

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОРОДСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ А.Н. БЕКЕТОВА**

**КАФЕДРА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ И ОЧИСТКИ  
ВОД**

**ДИСЦИПЛИНА: «НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ»**

**ЛЕКЦИЯ № 3**

**«КАВИТАЦИЯ В ПОТОКЕ ДВИЖУЩЕЙСЯ  
ЧЕРЕЗ НАСОС ЖИДКОСТИ.  
ЗАКОНЫ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ»**

**Преподаватель:**

**доц. Шевченко Тамара Александровна**

**Харьков - 2014**

## *ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕКЦИИ:*

- Кавитация в потоке. Определение необходимого напора работающего насоса.
- Потери энергии в ЦН. КПД насоса.
- Рабочие характеристики ЦН.
- Закон пропорциональности. Перерасчет характеристик на другие обороты.
- Расчет диаметра подрезки рабочего колеса ЦН.
- Запуск ЦН. Оборудование для запуска.

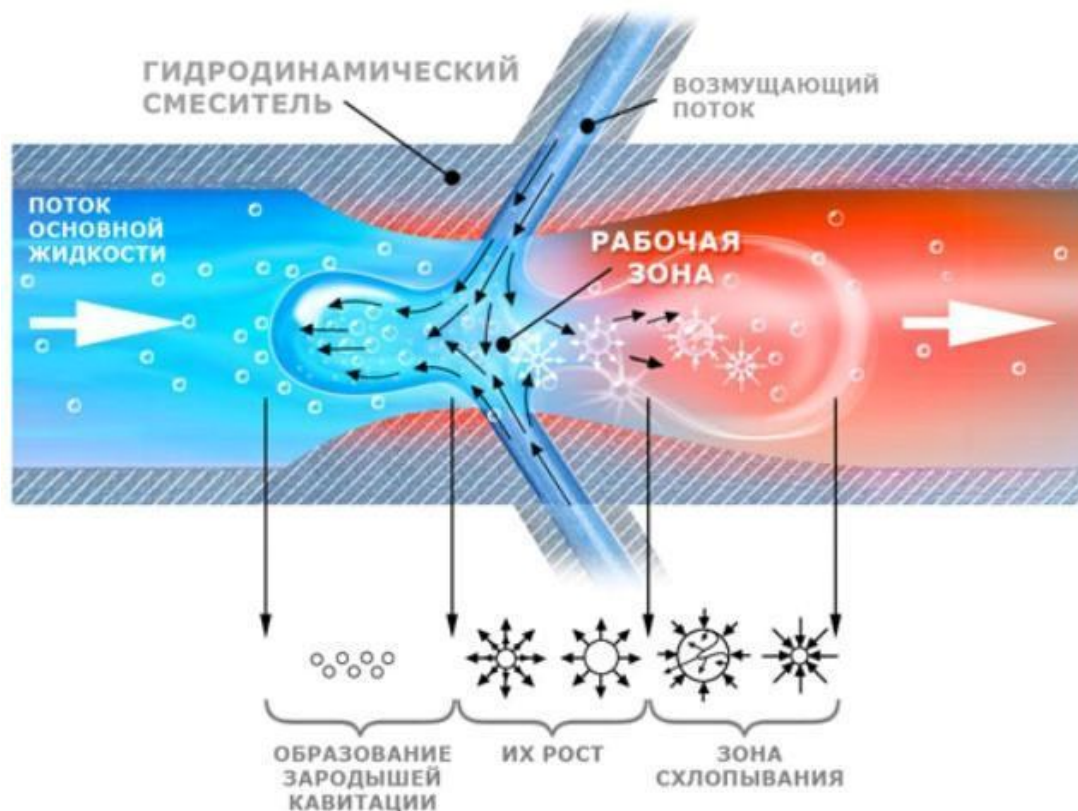


## ***КАВИТАЦИЯ В ПОТОКЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО НАПОРА РАБОТАЮЩЕГО НАСОСА.***

- ▣ **Кавитация** - это процесс нарушения сплошности потока жидкости в тех местах, где давление, снижаясь, достигает некоторой критической величины. При практических расчетах за эту критическую величину принимают давление насыщенного пара жидкости при данной температуре.



*Рис. 1. Кавитация улитки после года работы насоса.*



Кавитация представляет собой сложный комплекс следующих явлений:

- ❖ *выделение пара и растворенных газов из жидкости* в тех областях, где давление жидкости равно или меньше давления насыщенных паров ее.
- ❖ *местное повышение скорости движения жидкости* в том месте, где возникло парообразование, и беспорядочное движение жидкости.
- ❖ *конденсация пузырьков пара*, увлеченных потоком жидкости в область повышенного давления. Многократно повторяющиеся механические воздействия при конденсации пузырьков вызывают механический процесс разрушения материала колеса, что является наиболее опасным следствием кавитации.
- ❖ *химическое разрушение металла в зоне кавитации кислородом воздуха*, выделившегося из жидкости при прохождении ее в зонах пониженного давления. Этот процесс носит название *коррозии*.

□ Кавитация, может происходить не только в рабочем колесе, но и в направляющем аппарате или в спирали, хотя здесь она наблюдается сравнительно редко.

□ Явления кавитации сопровождаются характерным потрескиванием в области всасывания, шумом и вибрацией насоса.



## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАВИТАЦИИ В НАСОСАХ

Виды кавитации	Причины возникновения
<i>Внутренняя рециркуляция</i>	<i>Наличие на напорной стороне насоса прикрытой задвижки, засоренного фильтра, давления со стороны системы выше расчетного. Насос работает в точке, левее оптимальной зоны</i>
<i>Возмущение в поточной части</i>	<i>Рабочее колесо завышенного размера. Использование несоответствующих деталей, установленных при ремонте</i>
<i>Засасывание воздуха</i>	<i>Неподходящее уплотнение вала. Повышенные скорости потока во всасывающей линии. Несоосность, несоответствие фланцев</i>
<i>Турбулентность</i>	<i>Проектом заложены несоответствующие техническим требованиям линия всасывания, приемный резервуар, обвязка</i>
<i>Парообразование</i>	<i>Несоответствия по кавитационному запасу. На всасывающей стороне есть прикрытая задвижка, засоренный фильтр. Всасывание происходит с недостаточной глубины</i>

Каждый насос характеризуется величиной **кавитационного запаса** (обозначаемой западными насосными фирмами **NPSHR**) - это минимальное давление, в пределах которого у жидкости, попадающей в насос, сохраняется однофазное состояние, т.е. состояние собственно жидкости. Номинальное значение и кривую зависимости от подачи/напора обязан предоставлять производитель насоса.

Кавитационный запас **не поддается контролю с точки зрения механики**, и оператор насосной станции улавливает по металлическому шуму и щелчками развившуюся кавитацию.

Для того чтобы правильно устранить кавитацию, нужно использовать принцип – **на входе в насос должно всегда быть жидкости больше, чем на выходе**. Вот несколько простых способов как этого достичь:

- *заменить диаметр всасывающего патрубка на больший;*
- *переместить насос ближе к питающему резервуару, но не ближе 5-10 диаметров всасывающей трубы;*
- *понизить сопротивление во всасывающей трубе заменой ее материала на менее шероховатый, задвижки на шиберную, характеризующуюся меньшими потерями, удалением обратного клапана;*
- *если всасывающая труба имеет повороты, уменьшить их количество или заменить отводы малых на большие радиусы поворота, сориентировав их в одной плоскости;*
- *увеличить давление на всасывающей стороне насоса повышением уровня в питающем резервуаре либо снижением оси установки насоса, либо использованием бустерного насоса.*

**Вибрация** возникает от работы вращающихся частей агрегата и, хотя устранить ее невозможно, нужно знать, как поддерживать вибрацию на приемлемом уровне.

Основной причиной вибрации является пульсация давления в проточной части насоса. Особенно большие нагрузки испытывают те узлы и элементы, где поток создает переменные по направлению силы воздействия.

В насосной станции для поддержания вибрации на приемлемом уровне агрегаты необходимо устанавливать с учетом следующих правил:

- Все части системы должны быть достаточно прочными и жестко закрепленными, чтобы собственные колебания имели частоты ниже наименьшей естественной частоты колебаний системы.
- Насос должен быть изолирован от конструкции станции, поэтому основание агрегата должно иметь массу, более чем вдвое превышающую массу его вращающихся частей.
- Трубопроводы должны прочно крепиться с помощью анкерных болтов и гибких опор к полу и, по возможности, к стенам станции.
- Тяжелые элементы системы должны быть закреплены с помощью дополнительных опор.
- Рекомендуется на напорной стороне насоса устанавливать переход на больший диаметр, что снижает скорость жидкости и потери на трение. Обратный клапан и за ним задвижка монтируются после диффузора.
- Участок трубы между опорами должен быть меньше 70% критической длины трубы.

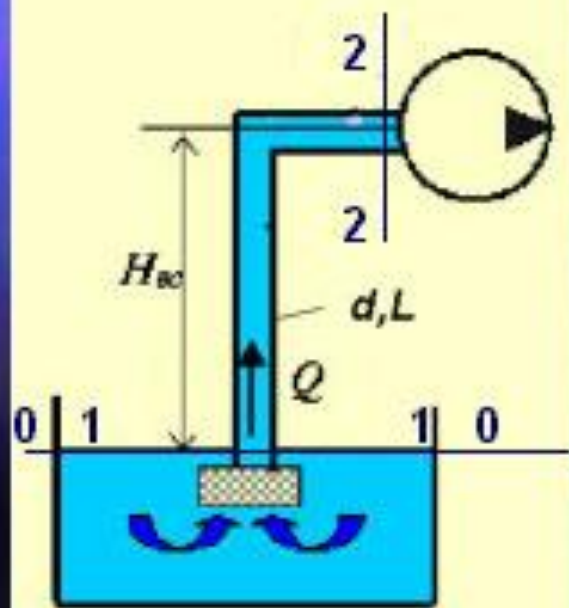
## Кавитационный расчет всасывающей линии

$$\frac{p_{atm} - p_{н.п.}}{\rho g} - H_{вс} = \left( \lambda \frac{L}{d} + \sum \xi + \alpha_2 \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 \cdot g}$$

Применяем уравнение Бернулли для сеч. 1-1 и 2-2 при  $p_2 = p_{н.п.}$

### Задачи расчета

1. Определение максимальной высоты подъёма  $(H_{вс})_{max}$
2. Определение максимального расхода  $Q_{max}$
3. Определение минимального диаметра трубопровода  $d_{min}$





# Расчет величины кавитационного запаса (геометрической высоты всасывания)

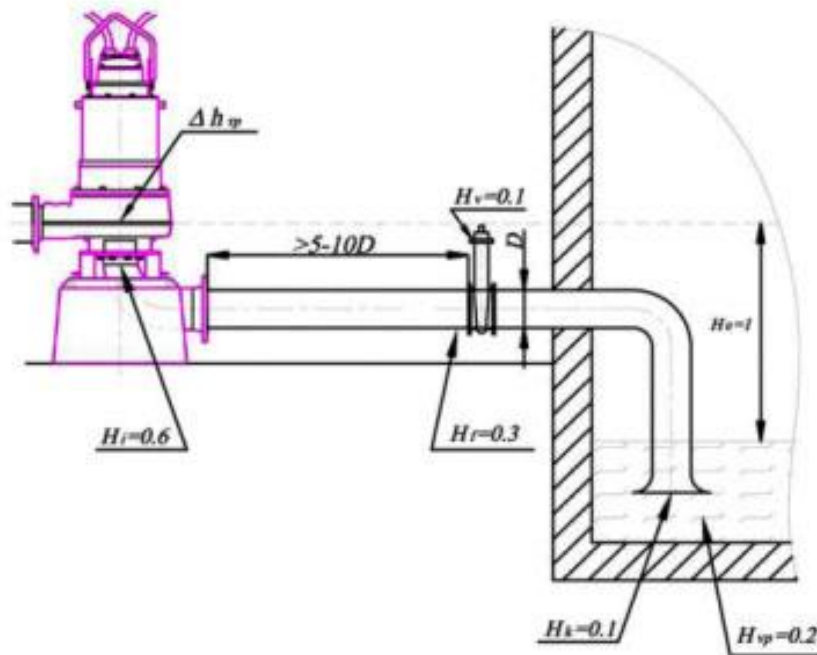


Рис. 2. Расчет геометрической высоты всасывания  $H_{0\text{г}}$

$$\Delta h_{\text{дон}} = H_a + H_s - H_{vp} - H_f - H_i,$$

где:  $H_a$  - атмосферное давление (10 м водного столба на уровне моря);

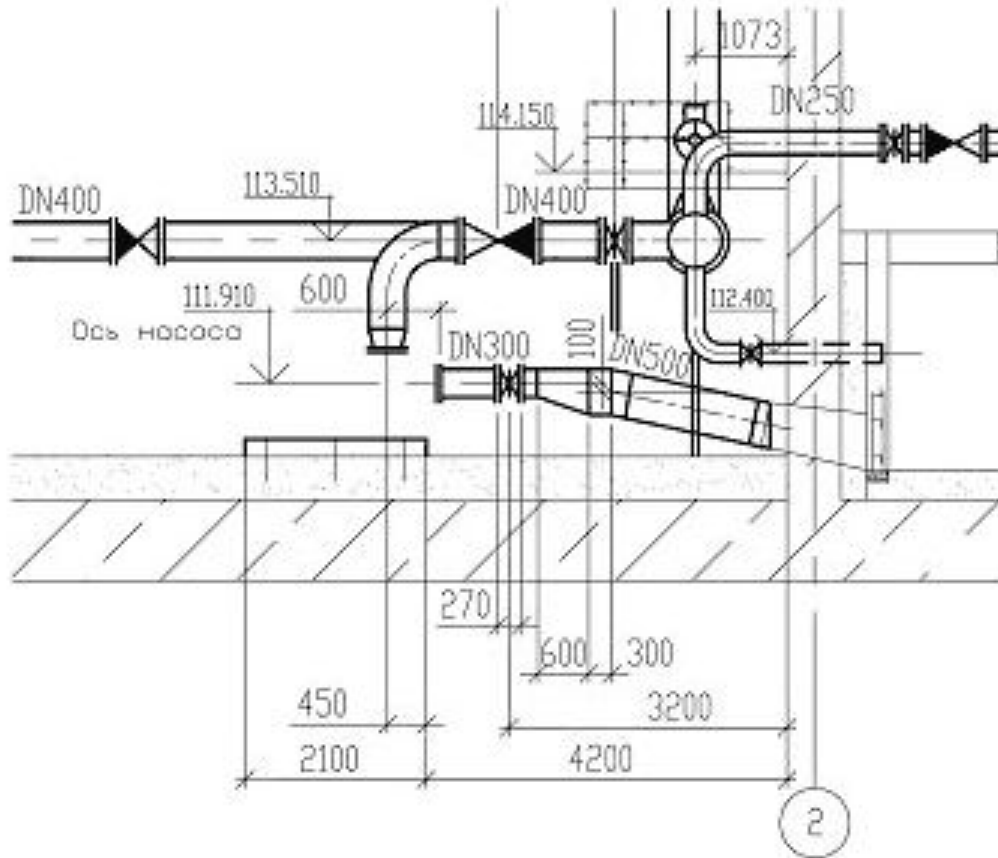
$H_s$  - статический напор (положительный или отрицательный), определяемый как разность уровней между свободной поверхностью жидкости и осью насоса, м;

$H_{vp}$  - давление паров перекачиваемой жидкости, зависящее от температуры, м;

$H_f$  - потери на трение во всасывающей линии, м;

$H_i$  - потери в пространстве между горловиной и головкой рабочего колеса насоса (если неизвестны, можно принять равными 0,6 м).

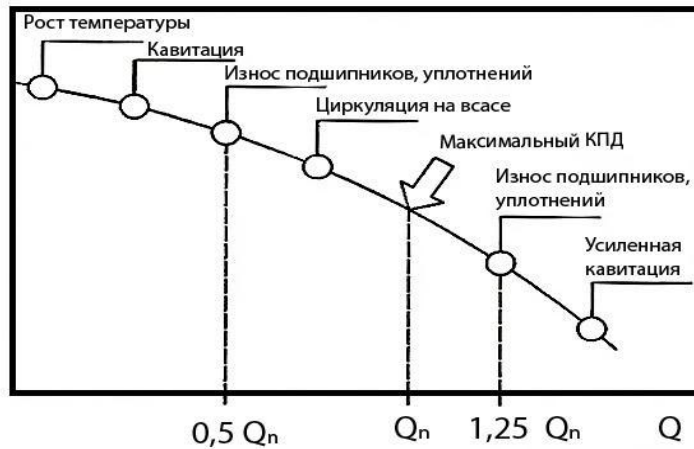
## Пример неверной обвязки насос насоса: Диаметр всасывающего патрубка меньше чем напорного.



Проект, выполненный авторитетной, проектной организацией и оказалось, что насосы с подачей  $1400 \text{ м}^3/\text{ч}$  оборудованы задвижками (рис.) диаметрами 400 мм с напорной и 300 мм со всасывающей стороны (?)

Оказалось, что патрубки имеют одинаковые диаметры по 300мм. С подходящим под данную подачу всасывающим патрубком  $\text{Ø}400$  или  $\text{Ø}500$  возросли бы размер улитки и цена. Но, если бы проектировщик подсчитал получаемые скорости на входе в насос  $5,5 \text{ м/с}$ , а за насосом  $3,1 \text{ м/с}$ , то смог бы убедить заказчика отказаться от насоса, способного кавитировать, хотя и менее дорогого.

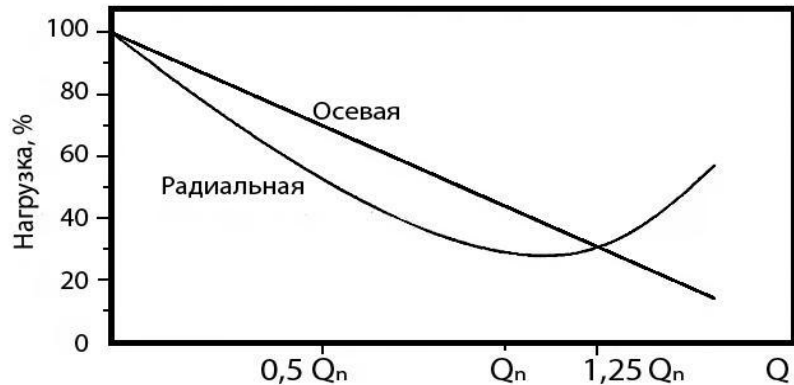
# Работа насоса за пределами зоны оптимума



Работа агрегата в зоне слева от оптимальной точки вызывает:

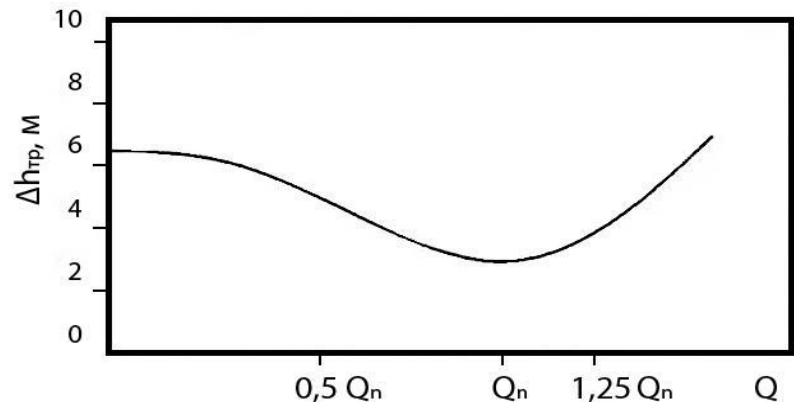
- ❖ **повышение потерь напора в трубопроводе,**
- ❖ **снижение КПД,**
- ❖ **повышение осевых и радиальных сил, рециркуляцию.**

что ускоряет износ агрегата, приводит к нестабильности работы, вибрации, шуму, кавитации.



Работа насоса в зоне справа от оптимальной точки вызывает:

- ✓ **повышение потерь напора в трубопроводе,**
- ✓ **снижение КПД, что подавляет эффективность машины;**
- ✓ **повышение радиальных сил, что ведет к вибрации;**
- ✓ **повышение энергопотребления, иногда выше предела установленной мощности электродвигателя, что приводит к перегреванию и выводу его из строя**



Наиболее распространенная причина отклонения рабочих параметров насосов от расчетных – выбор агрегатов с «запасом» по напору и подаче.

# Потери энергии в ЦН. КПД насоса.

ПД  
нас  
оса  
учи  
ты  
вае  
т

К

$$\eta = \eta_{гидр} \cdot \eta_{об} \cdot \eta_{мех}$$

- ❖ **Гидравлические потери** в насосе на всем участке движения перекачиваемое жидкости от входа в насос до выхода из него складываются из **потерь на трение** жидкости о направляющие ее поверхности и **вихревых потерь**. Первые потери зависят от шероховатости стенок и размеров проточной части. Возникновение вихревых потерь зависит от многих факторов. Особенно большие вихревые потери возникают при резком повороте потока и внезапном расширении сечения. Значительные вихревые потери возникают также при отрыве потока от входных кромок лопастей колес на режимах работы насоса, отличающихся от расчетного. Гидравлические потери оцениваются гидравлическим КПД.
- ❖ **Объемные потери** обусловлены внутренним перетеканием жидкости через зазоры между вращающимся рабочим колесом и неподвижными деталями корпуса насоса из области высокого давления в область низкого давления.
- ❖ **Механические потери** вызываются трением, связанным с вращением вала и рабочего колеса насоса. К ним относятся потери в подшипниках и сальниках и так называемые дисковые потери, возникающие в результате трения вращающихся частей о жидкость.

эне  
рги  
и

# Рабочие характеристики ЦН.



## Насос Varisco ST-R8 F10

Производитель: [Varisco](#)

Тип: самовсасывающий центробежный насос для шлама и сточных вод

Страна производитель: Италия

Материал корпуса: ковкий чугун (EN 1563)

Диаметр патрубков (дюймы): 8"

Диаметр патрубков (мм): 200 мм

Включения: 76 мм

Максимальная производительность: 600 м.куб. в час

Минимальная производительность: 55 м.куб. в час

Максимальный напор: 34 м

Минимальный напор: 2 м

Материал импеллера: нержавеющая сталь (ASTM A351)

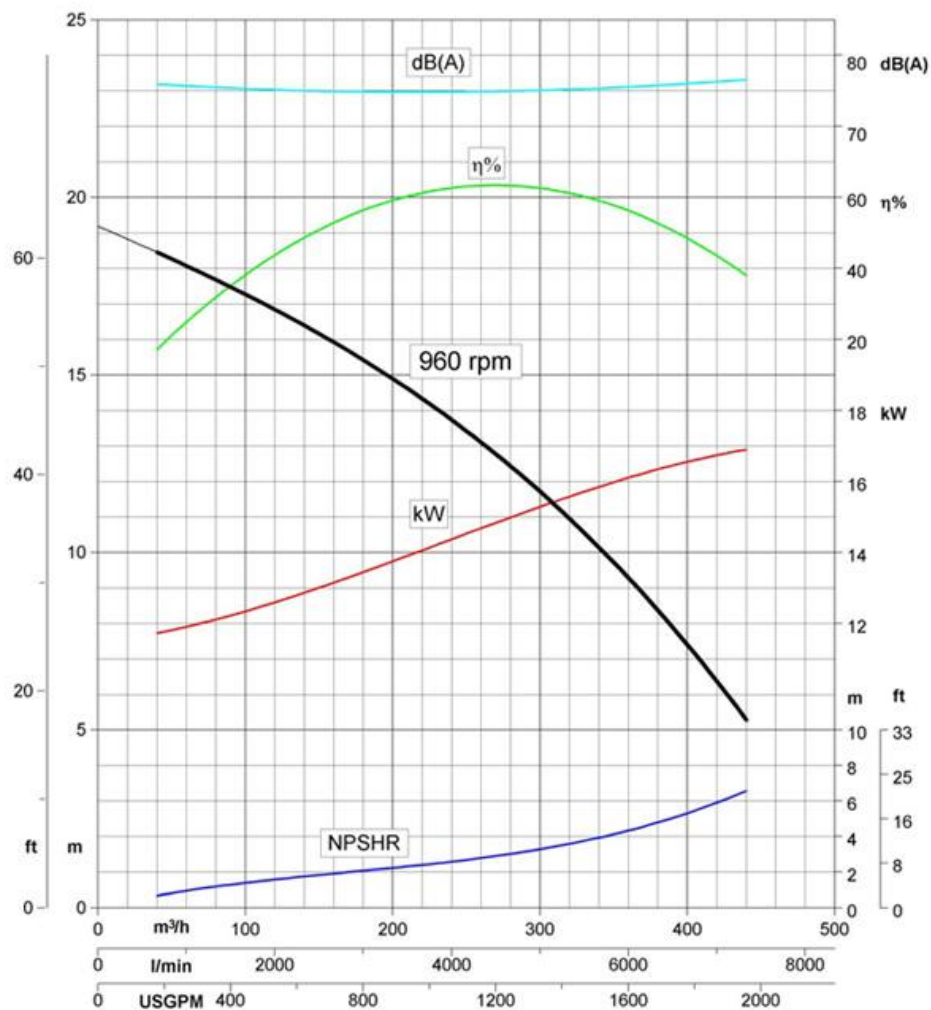
Материал режущей поверхности: чугун (EN 1561)

Материал вала: нержавеющая сталь (SAF 2507)

Глубина самовсасывания: 6,3 м

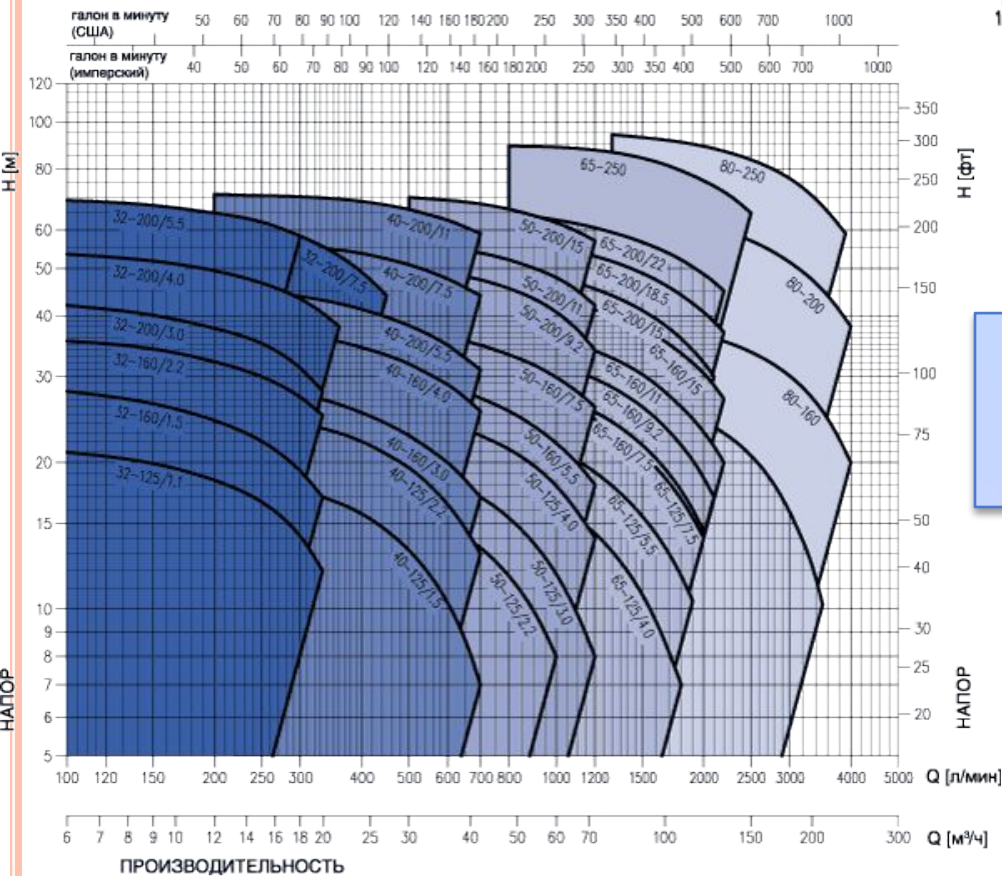
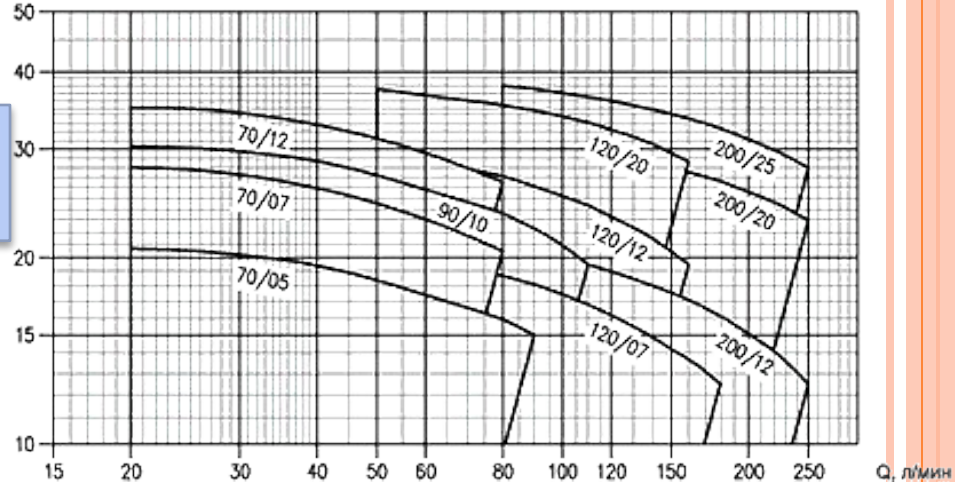
Частота вращения вала: 650 - 1350 об / мин

Вес: 560 кг



*Рабочие характеристики  
центробежных насосов CD*

H, м



*Рабочие характеристики  
центробежного насоса EBARA  
серии 3M*



# Закон пропорциональности.

## Перерасчет характеристик на другие обороты.

В условиях производства часто возникает необходимость в определении характеристик насосов при частотах вращения, которые отличаются от номинальной (в техническом паспорте насоса). Для расчетов в таких случаях пользуются формулами перерасчета. В этом случае  $D = \text{const}$  и формулы перерасчета принимают вид:

$$\frac{H_{\text{натури}}}{H_{\text{моделі}}} = \left( \frac{n_{\text{натури}}}{n_{\text{моделі}}} \right)^2 \left( \frac{D_{\text{натури}}}{D_{\text{моделі}}} \right)^2$$

$$\frac{Q_{\text{натури}}}{Q_{\text{моделі}}} = \frac{n_{\text{натури}}}{n_{\text{моделі}}} \left( \frac{D_{\text{натури}}}{D_{\text{моделі}}} \right)^3$$

$$\frac{N_{\text{натури}}}{N_{\text{моделі}}} = \left( \frac{n_{\text{натури}}}{n_{\text{моделі}}} \right)^3 \left( \frac{D_{\text{натури}}}{D_{\text{моделі}}} \right)^5$$



$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1};$$

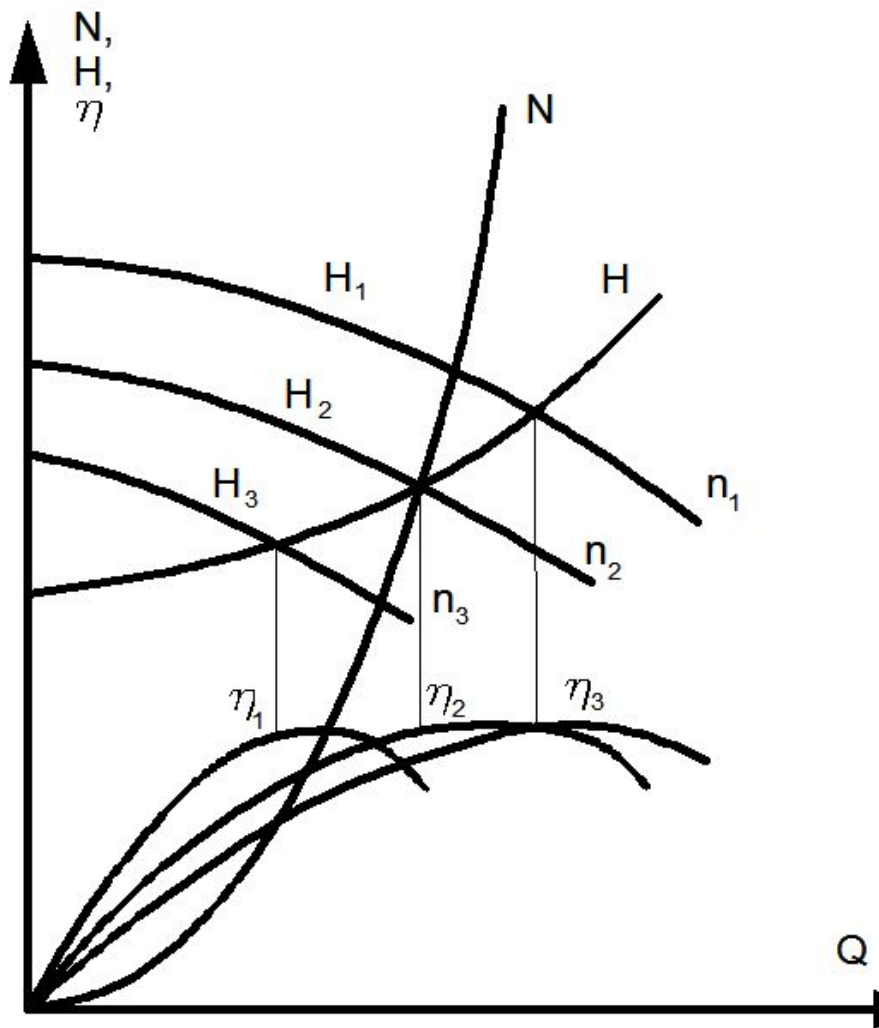
$$\frac{H}{H_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^2;$$

$$\frac{N}{N_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^3;$$

Эти зависимости называют **законом пропорциональности**



## Регулирование изменением частоты вращения насоса



Осуществимо при наличии приводных двигателей с регулируемой частотой вращения.

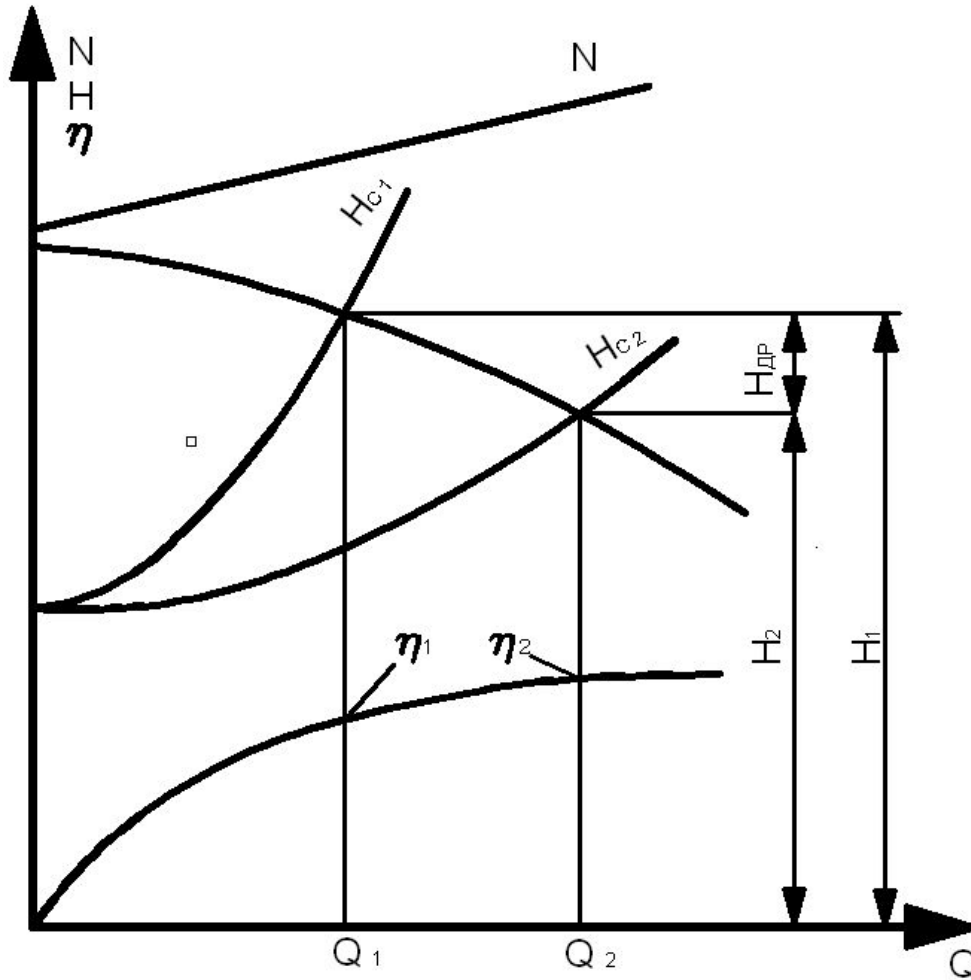
При изменении частоты вращения рабочая точка ( $H=H_c$ ), перемещаясь по характеристике сети, дает различные подачи, отвечающие различным характеристикам насоса или  $n=\text{const}$  (рис.).

Данный метод не приводит к большим дополнительным гидравлическим потерям, особенно при крутой характеристике сети, поэтому КПД установки при различных частотах приблизительно равны.





## Расчет диаметра подрезки рабочего колеса ЦН.



Дросселирование — наиболее простой и надежный способ регулирования насосов, осуществляемый запорным органом-дросселем (задвижкой, вентилем и др.), расположенным на напорной линии (задвижка).

При закрытии дросселя происходит увеличение сопротивления сети ( $H_c$ ), в результате характеристика насосной установки пойдет круче ( $H_{c1}$ ). При этом режиме напор насоса  $H_1$  складывается из напора  $H_2$ , расходуемого в установке при эксплуатации с полностью открытой задвижкой, и потери напора в задвижке  $H_{ДР}$ . Каждому положению дросселя отвечает своя характеристика сети.

Регулирование работы насоса дросселированием вызывает дополнительные потери энергии, снижающие КПД установки. Поэтому этот способ регулирования не экономичен. Однако благодаря исключительной простоте регулирования дросселированием получило наибольшее распространение.

$$\frac{Q_{обт}}{Q} = \frac{D_{обт}}{D}$$

$$\frac{H_{обт}}{H} = \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^2$$

$$\frac{N_{обт}}{N} = \left( \frac{D_{обт}}{D} \right)^3$$

Формулы подобия при обточке  
рабочего колеса ЦН

В зависимости от коэффициента быстроходности наибольшая обточка рабочего колеса не должна превышать такие значения:

При  $n_s < 120$

$$\frac{D - D_{обт}}{D} 100 \leq 15 \div 20\%$$

При  $200 < n_s < 300$

$$\frac{D - D_{обт}}{D} 100 \leq 11 \div 15\%$$

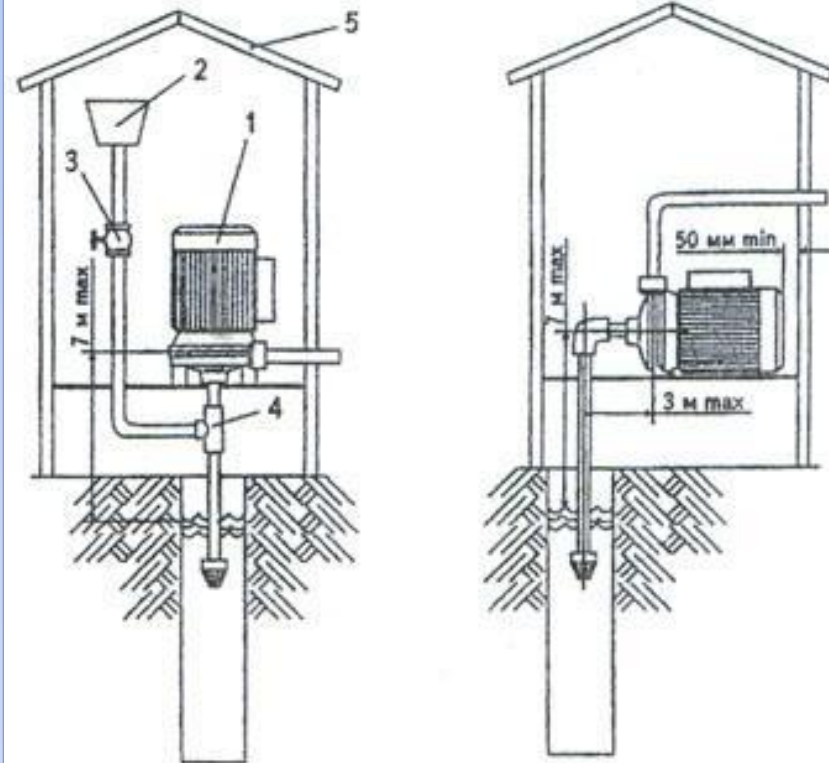
При  $120 < n_s < 200$

$$\frac{D - D_{обт}}{D} 100 \leq 7 \div 11\%$$

# Запуск ЦН. Оборудование для запуска

## Подготовка к работе центробежных насосов и порядок работы

- ✓ Рабочее положение ЦН горизонтальное или вертикальное.
- ✓ Для повышения удобства пользования насосом целесообразно установить систему водоснабжения по рекомендуемой схеме (см. рис.).
- ✓ Перед установкой насоса произвести пробный запуск на 5-10 секунд, затем прикрепить его к основанию с помощью болтов.
- ✓ Главное условие успешного запуска и работы насоса — обеспечение герметичности всех стыкующихся элементов на всасывании.
- ✓ При установке насоса над водой необходимо иметь в виду, что расстояние от уровня воды до насоса не должно превышать 7 м.



Вертикальный

Горизонтальный

Схема установки электронасоса над поверхностью воды

- |                   |              |
|-------------------|--------------|
| 1 – электронасос, | 4 – тройник, |
| 2 – воронка,      | 5 – навес.   |
| 3 – вентиль,      |              |

- ✓ В случае установки насоса не над водоемом, а в некотором удалении расстояние от заборного патрубка до электронасоса по горизонтали не должно превышать 3 м.
- ✓ Запуск насоса может быть осуществлен только при условии полного заполнения водой всасывающего трубопровода и насосной части. Для этого при горизонтальном расположении насоса используют заливное отверстие. Воду заливают до прекращения выделения пузырьков воздуха и закручивают пробку.
- ✓ Наибольший эффект по экономии электроэнергии достигается при объемной подаче от 0,6 до 1,0 номинальной, что достигается при максимальном напоре или частичным перекрытием вентиля в нагнетающем трубопроводе.



# Способы заливки насосов

## Способы заливки ЦН

из напорного трубопровода

Заливка насоса из напорного трубопровода возможна при наличии на всасывающей линии приемного клапана. Заливку необходимо продолжать до тех пор, пока из воздушного крана насоса не польется вода.

путем отсасывания воздуха вакуум-насосом или струйным насосом

Заливку насоса путем отсасывания воздуха струйным насосом или вакуум-насосом применяют, как правило, на крупных или автоматизированных насосных станциях.