена количеством движения (импульсом) и окружная скорость жидкости в межлопаточном зазоре и напор насоса падает.