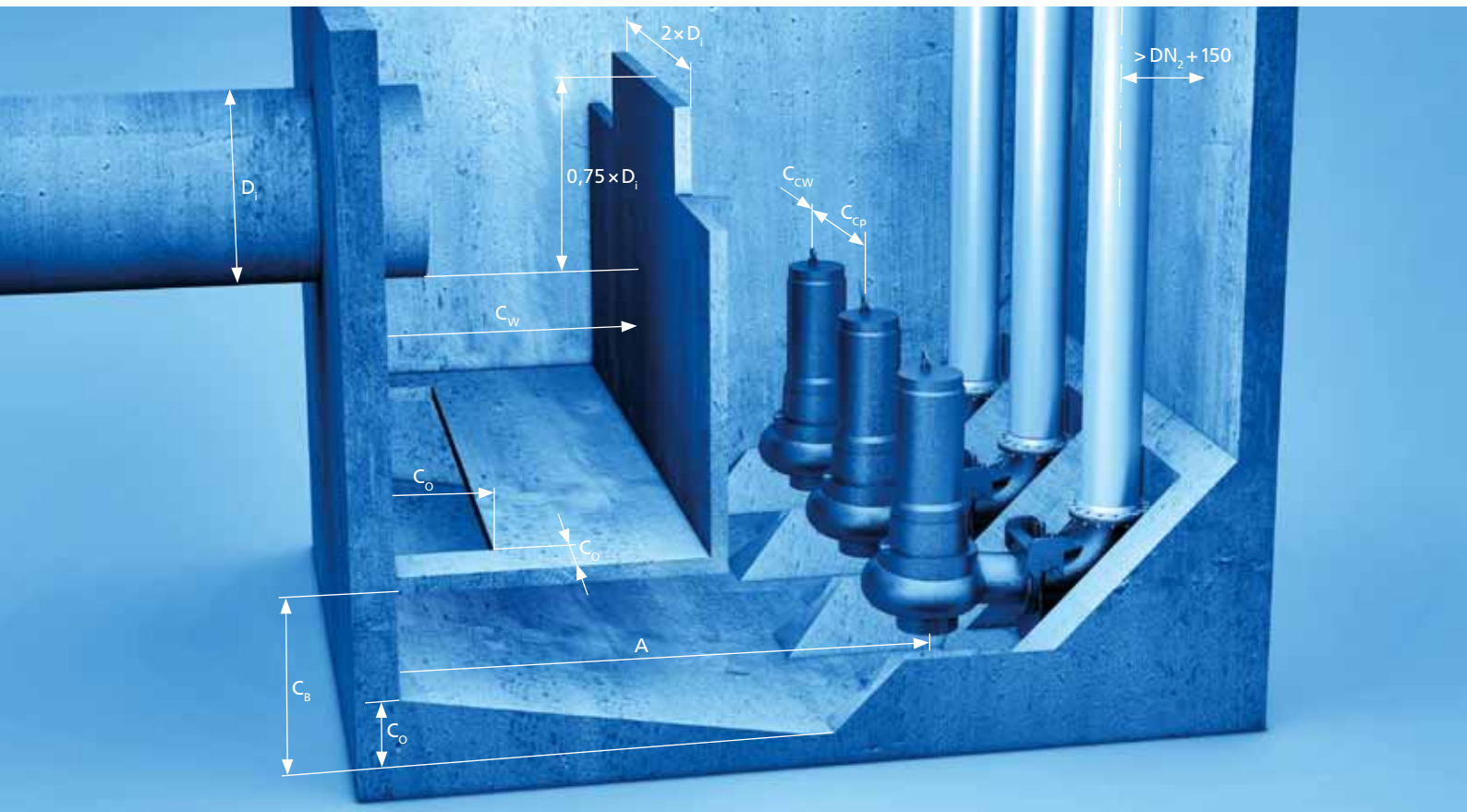


## Рекомендации по проектированию насосных станций с погружными насосами серии Amarex KRT



|   |    |
|---|----|
| Введение  | 3  |
| 1. Общие указания по выбору насоса                                    | 4  |
| 1.1 Планируемые параметры/ данные измерений                           | 4  |
| 1.2 Напор   | 6  |
| 1.3 Кавитационный запас (NPSH)  | 8  |
| 1.4 Потребная мощность  | 10 |
| 1.5 Подача перекачиваемой жидкости                                    | 11 |
| 1.6 Выбор насоса  | 13 |
| 1.6.1 Графические характеристики                                      | 13 |
| 1.6.2 Графические характеристики насоса                               | 15 |
| 1.6.3 Графическая характеристика (кривая) насоса                      | 15 |
| 1.7. Допустимые границы устойчивой работы насосов                     | 16 |
| 1.7.1 Рабочая точка   | 16 |
| 1.7.2. Границы устойчивой работы $Q_{\text{мин}}$ и $Q_{\text{макс}}$ | 16 |
| 1.7.3. Особенности перемещения сточных вод                            | 17 |
| 1.8. Режим эксплуатации насоса  | 19 |
| 1.8.1. Автономная работа  | 19 |
| 1.8.2. Дроссельное регулирование                                      | 19 |
| 1.8.3. Подгока диаметра рабочего колеса                               | 20 |
| 1.8.4. Регулирование частотой вращения                                | 20 |
| 1.9. Параллельная работа насосов одинакового размера                  | 21 |
| 1.10 Параллельная работа насосов разных размеров                      | 22 |
| 1.11 Последовательная работа  | 22 |
| 1.12. Каскадная работа насосов  | 23 |
| 1.13. Концепция насоса «мокрой» установки                             | 24 |
| <br>  |    |
| 2. Оборудование и его размещение                                      | 27 |
| 2.1. Выбор оптимальной геометрии рабочего колеса                      | 27 |
| 2.2. Выбор материала для различного применения                        | 29 |
| 2.3. Уплотнение вала  | 31 |
| 2.4. Ротор и подшипниковая опора                                      | 33 |
| 2.5. Установка  | 34 |
| 3. Общее описание двигателя   | 36 |
| 3.1. Параметры двигателей   | 37 |
| 3.2. Конструкция  | 37 |
| 3.3. Режим работы   | 38 |
| 3.4. Степень защиты   | 38 |
| 3.5. Типы взрывозащиты и температурные классы                         | 38 |
| 3.6. Электрические параметры  | 38 |
| 3.7. Двигатели KRT с преобразователями частоты                        | 40 |
| 3.7.1. Определение параметров преобразователя частоты                 | 40 |
| 3.7.2 . Взрывозащищенные приводы                                      | 40 |
| 3.8. Конструкция двигателя  | 40 |
| 3.9. Охлаждение   | 41 |
| 3.10. Контрольные устройства  | 41 |
| 3.11. Подключение и описание контрольных устройств                    | 44 |

|   |    |
|---|----|
| 3.12. Силовая линия и линия управления с кабельным вводом                             | 48 |
| 3.13. Электрические соединительные кабели   | 49 |
| 3.14. Кабель из тефцеля (Tefzel) (TEHSITE)  | 50 |
| 3.15. Экранированный резиношланговый кабель   | 51 |
| 3.16. Контроль качества и протоколы испытаний   | 52 |
| <br>  |    |
| 4. Трубопроводы и арматура  | 53 |
| 4.1. Планирование прокладки трубопровода  | 53 |
| 4.1.1. Трубопровод  | 53 |
| 4.1.1.1. Расчет   | 53 |
| 4.1.1.2. Траектория трубопровода  | 56 |
| 4.1.1.3 . Крепления и опоры трубопроводов   | 59 |
| 4.1.1.4. Вводы через стену  | 61 |
| 4.1.1.5. Материалы трубопроводов  | 61 |
| 4.1.1.6.Измерительные устройства трубопроводов  | 62 |
| 4.2. Выбор арматуры   | 63 |
| 4.2.1. Предварительные замечания  | 63 |
| 4.2.2. Критерии выбора  | 63 |
| 4.2.2.1. Перекачиваемые среды   | 63 |
| 4.2.2.2. Типы конструкции   | 63 |
| 4.2.2.3. Монтажное положение и направление течения                                    | 64 |
| 4.2.2.4. Материалы  | 64 |
| 4.2.2.5. Номинальный диаметр  | 64 |
| 4.2.3 Таблица выбора «Типы конструкций арматуры<br>в зависимости от вида сточных вод» | 65 |
| 4.2.4. Монтаж   | 66 |
| 4.2.4.1. Монтажное положение  | 66 |
| 4.2.4.2. Расположение при монтаже   | 66 |
| 4.2.4.3. Технические решения для монтажа и демонтажа арматуры                         | 67 |
| <br>  |    |
| 5. Конструкция сооружения   | 69 |
| 5.1. Предварительные замечания  | 69 |
| 5.2 Решетки   | 71 |
| 5.3 Образование плавающей корки в канализационных<br>насосных станциях                | 74 |
| 5.4 Устройство берм (уступов/уклонов) в насосном зумпфе                               | 75 |
| 5.5 Разделители для предотвращения подводного вихря                                   | 77 |
| 5.6 Размеры для зумпфа и монтажа насоса   | 77 |
| 5.7 Зумпфы с высокой загрузенностью грязевыми отложениями                             | 79 |
| 5.8 Необходимость модельных испытаний   | 80 |
| 5.9 Макет   | 81 |
| 5.10 Оценка результатов   | 82 |
| 5.11 Значение CFD-моделирования   | 82 |
| Графики   | 88 |

## Введение

Данная брошюра поможет проектировщикам и специалистам по эксплуатации при выборе, определении параметров и эксплуатации наиболее подходящего погружного электронасоса серии Amarex KRT.

Специалисты компании KSB разработали данные погружные насосы в качестве надежного в эксплуатации, безопасного и энергоэффективного решения для любых задач по перекачиванию сточных и отработанных вод в коммунальном хозяйстве и промышленности. Задача состояла в обеспечении максимальной функциональности благодаря большому выбору материалов, надежным датчикам и универсальным возможностям установки. Особым образом спроектированная проточная часть, обеспечивающая высокий уровень надежности при эксплуатации за счет больших свободных проходов, гарантирует оптимизированное и экономичное перекачивание самых разнообразных сред. Взрывозащита позволяет применять насосы во взрывоопасных зонах. Защита от перегрева

обмотки двигателя, абсолютная герметичность всех кабельных вводов, специальное уплотнение вала и подшипники, рассчитанные на продолжительный срок службы, обеспечивают длительную и бесперебойную эксплуатацию.

## 1. Общие указания по выбору насоса

### 1.1 Планируемые параметры/данные измерений

При проектировании или расчете параметров насоса / насосной станции определение подачи насосов и необходимого напора имеют большое значение. В то время как при определении напора могут возникнуть определенные предположения об уровне ожидаемых потерь, требуемая подача зависит от ряда дополнительных факторов. Эти факторы рассматриваются далее.

#### Подача

Подача (также именуемая 'Объемная подача  $Q$ '), заданная, например, в [л/с] или [ $\text{м}^3/\text{ч}$ ] определяется как полезный объем жидкости, перекачиваемый насосом через напорный патрубок за единицу времени. Внутренние потери, такие как утечки или затворная жидкость, не учитываются при определении полезной подачи. Максимально точное определение необходимой подачи крайне важно для правильного установления габаритов насоса (-ов), а также для разме-

ров насосной станции. Ежедневный приток жидкости к канализационной насосной станции в существенной степени зависит от множества факторов:

- вида водоотводящей сети (общесплавная или раздельная система)
- величины и структуры водосборной площади
- количества зданий, подключенных к канализационной сети (и числа жителей)
- количества и вида подключенных к канализационной сети промышленных и складских зон (учитывается расчетом эквивалентного числа жителей).

Приток вод изображается в виде так называемого ступенчатого графика. Он отражает измеренные / типовые количества сточных вод в течение

В приложении

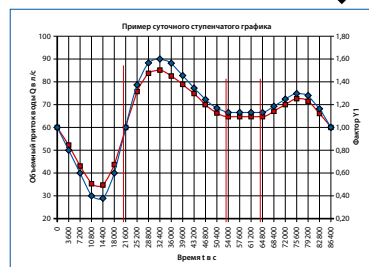


Рис. 1: Пример ступенчатого графика притока сточной воды для математической модели вычислений при подборе насосов

суток см. пример на Рис. 1. Также могут учитываться разница в притоке сточных вод в суточном объеме в рабочие и нерабочие (праздничные или выходные) дни. В дождливый период времени рассчитывается увеличение количества сточной воды. Особое значение это имеет в случае применения общесплавной системы канализации (сточные и дождевые воды направляются в очистные сооружения через общую систему труб).

Ступенчатый график является определяющим при обосновании конструкции насосов, их количества или расположения, а также вида привода насосов (например, постоянная или переменная частота вращения), а также для определения необходимого режима работы (рабочей точки) отдельных агрегатов.

Значительные колебания объема притока сточных вод  $Q$ , приведенные на ступенчатом графике, требуют выполнения расчетов притока воды в указанный период времени. Пример суточного графика, построенного математическим способом на основе уравнения 01, представлен на Рис. 1, причем промежуточные значения определены

дискретно с шагом 20 с. При расчете принимается, что этот суточный график циклически повторяется с момента ввода в эксплуатацию и до окончания срока службы. Величина  $Y1$  является переменной, в зависимости от которой могут меняться значения суточного ступенчатого графика. Величина  $Y1 = 1,5$  соответствует максимальному

значению характеристической кривой суточного графика, на основе которого определяется эквивалентное число жителей по стандарту EN 752-6. Так, например, максимальный объемный приток воды, равный 4 л/с, соответствует в Германии 1000 условных жителей.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{пр}}(t) &= Y1 + \frac{1}{2} \cdot Y1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{21600} \cdot (t-21600)\right) && \text{для } 0 \leq t \leq 54000 \text{ или } t \geq 64800 \\
 Q_{\text{пр}}(t) &= 1,1 \cdot Y1 && \text{для } 54000 < t < 64800
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Для того, чтобы определить расчетную подачу ( $Q_N =$  подача, для которой подбирается и в соответствии с договором заказывается насос с соответствующими параметрами: номинальной частотой

вращения  $n_N$ , номинальным напором  $H_N$  и для указанной перекачиваемой жидкости) насоса по этим данным, следует выполнить расчет на основе графика притока. Исходя из расчета объемного при-

тока воды по уравнению 01, определяют объем сточной воды  $V_{\text{пр}}$ , который поступает в пределах заданного интервала времени. Таким образом,

$$\begin{aligned}
 V_{\text{пр}}(t) &= \frac{\left(Y1 + \frac{1}{2} \cdot Y1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{21600} \cdot (t-21600)\right)\right)}{3600} \cdot dt && \text{для } 0 \leq t \leq 54000 \text{ v } t \geq 64800 \\
 V_{\text{пр}}(t) &= \frac{1,1 \cdot Y1}{3600} \cdot dt && \text{для } 54000 < t < 64800
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Исходя из объема приточной воды  $V_{\text{пр}}$ , равно как и объема подачи насоса  $V_n$ , перемещаемого в течение интервала времени, а также геометрии шахты, можно рассчитать новый уровень воды на основе предыдущего уровня объемов:

$$\text{уровень} = \text{уровень}_{\text{ст}} + \frac{(V_{\text{пр}} - V_n)}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{\text{шахты}}^2}
 \tag{3}$$

В случае изменений объемной подачи насоса  $V_n$  следует соблюдать оба заданных предельных значения – минимального погружения насоса и максимально допустимого

уровня воды в шахте. Далее приведен расчет объема подачи насоса  $V_n$  [1.5]:

$$V_n = \frac{Q}{3600} \cdot dt \quad [1.6]
 \tag{4}$$

## 1.2 Напор

Напор  $H$  насоса (выраженный, например, в [м]) определяется как переданная перекачиваемой жидкости полезная механическая работа, отнесенная к весу перекачанной жидкости, определенному для местного значения ускорения свободного падения.

Плотность  $\rho$  перекачиваемой среды ( $\rho = m / V$  [кг/м<sup>3</sup>], соотношение массы  $m$  к объему  $V$  перекачиваемой жидкости) не влияет на напор центробежного насоса; она влияет исключительно на требуемую мощность на валу насоса.

Кинематическая вязкость  $\nu$  перекачиваемой среды ( $\nu = \eta / \rho$  [м<sup>2</sup>/с] или [сСт], а, следовательно, отношение динамической вязкости или коэффициента пропорциональности  $\eta$  между касательным напряжением и градиентом скорости к плотности  $\rho$  перекачиваемой среды), начиная с определенной величины, влияет на напор, подачу и требуемую мощность насоса. Влияние на исходные данные отмечается только в случае, если кинематическая вязкость перекачиваемой среды составляет более  $\sim 40$  м<sup>2</sup>/с.

В этом случае речь идет о вязких жидкостях. В канализационной технике вязкие жидкости имеют место только при обработке осадка на очистных сооружениях.

При определении общего напора  $H$  насосной установки / насоса существенное значение имеют сведения о следующих условиях:

- отметка дна подводящего канала или зумпфа насоса
- время включения и выключения насосов (соответствует минимальному погружению насоса и максимально допустимому уровню воды в зумпфе насоса)
- рельефа и топографических данных местности (длина и ход высот) между насосной установкой и конечным пунктом
- установленная арматура, фитинги и трубопроводы с указанием их номинального диаметра  $DN$  и коэффициента сопротивления  $\zeta$
- ординаты (уровня) точки слива в конечном пункте.

Основы взаимосвязи между давлением и скоростью жидкости в трубопроводе описываются с помощью уравнения Бернулли.

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = \text{const} \quad (5)$$

Принцип Бернулли может быть описан следующим образом:

«Суммарное давление в свободной от трения трубе, в которой течет жидкость, представляющее собой сумму статического и динамического давления, одинаково во всех местах потока» [1.8].

Этот принцип действителен для стационарного течения несжимаемой жидкости при отсутствии сопротивления (трения); для фактического случая однако имеет место нестационарное течение с трением несжимаемой жидкости. Поэтому в уравнении Бернулли должны быть учтены потери на трение и изменение скорости потока. Как правило, давление принято выражать как напор  $H$  в метрах столба перекачиваемой жидкости.

При использовании погружного насоса остаются только разность высот отметок, в том числе, описываемая с помощью  $H_{\text{ГЕО}}$ , и сумма всех потерь  $\Sigma H_{\text{V}}$ . Суммарный напор  $H$ , таким образом, может быть описан с помощью упрощенного уравнения (6) [1.9]:

$$H = H_{\text{GEO}} + \Sigma H_v$$

(6)

Условные обозначения:

$H_{\text{GEO}}$  – статический напор, измеримый как разность уровней (ординат) воды на всасывании и напоре (отметка, на которую перекачивается сточная вода).

$H_v$  – общая величина потерь, соответствует манометрическому напору  $H_{\text{ман}}$

$H_{\text{VS}}$  – величина потерь давления в арматуре, фитингах и трубопроводе со стороны всасывания насоса – отсутствует для насосов «мокрой» установки, например, KRT и Атасан

$H_{\text{VE}}$  – величина потерь давления в арматуре, фитингах и трубопроводе напорной стороны насоса – потери отдельных ветвей трубопровода отдельного насоса до коллекторного нагнетательного трубопровода в случае насосных установок из нескольких насосов

$H_{\text{VD}}$  – величина потерь давления в арматуре, фитингах и трубопроводах на напорной стороне насоса в коллекторном нагнетательном трубопроводе

Величина потерь  $H_v$  рассчитывается для прямых участков трубопроводов согласно [1.10]:

$$\Sigma H_v = H_{\text{VS}} + H_{\text{VE}} + H_{\text{VD}}$$

$$H_v = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

(7)

Величина потерь  $H_v$  для арматуры и фитинга рассчитывается согласно [1.11]:

$$H_v = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

(8)

Указание:

Наряду со своей программой подбора насосов KSB предоставляет дополнительное программное обеспечение для расчета необходимого напора, так называемые «калькуляторы трубопровода». С их помощью вся арматура, фитинги и трубы, их номинальный диаметр и коэффициенты потерь могут быть скомбинированы и рассчитаны для определения номинального напора планируемой подающей установки [1.12]. Источник: Справочное пособие KSB «Расчет параметров центробежных насосов» [1.10]



## 1.3

**Кавитационный запас (NPSH)**

Кавитационный запас (NPSH) – важная величина для оценки всасывающей способности центробежного насоса: он описывает минимальное давление на входе, которое необходимо для каждого центробежного насоса для бескавитационной и безопасной работы [1.13]. Следует проводить различие между допущенным влиянием кавитации с трехпроцентным снижением напора – параметр насоса  $NPSH_{3\%}$  (обозначаемым как  $NPSH_{необх}$  (необх – необходимая) – также именуемым надкавитационный запас насоса – и величиной NPSH установки ( $NPSH_{дост}$  (дост = доступная)), описываемой как надкавитационный запас установки.

В общем, условие для бескавитационной эксплуатации насоса выглядит следующим образом:

$$NPSH_{дост} \geq NPSH_{необх}, \quad NPSH_{необх} = NPSH_{3\%} + \text{коэф. (добавки) безопасности} \quad (9)$$

Величина коэффициента (добавки) безопасности по нормам ATV и Hi (Ассоциации водоотведения и Гидравлического института) составляет 30% от значения  $NPSH_{3\%}$  насоса. Величина NPSH установки может быть рассчитана на основе уравнения (10а).

$$NPSH_{дост} = z_c + \frac{p_e + p_b - p_D}{\rho \cdot g} + \frac{v_c^2}{2 \cdot g} - H_{vs} \quad (10a)$$

Для открытой системы при установке на уровне до 1000 м выше нормального нуля (уровня моря) и при средней температуре 20°C возможно упрощение формулы:

$$NPSH_{дост} = z_c + 10 \text{ м} \quad (10b)$$

Значение величины  $NPSH_{3\%}$  насоса устанавливается производителем насоса в ходе стендовых испытаний при

специальной «сухой» установке и отражается в технической документации. В случае «мокрой» установки значение величины NPSH практически невозможно изменить.

Так как величина  $NPSH_{3\%}$  изменяется в зависимости от

подачи насоса, она рассматривается как функция подачи  $NPSH_{необх} = f(Q)$ . Величина указывает необходимую высоту напора выше упругости насыщенных паров в метрах, которая должна быть у входа в рабочее колесо (исходная точка для NPSH = точка пересечения оси вала насоса и перпендикулярной ей плоскости, проходящей через внешние точки входных кромок лопаток рабочего колеса, см. Рис. 1.3).

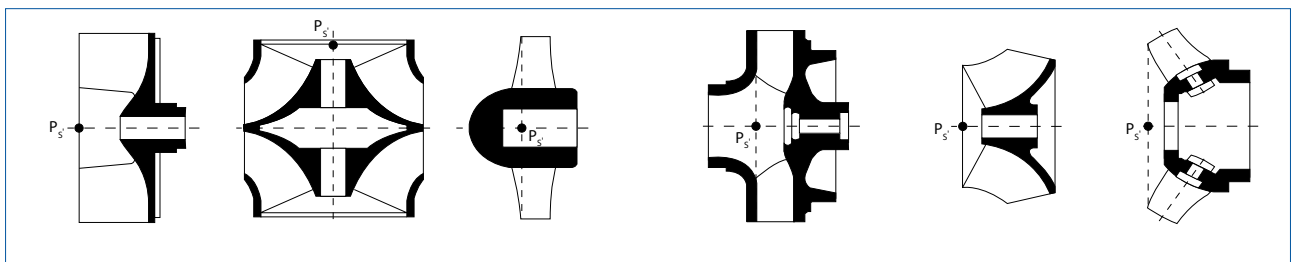


Рис. 1.3: «К положению исходной точки  $s'$  для NPSH при различных типах рабочего колеса» (Источник: Справочное пособие «Расчет параметров центробежных насосов KSB»)

Изготовитель насоса может воздействовать на величину  $NPSH_{3\%}$  посредством применения специального типа, конструктивного исполнения рабочего колеса (диаметр рабочего колеса на всасывании, число лопастей и конструкция входной кромки), а также расчетной частоты вращения насоса.

Вход межлопастного канала рабочего колеса является критической областью, поскольку здесь после всасывающего трубопровода в насосах «сухой» установки и после входного патрубка в насосах «мокрой» установки находится самый узкий в поперечном сечении участок для перекачиваемой среды. Локальное понижение давления неизбежно связано с обтеканием входной кромки лопасти в данной области. Если давление падает ниже давле-

ния упругости насыщенных паров, образуются паровые пузыри.

Они переносятся потоком и резко (ударно) схлопываются, когда давление в межлопастном канале снова повышается (схему кавитационных повреждений см. на Рис. 1.5). Процесс образования и внезапного схлопывания пузырей называется кавитацией.

Поскольку кавитация может привести к существенным негативным последствиям – от снижения напора и КПД до прекращения подачи, нарушения плавности хода или возникновения вибрационных явлений, а также генерации сильного шума вследствие эрозии рабочего колеса или внутренних деталей насоса – она допускается только в ограниченных пределах.

В отдельных случаях допустимые пределы кавитации также зависят от условий эксплуатации, периода времени, в течение которого насос работает вне допустимого диапазона, перекачиваемой среды и, не в последнюю очередь, материалов деталей проточной части (в особенности рабочего колеса).

На рис. 1.4 показан момент превышения допустимого предела кавитации. В точке пересечения  $NPSH_{дост}$  и  $NPSH_{необх}$  условие уравнения (9) не выполняется, т.е. справа от точки пересечения не происходит увеличение подачи, и напор быстро падает. Этот вид кривой обозначается как «ветвь срыва». Продолжительная эксплуатация в таком режиме приводит к повреждению деталей насоса (рабочего колеса, опор, уплотнений вала и т.д.). При повышении показателя  $NPSH_{дост}$  (например, увеличение подпора на входе) можно добиться восстановления рабочего режима В.

В приложении

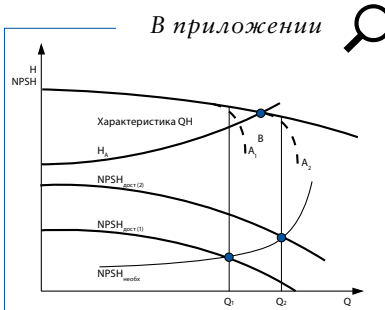


Рис. 1.4: Влияние величины  $NPSH_{дост}$  на напорную характеристику насоса (Источник: Справочник по центробежным насосам KSB).



Рис. 1.5: Рабочее колесо с повреждениями, вызванными кавитацией (Источник: Справочник по центробежным насосам KSB).

## 1.4

### Потребная мощность

Потребная (потребляемая) мощность  $P_2$  центробежного насоса представляет собой механическую мощность, принятую валом или муфтой насоса от привода, и может быть определена на основе уравнения (11) [1.15]:

$$P_2 = \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho}{1000 \cdot \eta_p} \text{ [кВт]} \quad (11)$$

$\eta_p$  – КПД насоса или насоса с муфтой

Наличие сухого остатка и примеси в перекачиваемой жидкости приводит к повышению потребляемой мощности на валу насоса (это следует принимать во внимание при выборе двигателя с учетом соответствующих резервов мощности) [1.7]. Потребную мощность  $P_2$  следует отличать от располагаемой мощности привода (т.е. мощности привода или номинальной мощности двигателя  $P_N$ ). Данные параметры указываются производителем двигателя на фирменной табличке с паспортными данными.

При измерении мощности погружного насоса может быть измерена только потребляемая мощность  $P_1$  двигателя. Она включает внутренние потери мощности двигателя, которые описываются с помощью показателя КПД двигателя  $\eta_M$ . Таким образом, потребляемую мощность на валу насоса можно рассчитать с помощью уравнения (12):

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta_M} \text{ [кВт]} \quad (12)$$

$\eta_M$  – КПД двигателя

При определении необходимой мощности привода насоса следует учитывать резерв мощности, предусмотренный стандартом EN ISO 9908. С помощью данного стандарта учитываются допуски изготовления и отклонения свойств перекачиваемой среды для сточных вод при нормальных условиях эксплуатации. Дальнейшие подробные указания и инструкции по теме «Двигатели» содержатся в части «Общее описание двигателя».

## 1.5

### Подача перекачиваемой жидкости

Описание насоса по цели применения очень широко распространено. При этом в качестве наиболее полной характеристики указываются режим работы насоса (например, насосы основной, бустерный, базовой или пиковой нагрузки и др.), область применения (например, поливные или водоотливные насосы, циркуляционные, химические, процессные насосы, насосы для дождливой или сухой погоды и др.) или перекачиваемая среда (например, насосы для питьевой воды, морской воды, пресной воды, сточных вод, фекалий, навоза, шламов, насосы для транспортировки твердых веществ).

В канализационной технике почти всегда применяются центробежные и объемные насосы. Объемные насосы в основном устанавливаются для перекачки ила (например, на метантенк, куда направляются перекачиваемые среды с высоким содержанием сухого вещества (СВ > 10 %)), центробежные насосы применяются практически во всех процессах транспортировки сточных вод и на очистных сооружениях.

Центробежные насосы подразделяются в соответствии с особенностями конструкции, в частности, типа рабочего колеса, направления потока и способа установки. Важным показателем для описания характеристики различных рабочих колес является «удельная частота вращения»  $n_q$  (примечание: в англоговорящих странах, за исключением США, удельная частота вращения описывается с помощью «типового числа K», в США – с помощью числа N).

Полученный в результате обработки формул подобия насосов параметр позволяет осуществить сравнение рабочих колес разных типоразмеров при различных эксплуа-

ционных параметрах (Q и H в точке наилучшего КПД, а также частота вращения рабочего колеса), провести классификацию их оптимальной конструкции и типичной формы в соответствии с их характеристиками. Параметр рассчитывается следующим образом:

$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{Q_{\text{opt}}}}{H_{\text{opt}}^{3/4}} \quad [\text{об/мин}] \quad (13)$$

Рис. 1.6 и Рис. 1.7 поясняют взаимосвязь между удельной частотой вращения и конструкцией рабочего колеса, а также его соответствующими типичными характеристиками.

Удельная частота вращения применяемых на очистных сооружениях рабочих колес находится в пределах диапазона от ~ 45 до 200 оборотов в минуту. При этом рабочие колеса с удельной частотой вращения  $n_q$  от ~ 45 до 90 оборотов в минуту используются преимущественно для перекачивания сточных вод и в очистных сооружениях (например, основные и промежуточные насосные станции, водозаборы очистных

сооружений, возвратный активный ил вплоть до откачивания из очистных сооружений). Вся данная область включает погружные насосы серии KRT с различными рабочими колесами.

В ходе очистки сточных вод активным илом на очистных сооружениях востребованы большие подачи при меньших напорах (пропеллерные колеса с удельной частотой вращения  $n_q \sim 160 - 200$  в минуту). Другие области применения пропеллерных насосов включают, например, водозабор, передачу охлаждающей воды, а также защиту от паводков. В парках развлечений они также используются в качестве циркуляционных насосов для аттракционов.

#### Указание:

По расчету параметров пропеллерных насосов и проектированию соответствующих водозаборных сооружений существует отдельная брошюра (Сборник ноу-хау компании KSB, том 6, 0118.55 10/07: «Указания по подбору насосов Amasap – для установки в трубе-шахте».

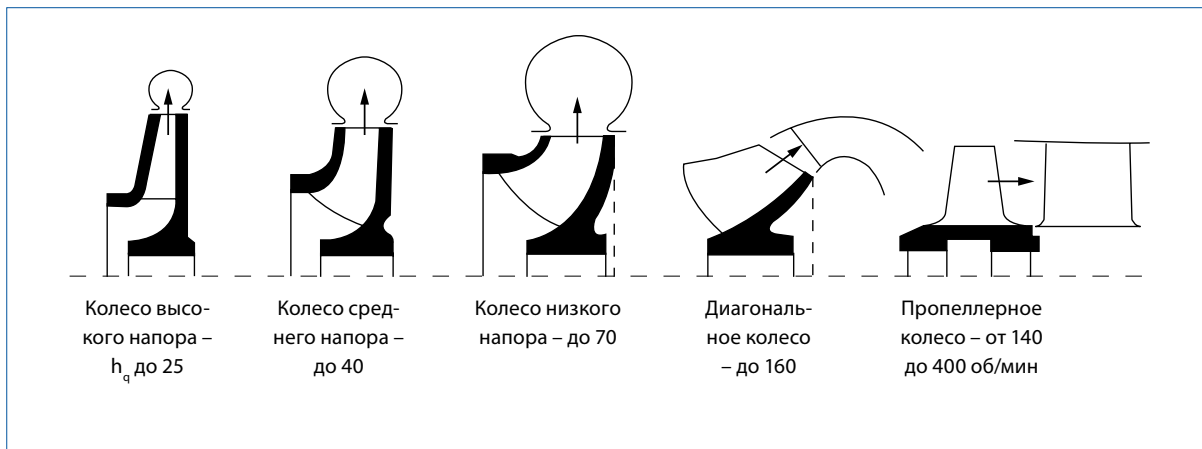


Рис. 1.6: Рабочие колеса и их удельная частота вращения  $nq$  (об/мин)  
(Источник: Справочник по центробежным насосам KSB)

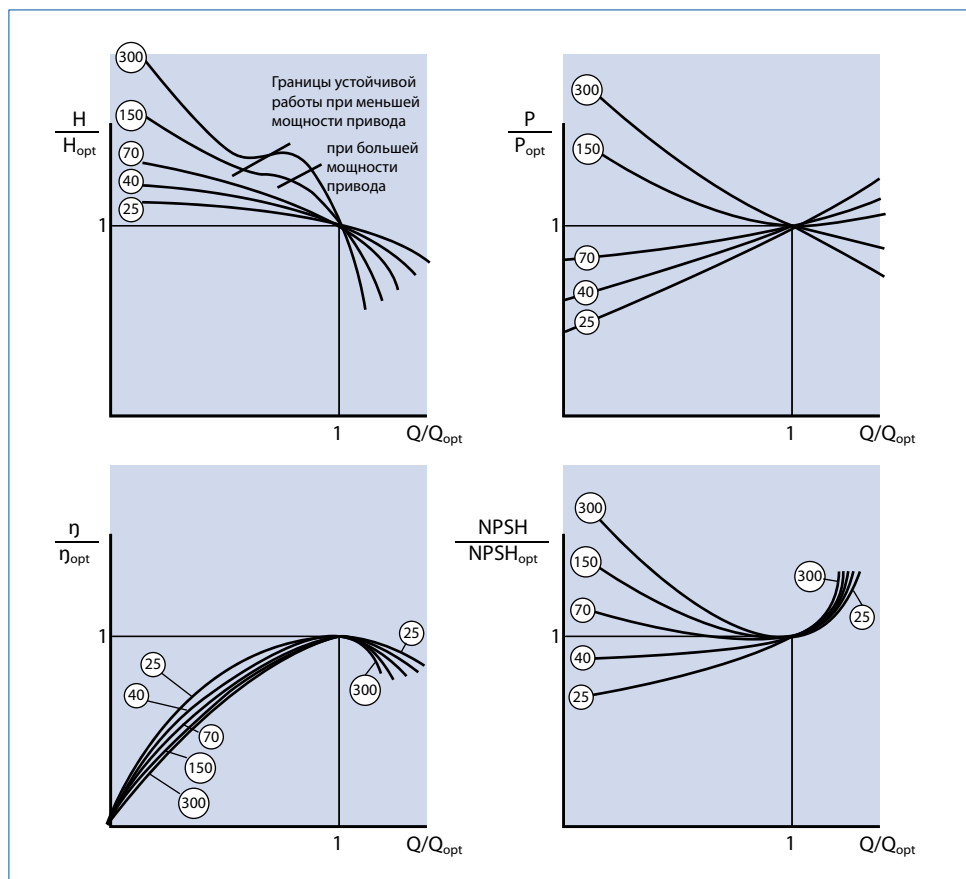


Рис. 1.7: Типичные графические характеристики центробежных насосов при различных значениях удельной частоты вращения. Представлено в относительных (к оптимальному режиму) величинах. (Источник: Справочное пособие «Расчет параметров центробежных насосов KSB»).

## 1.6 Выбор насоса

Выбор насоса в значительной степени зависит от определения условий эксплуатации и, таким образом, от требований, предъявляемых заказчиком к насосам с учетом определенных эксплуатационных характеристик. Под условиями эксплуатации в первую очередь понимают данные перекачиваемой жидкости (например, температура, плотность, вязкость, содержание сухих веществ, доля песка или других примесей), требуемую подачу и необходимый напор, параметры на всасывании и частоту вращения центробежного насоса. Кроме того, необходимы данные о величине и общей потребляемой мощности приводов, режиме эксплуатации, ожидаемой частоте переключений, а также факторах воздействия на установку и окружающую среду, например, о максимальном разрешенном уровне шума, допустимых вибрациях, силах, действующих в трубопроводе, а также потенциальных угрозах взрыва (данные по зонам АТЕХ – директивы ЕС, описывающие требования к оборудованию и работе в потенциально взрывоопасной среде).

Погружные насосы серии KRT с характерными типами рабочих колес, предназначенных для использования в области обработки сточных вод (с режущей кромкой, свободновихревое рабочее колесо, одно-, двух- и трехканальное колесо, а также открытое одноканальное колесо) приспособлены к требованиям перекачивания сточных вод со специфическими условиями эксплуатации и составом перекачиваемых сред.

Подробные указания по применению рабочих колес с обзором различных перекачиваемых сред, а также границ рабочего диапазона колес содержатся в разделе «Машинная техника и установка».

### 1.6.1 Графические характеристики

Центробежные насосы при постоянной частоте вращения характеризуются при увеличении подачи уменьшением напора. На основе значений напора  $H$  для соответствующих значений подачи  $Q$  строится графическая характеристика, также называемая кривой  $Q$ - $H$ . Рядом с кривой  $Q$ - $H$  обозначены кривые КПД, также зависящие от подачи, кривая  $NPSH_R$  или

$NPSH_{3\%}$  и кривая потребления мощности для каждого насоса. Все указанные кривые следует учитывать при выборе насоса.

В качестве примера на рис. 1.8 приведены графические характеристики насоса с трехканальным рабочим колесом удельной частоты вращения  $n_q \sim 80$  в минуту (колесо низкого напора). Все значения гидравлических показателей представлены с учетом действующего стандарта EN ISO 9906 и основываются на применении для чистой воды. Характерный ход кривых зависит от удельной частоты вращения (см. также рис. 1.6) Различают плоские и крутые кривые. В случае крутой кривой подача изменяется лишь незначительно при равной разности напора по сравнению с плоской кривой. Насосы с крутой напорной характеристикой имеют преимущества при регулировании подачи.

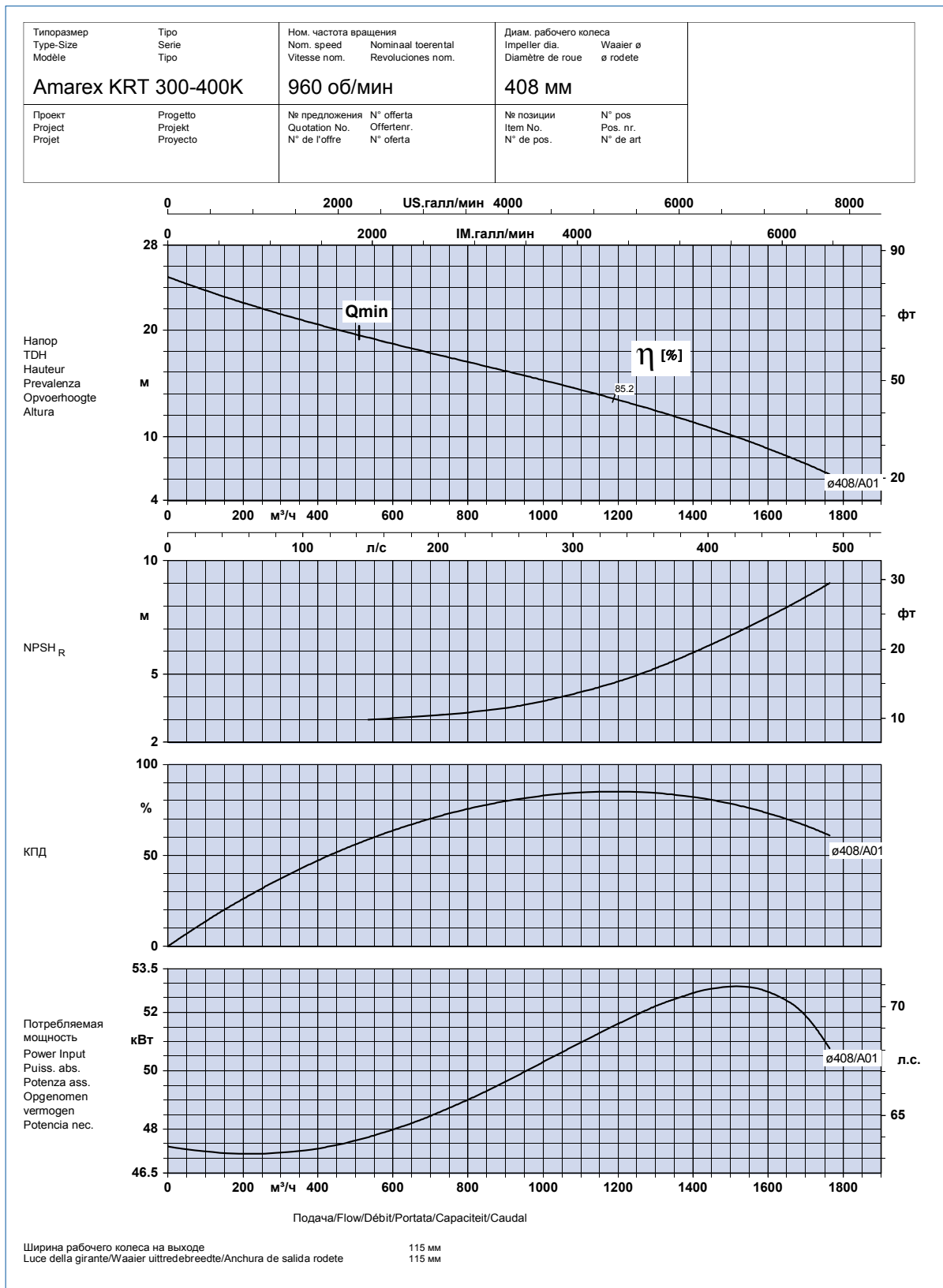


Рис. 1.8: Графические характеристики для трехканального колеса со значением  $n_q \sim 80$  об/мин при частоте вращения вала насоса  $n = 960$  об/мин (Источник: «Программа расчета KSB»).

### 1.6.2 Графические характеристики насоса

В качестве графической характеристики насоса прежде всего рассматривается кривая напора (кривая Q-H). Поскольку ни один насос не работает без потерь, на основе определяемых при расчете теоретических кривых напора или/также кривых напора без потерь выводятся внутренние гидравлические потери насоса. Внутренние гидравлические потери складываются из потерь в результате трения и удара (натекания на преграду). Обе величины потерь определяются как функция подачи.

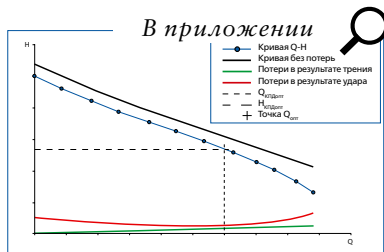


Рис. 1.9: Кривая напора и ее уменьшение в зависимости от внутренних гидравлических потерь. Изображение представлено в относительных к оптимальным параметрам величинах.

В то время как потери в результате трения постоянно увеличиваются при увеличении подачи, потери в результате удара увеличиваются при изменении подачи от расчетной (также именуемой  $Q_{\text{безударн}}$ ) в сторону уменьшения и увеличения. На рис. 1.9 гидравлические потери обозначены в виде относительных величин.

Кривая КПД (кривая Q- $\eta$ ) поднимается от нуля при нулевой подаче до максимального значения при подаче  $Q_{\eta \text{ опт}} (\sim Q_{\text{безударн}})$ , а затем вновь падает. Ход кривой КПД отражает внутренние

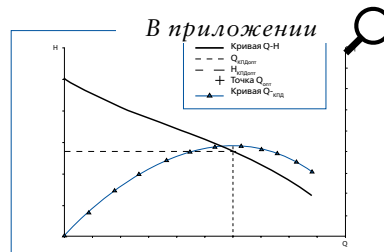


Рис. 1.10: Кривая КПД  $\eta = f(Q)$ . Изображение в относительных к оптимальным параметрам величинах.

потери насоса и указывает, в областях с какой подачей следует эксплуатировать насос, чтобы обеспечить максимально энергоэффективную работу. На рис. 1.10 представлено графическое изображение хода кривой.

На рис. 1.11 или рис. 1.12 изображены графики  $NPSH_{3\%}$  и потребляемой мощности  $P_2$  (на валу насоса). В то время как кривая  $NPSH_{3\%}$  характеризует всасывающую способность насоса (см. также раздел «Кавитационный запас»), кривая потребления мощности имеет значение для определения требуемой номинальной мощности двигателя.

### 1.6.3 Графическая характеристика (кривая) установки

Кривая установки также наносится в качестве функции подачи. Как показано на рис. 1.13, кривая установки состоит из постоянной статической составляющей и динамического компонента, квадратично пропорционального подаче (Примечание: данное условие действительно только в случае пренебрежения зависимостью коэффициента трения в трубе от числа Рейнольдса  $Re$ ).

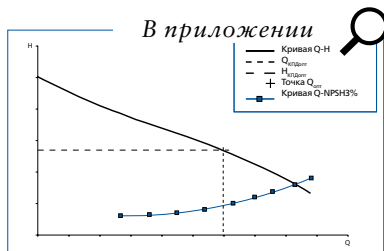


Рис. 1.11: Кривая  $NPSH_{3\%}$ ,  $NPSH_{3\%} = f(Q)$ . Изображение в относительных к оптимальным параметрам величинах.

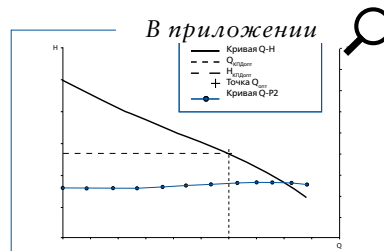


Рис. 1.12: Потребляемая электрическая мощность  $P_2 = f(Q)$ . Изображение в относительных к оптимальным параметрам величинах.



В случае «мокрой» установки погружного насоса статическая составляющая напора  $H_{гео}$  представляет собой измеряемую разность высотных отметок между уровнями воды со стороны всасывания и со стороны конца напорного трубопровода. Динамическая составляющая напора представляет совокупность всех потерь давления устанавливаемой или встроенной арматуры, фитингов и труб со стороны нагнетания насоса вплоть до излива под уровень на стороне давления. В разделе «Напор» представлена подробная информация по данной теме.

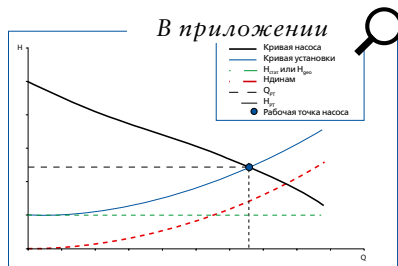


Рис. 1.13: Кривая установки – сумма статической и динамической составляющих напора.

## 1.7 Допустимые границы устойчивой работы насосов

Каждый центробежный насос обладает рекомендованными границами рабочего диапазона и устойчивой работы. Данные границы обозначают точку, до которой насос может использоваться с максимальной эффективностью с точки зрения кон-

струкции, установки и приводной техники. Соблюдение данных границ является важным условием выполнения насосом его функций по перекачиванию жидкости в течение запланированного периода применения. Далее обсуждаются важнейшие границы рабочего диапазона или устойчивой работы.

### 1.7.1 Рабочая точка

Рабочая точка насосной установки определяется через точку пересечения (Рис. 1.13) кривой установки и кривой насоса (для удобства обозначения графическая характеристика напора насоса сокращенно обозначается кривая насоса). С их помощью определяются установленный напор и соответствующая подача. Для изменения рабочей точки необходимо изменить кривую установки или кривую насоса. Более подробные указания содержатся в разделе «Режим эксплуатации насоса».

### 1.7.2 Границы устойчивой работы $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$

Эксплуатационные свойства центробежного насоса (гидравлические, механические или акустические свойства) зависят в основном от положения рабочей точки относи-

тельно точки  $Q_{\eta \text{ опт}}$ . Следовательно, при выборе насоса следует учитывать, что рабочая точка должна располагаться по возможности вблизи оптимальной точки ( $Q_{\text{PT}}$  примерно  $0,8-1,2 \times Q_{\eta \text{ опт}}$ ). Не только затраты на электроэнергию и эксплуатационные расходы, но и гидравлические действующие силы имеют в данном рабочем диапазоне наименьшее значение. В повседневной практике может потребоваться эксплуатация агрегата в диапазоне частичных нагрузок или перегрузки, что является отступлением от принятых норм и связано с особенностями процесса. Чем дальше рабочая точка расположена от оптимальной точки, тем более неблагоприятно протекает поток на лопасти рабочего колеса и направляющего аппарата (язык спирального отвода – корпуса насоса). Если относительный поток не может следовать по стороне всасывания (в режиме частичной нагрузки) или по стороне давления (в диапазоне перегрузки) лопасти рабочего колеса, образуются области отрыва потока, которые все сильнее препятствуют переносу энергии к перекачиваемой жидкости. Увеличиваются гидравлические силы (радиальная и осевая), вибрация, шумы, кавитация быстро возрастают, что различимо визуально и акусти-

чески. Производители насосов обозначают допустимый диапазон длительной эксплуатации насосов с помощью указания границ  $Q_{\min}$  и  $Q_{\max}$  (без обозначения границ конечная точка изображенной кривой насоса является границей  $Q_{\max}$ ). Как правило, допустимый рабочий диапазон указывается в пределах от  $\sim 0,3$  до  $1,4 \times Q_{\eta \text{ опт}}$ .

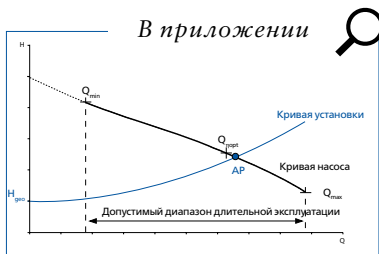


Рис. 1.14: «Границы устойчивой работы  $Q_{\min}$  и  $Q_{\max}$  – изображение допустимого диапазона длительной эксплуатации центробежного насоса ( $Q_{\min} \sim 0,3 * Q_{\text{КПДопт}}$  и  $Q_{\max} \sim 1,4 * Q_{\text{КПДопт}}$ )»

Для центробежных насосов с более высокой удельной частотой вращения примерно от  $nq = 140$  об/мин, граница  $Q_{\min}$  со значением от  $\sim 0,6$  до  $0,7 \times Q_{\eta \text{ опт}}$  может располагаться значительно выше.

При эксплуатации агрегатов за пределами указанного допустимого диапазона эксплуатации значительно повышается риск перегрузки и, соответственно, преждевременного износа деталей насоса. Гарантийные требования к производителю насосного оборудования в данном случае исключены.

### 1.7.3 Особенности перемещения сточных вод

Центробежный насос является лишь одним из компонентов установки для очистки сточных вод. Установка безопасна в эксплуатации лишь в том случае, если периферийные системы установки, перекачиваемая среда (свойства и состав), регулирование и режим эксплуатации согласуются со свойствами центробежного насоса или его гидравлики. В этой связи следует понимать, что такое обозначение как «свободная от засорения гидравлика» не является точным, так как засорение любой гидравлики – это лишь вопрос нагрузки. Термин «гидравлика пониженной засоряемости», безусловно, является самым точным, кроме того, он наиболее оптимально отражает действительное положение вещей.

Далее приводятся некоторые особенности перемещения сточных вод, полученные из практического опыта эксплуатации. Их следует учитывать при проектировании сооружений очистки сточных вод для обеспечения высокой эксплуатационной надежности («эксплуатация при пониженной засоряемости»).

- Расположение рабочей точки вблизи оптимальной точки. В пределах  $Q_{AR}$  от  $\sim 0,8$  до  $1,2 \times Q_{\eta \text{ опт}}$  находится не только благоприятный с точки зрения экономии электроэнергии рабочий диапазон, но и область, в которой примеси, содержащиеся в перекачиваемой среде, перемещаются быстрее всего. На рис. 1.15 отмечен данный диапазон. Особенно в диапазоне частичных нагрузок между  $Q_{\min}$  и  $0,8 \times Q_{\eta \text{ опт}}$  выводи-мость примесей ограничивается в той или иной степени из-за небольших подач (меньшие скорости потока). Продолжительная эксплуатация насосов в данной области может привести к засорениям канала рабочего колеса или пазух между колесом и корпусом (крышкой). Данная особенность центробежных насосов значима при определении диапазона регулирования и изменения, а также связанной с этим необходимостью сдвига рабочей точки. В данном случае актуальны следующие понятия: регулирование частоты вращения, изменение статического напора между включением и выключением насоса по уровню воды в зумпфе, режим параллельной работы.

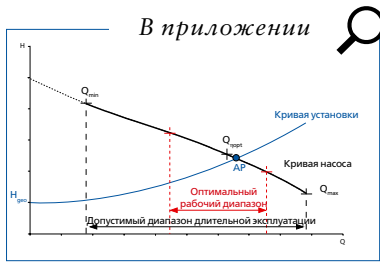


Рис. 1.15: Предпочтительный или оптимальный рабочий диапазон при перемещении сточных вод.

- Наличие достаточных резервов двигателя. Все данные производителя о гидравлических параметрах насоса устанавливаются в соответствии со стандартом EN ISO 9906 и относятся к работе на чистой воде. Проектировщики не могут предвидеть фактические свойства сточных вод; однако наблюдается тенденция, в соответствии с которой увеличивается содержание твердых веществ и волокон в сточных водах. Надежность эксплуатации в данном случае должна иметь приоритет перед стоимостью капиталовложений (см. Данные по рекомендованным резервам по стандарту ISO 9908).

- Выбор подходящего рабочего колеса. Погружные насосы серии KRT с характерными типами рабочих колес, предназначенных для использования в области обработки сточных вод (колесо с режущей кромкой, свободновихревое рабочее колесо, одно-, двух- и трехканальное колесо, а также открытое одноканальное колесо) приспособлены к тре-

бованиям перемещения сточных вод с учетом специфических условий эксплуатации и состава перекачиваемых сред. Подробные указания по применению рабочих колес с обзором различных перемещаемых сред, а также границ рабочего диапазона рабочих колес содержит раздел «Машинная техника и установка».

- Скорости потока в трубопроводе и режим регулирования при работе с преобразователем частоты. Все больше современных насосов регулируются с помощью преобразователя частоты (ПЧ). Это энергетически выгодно и открывает возможности для непрерывных процессов очистки сточных вод. Пределы регулирования, как правило, не зависят от конструктивных или машинно-технических свойств насоса или привода, но должны устанавливаться индивидуально согласно условию соблюдения минимальной скорости потока для перемещения твердых веществ и волокон. Опыт в данной сфере показывает, что в вертикальных нагнетательных трубопроводах скорость потока сточных вод должна превышать 2 м/с, в горизонтально расположенных трубах, как правило, она должна составлять более 1 м/с. Необходимо обеспечить полное выведение примесей из насоса и нагнетательного трубопровода в том числе и при низкой частоте вращения!

Окружная скорость у наружного диаметра рабочего колеса  $D_2$  насоса установки по очистке сточных вод должна быть не меньше 15 м/с. Центробежный насос, как правило, очень быстро выводится на максимальную частоту вращения при пуске. Только после этого производится настройка желаемой рабочей точки в сторону уменьшения частоты вращения. Частоты собственных колебаний установки (фундамент/насос/трубопровод) должны соответственно выделяться в ПЧ, длительная работа на этих частотах запрещена. При параллельном режиме работы все насосы по возможности должны работать с одинаковой частотой во избежание передавливания отдельных агрегатов в недопустимый диапазон частичных нагрузок. Обратные клапаны должны быть полностью открыты в каждом из рабочих режимов, чтобы уменьшить поверхность налипания примесей и предотвратить засоры.

- Условия притока и конструкция сооружения. Условием бесперебойной эксплуатации насоса и достижения параметров являются гидравлически оптимизированные условия притока (подробнее описанные в части «Конструкция сооружения»). Относительно небольшие шахты погружных насосов Amarex KRT, обладающие скосами у дна, обеспечивают постоянное перемеще-

ние загрязнителей. Это позволяет избежать образования отложений и обеспечить поддержание чистоты шахты при относительно малых интервалах отключения.

## 1.8 Режим эксплуатации насоса

Режим эксплуатации насоса зависит от многих факторов. Изменение рабочей точки возможно посредством изменения диаметра рабочего колеса, регулирования частоты вращения либо при параллельной или последовательной работе. При этом не следует забывать о технических ограничениях установки, таких, как уровень загрязнения, условия притока, показатель NPSH установки, а также свойства перекачиваемой среды, в том числе состав, плотность и вязкость, температура, которые более подробно рассматриваются в следующих разделах.

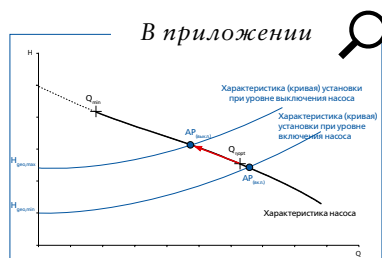


Рис. 1.16: Изменение рабочей точки насоса при фиксированной частоте вращения и изменении статического напора между положениями «включение/выключение насоса» по уровню на стороне всасывания.

### 1.8.1 Автономная работа

Изменение кривой установки может являться следствием изменения статической составляющей напора. Решающее значение в данном случае, как изображено на рис. 1.16, может иметь изменение геодезической высоты уровня воды в камере всасывания. Рабочий диапазон насоса смещается вдоль кривой Q-H между рабочими точками режимов «Насос включен» и «Насос выключен».

#### Указание:

Следует следить за тем, чтобы рабочая точка располагалась вблизи оптимальной точки, т.е. в пределах оптимального рабочего диапазона.

### 1.8.2 Дроссельное регулирование

Существуют две основные возможности изменения характеристических кривых установки. Таким образом, с одной стороны, может повышаться или уменьшаться сопротивление трубопровода. Это происходит либо целенаправленно путем перестановки (регулирования) дроссельного органа или при использовании другого трубопрово-

да (другой номинальный внутренний диаметр/длина труб), либо незапланированно – в результате образования отложений, коррозии или корки).

При отсечении или дросселировании центробежного насоса следует учитывать уже принесенную и преобразованную в напор энергию как «ликвидированную» (правильно: бесполезно потраченную энергию). С точки зрения экономии электроэнергии это наихудший вариант регулирования, которого следует избегать в сфере обработки сточных вод (за исключением процессов разгона и остановки), чтобы не спровоцировать повышенный риск засорения арматуры и за данной арматурой.

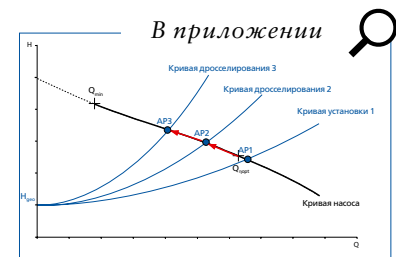


Рис. 1.17: Изменение рабочей точки насоса при изменении потерь давления в нагнетательном трубопроводе, например, в случае изменения номинального внутреннего диаметра трубопровода, его пути или длины или в случае образования отложений и корок в трубопроводе.

### 1.8.3

#### Подгонка диаметра рабочего колеса

Подгонка диаметра рабочего колеса  $D_2$  путем обточки или расточки (Рис. 1.18) является относительно простой и гидравлически эффективной (но при этом необратимой) мерой по одновременному уменьшению подачи и напора при неизменной частоте вращения. Поскольку подобным приемом можно изменить длину лопасти, ширину и угол лопасти на выходе, воздействие – т.е. изменение подачи, напора и КПД – отличается в зависимости от конструкции рабочего колеса (удельной частоты вращения  $nq$ ). Очень приблизительно можно утверждать, что чем меньше удельная частота вращения  $nq$ , тем более существенная обточка может быть выполнена без необходимости учитывать большие потери КПД.

С целью ознакомления производителя насосного оборудования указывают в своей документации / брошюрах с характеристиками возможный диапазон обточки рабочих колес в виде набора характеристик по обточке. В данных пределах взаимосвязь между диаметром рабочего колеса, подачей и напором может быть задана в виде уравнения (14).

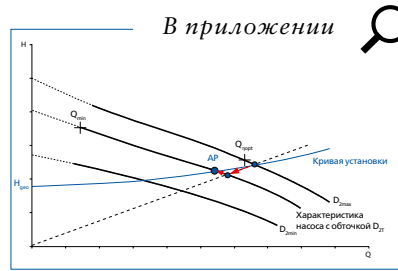


Рис. 1.18: Обточка или расточка рабочего колеса под желаемую рабочую точку насоса.

$$\frac{Q_{2Г}}{Q_{2max}} = \frac{H_{2Г}}{H_{2max}} = \left( \frac{D_{2Г}}{D_{2max}} \right)^2 \quad (14)$$

При такой обточке составляющие единое целое взаимозависящие значения  $Q$  и  $H$  располагаются на виртуальной прямой, проложенной из начала системы координат  $Q$ - $H$  (Рис. 1.18). Новая рабочая точка агрегата представляет собой устанавливающуюся точку пересечения между характеристикой (кривой) насоса с уменьшенным диаметром рабочего колеса и неизменной характеристикой (кривой) установки.

Указание: рабочая точка вблизи оптимальной точки при соблюдении оптимального рабочего диапазона; окружная скорость у выхода рабочего колеса по возможности должна быть не менее  $\sim 15$  м/с.

### 1.8.4

#### Регулирование частотой вращения

Центробежный насос, регулируемый изменением частоты вращения, поддерживает именно фактически необходимые подачу / напор. Поэтому это наиболее рациональный с точки зрения энергопотребления и наиболее щадящий с точки зрения нагрузки на детали насоса способ регулирования. Кроме того, при сокращении частоты вращения появляется дополнительный запас относительно показателя NPSH установки. Взаимосвязь между частотой вращения, подачей и напором отражает закон сродства – частный случай закона подобия центробежных насосов – при условии неизменной плотности и постоянном КПД насоса:

$$\begin{aligned} \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{n_1}{n_2} \\ \frac{H_1}{H_2} &= \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \\ \frac{P_1}{P_2} &= \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \end{aligned} \quad (15)$$

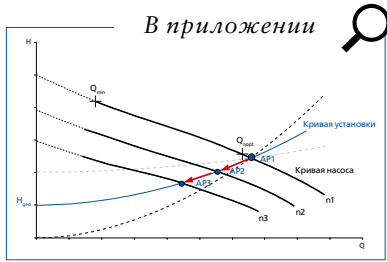


Рис. 1.19: Изменение рабочей точки центробежного насоса при изменении частоты вращения.

При изменении частоты вращения составляющие единое целое взаимозависящие значения  $Q$  и  $H$  располагаются на виртуальной параболе, проложенной из начала системы координат  $Q-H$ , обозначенной штрихпунктирной линией на рис. 1.19. Новая рабочая точка агрегата представляет собой устанавливающую точку пересечения характеристики насоса с уменьшенной частотой вращения и неизменной характеристики (кривой) установки. В случае характеристики установки с незначительной статической составляющей новая рабочая точка остается вблизи (как прежняя рабочая точка) оптимальной точки. Чем больше статическая составляющая характеристики установки, тем чаще насос в случае уменьшения частоты вращения для достижения небольших подач оказывается в области худшего КПД при работе на частичных нагрузках, а в случае повышения частоты вращения – в зоне худшего КПД при перегрузке.

**Указание:**

Рабочая точка вблизи оптимума / в оптимальном рабочем диапазоне; соблюдение скорости потока в трубопроводе в режиме регулирования при использовании преобразователя частоты; окружная скорость у выхода рабочего колеса по возможности должна составлять не менее  $\sim 15$  м/с; должны обеспечиваться достаточные резервы двигателя при использовании преобразователя частоты.

**1.9 Параллельная работа насосов одинакового размера**

Параллельная работа двух и более центробежных насосов с использованием общего нагнетательного/ магистрального трубопровода особенно уместна в случае плоской характеристики установки. Чем меньше динамическая составляющая напорной характеристики установки (зависящая пропорционально квадрату подачи), тем выше достижимое увеличение подачи. Зависимости представлены на рис. 1.20. Суммарная подача в случае идентичных агрегатов в равной степени складывается из подач отдельных насосов при одинаковом напоре. Напор отдельного насоса при этом должен быть выше на динамическую составляющую потерь напора

ра индивидуальной линии до интеграции в общий трубопровод (коллектор). Кривая установки коллекторного трубопровода содержит только потери напора, начиная с места соединения индивидуальных линий.

**Указание:**

Рабочая точка вблизи оптимума / в оптимальном рабочем диапазоне; соблюдение скорости потока в трубопроводе; при установке насосной станции для параллельной работы двух или более идентичных агрегатов при определенных обстоятельствах автономная работа агрегата на коллекторный трубопровод исключена – это происходит в случае, если невозможно установить допустимую рабочую точку в качестве точки пересечения между кривыми (характеристиками) установки и отдельных насосов.

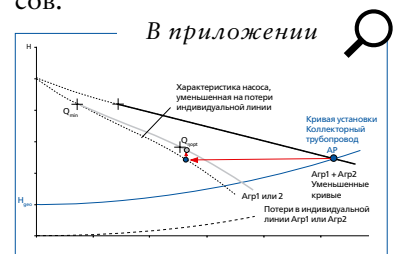


Рис. 1.20: Параллельная работа двух идентичных центробежных насосов. Потери индивидуальных линий (потери давления до интеграции в коллектор) учтены в уменьшенной характеристике насоса.



## 1.10

**Параллельная работа насосов разных размеров**

Принцип параллельной работы двух и более центробежных насосов с разными параметрами (размерами) аналогичен принципу параллельной работы одинаковых насосов (Рис. 1.21). Они работают параллельно без каких-либо проблем в случае, если используются агрегаты со стабильной кривой Q-H (напор насоса при нулевой подаче выше, чем напор в точке  $Q_{\text{мин}}$ ), которые по возможности имеют равный напор при нулевой подаче.

Общая подача складывается из подач отдельных насосов при соответствующем напоре. Напор отдельного насоса при этом должен быть увеличен на динамическую составляющую потерь напора индивидуальной линии до интеграции в коллектор. Кривая установки (коллекторного трубопровода) содержит потери напора, только начиная с места соединения индивидуальных линий.

**Указание:**

Следует следить за тем, чтобы рабочая точка располагалась вблизи оптимальной точки, т.е. в пределах оптимального рабочего диапазона. Агрегат с меньшим напором при нулевой подаче мо-

жет очень быстро «перейти» в зону недопустимо малых подач при изменении суммарного напора ( $H_{\text{гео max}}$ , дросселирование и т.д.); необходимо учитывать скорости потока в трубопроводе. При установке насосной станции для параллельной работы двух или более разных агрегатов при определенных обстоятельствах автономная работа агрегата на коллекторный трубопровод исключена – это происходит в случае, если точки пересечения характеристик (кривых) установки и отдельных насосов (рабочие режимы) находятся за пределами допустимой рабочей зоны насоса.

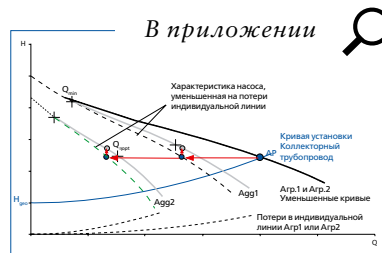


Рис. 1.21: Параллельная работа двух различных центробежных насосов. Потери индивидуальных линий (потери давления до интеграции в коллекторный трубопровод) учтены в уменьшенной характеристике насоса.

## 1.11

**Последовательная работа**

Последовательная работа (последовательное соединение) двух центробежных насосов на общий нагнетательный трубопровод допустима в том случае, если кривая

установки имеет достаточную крутизну. В сочетании с плоской характеристикой насоса фактическая подача изменяется в узких границах даже при существенных колебаниях напора (например, изменение статической составляющей напора  $H_{\text{гео}}$ ). Суммарный напор складывается из составляющих напоров отдельных насосов при соответствующей подаче. Зависимости изображены на рис. 1.22.

При перекачивании сточных вод данный режим эксплуатации используется крайне редко.

**Указание:**

Следует учитывать рабочую точку вблизи оптимума при соблюдении оптимального рабочего диапазона; необходимо учитывать скорости потока в трубопроводе; второй агрегат по направлению движения потока должен соответствовать не только по повышению давления, но и по давлению на входе, созданному первым агрегатом; обратите внимание на прочность корпуса / номинальное (условное) давление корпуса.

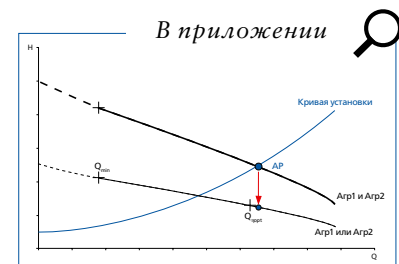


Рис. 1.22: Последовательная работа двух идентичных центробежных насосов.

## 1.12

## Каскадная работа насосов

В случае насосных станций, которые входят в состав больших сетей, периодически работают на различные трубопроводы и подвержены большим эксплуатационным колебаниям, диапазона подач и возможностей регулирования одного или нескольких идентичных центробежных насосов в большинстве случаев недостаточно. На рис. 1.23 приведен схематичный пример возможной каскадной работы различных насосов. Совокупность трубопроводов/кривых установки разделяется на три области, а именно: режим дождливой погоды, дневной и ночной режимы.

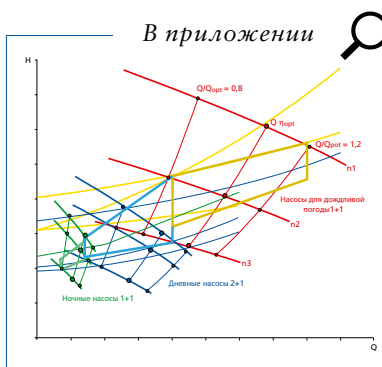


Рис. 1.23: Каскадная работа насосов для дождливой погоды, дневных и ночных, предусматривающая различные пути перемещения (трубопроводы) при разных уровнях воды и для различных условий в течение суток.

Все насосы могут быть адаптированы к реальным граничным условиям по подаче и напору с помощью регулирования частоты вращения. Каждый насос имеет идентичный резервный насос. Дневных насосов в два раза больше, и они могут работать в параллельном режиме. При работе в условиях дождливой погоды и в дневное время можно рассчитывать на достаточное разжижение сточных вод. Здесь могут применяться центробежные насосы соответствующих габаритов с многоканальными колесами (число лопастей  $z=2$  или  $3$ ). Для ночных режимов применяются насосы с однолопастными или свободновихревыми колесами, поскольку

с малыми количествами перекачиваемой среды связано повышение концентрации в ней твердых веществ.

**Указание:**

Рабочая точка вблизи оптимума, при соблюдении оптимального рабочего диапазона; соблюдение скорости потока в трубопроводе в режиме регулирования с использованием преобразователя частоты; окружная скорость у выхода рабочего колеса по возможности должна составлять не менее  $\sim 15$  м/с; необходимо обеспечить достаточные резервы двигателя при использовании преобразователя частоты.



### 1.13

#### Концепция насоса «мокрой» установки

Простейшим решением для насосной станции являются насосы «мокрой» установки: в этом случае насосы размещаются непосредственно в зоне всасывания и во время эксплуатации полностью или частично погружены в сточную воду. При этом насос может приводиться через вертикальный вал двигателем, расположенным выше максимального уровня воды, или весь агрегат располагается под водой в качестве погружного насоса.

На практике насосные станции «мокрой» установки в основном используются на малых установках (подача до ~ 100 л/с); речь идет о так называемых «готовых насосных станциях» [1.17; 1.18].

Преимущества «мокрой» установки также все чаще используются для крупных насосных станций (подача до ~ 16 000 л/с). Преимущества и недостатки такого применения приведены в таблице 1.1 [1.19].

Во избежание засоров, безусловно, следует избегать мест сужения трубопровода по направлению течения, а вну-

тренний диаметр напорных линий должен, по крайней мере, соответствовать внутреннему диаметру напорного патрубка насоса [1.20]. В соединениях трубопровода должны отсутствовать места сужения, а открытая арматура не должна препятствовать потоку [1.21; 1.22]. Оптимальный диаметр рассчитывается с учетом минимальной скорости потока – далее принимается следующая по номинальному диаметру труба. В более протяженных нагнетательных трубопроводах меры по уменьшению опасности возникновения гидроудара имеют преимущество перед мерами по поддержанию минимальной скорости потока. В нагнетательных трубопроводах длиной до 500 м допускается максимальная скорость: 2,5 м/с [1.23].

Материал трубы должен быть пригоден для перемещаемой загрязненной воды и быть устойчивым к коррозии (сероводород!). Это также относится к креплениям труб, которые предусматриваются с короткими промежутками. Трубопровод следует закреплять таким образом, чтобы никакие силы не передавались насосу. Он должен иметь гладкую внутреннюю поверхность, выдерживать циклические нагрузки и

быть рассчитан на рабочее давление от 6 до 10 бар. Сопряжение нагнетательного трубопровода насоса с магистральным осуществляется горизонтально. Следует избегать резких изменений направления. Соединения труб и фитинги должны соответствовать применимым производственным стандартам.

Запорные клапаны не подходят для использования в качестве запорной арматуры. Рекомендуются задвижки (затворы) с мягким уплотнением и выдвигным шпинделем, корпус из чугуна с шаровидным графитом, шпindel из нержавеющей стали 1.4571, ходовая гайка и седла из бронзы 2.1060. В случае использования механического привода необходимо следить за тем, чтобы максимально возможное перестановочное усилие не привело к повреждению задвижки [1.24].

Обратные клапаны с рычагом и грузом особенно пригодны для предотвращения обратного течения. В качестве материалов корпуса рекомендован чугун с пластинчатым графитом (GGL) или чугун с шаровидным графитом (GGG) [1.25]. При небольшой скорости потока могут применяться обратные шариковые клапаны [1.26].

Обратный клапан должен быть расположен вертикально и как можно выше насоса, чтобы поднимающийся уровень воды мог вытеснить воздух из насоса. Устройство для удаления воздуха из насоса в таком случае не требуется [1.27].

Установка (минимум двух) [1.28] насосов осуществляется таким образом, чтобы к ним обеспечивался свободный доступ воды (режим притока) [1.29]. Следует избегать работы в нестабильных режимах. Кавитацию следует ограничить до допустимого уровня ( $NPSH_{\text{дост}} / NPSH_{\text{необх}} \geq 1,3$ ) [1.30]. Используемые насосы должны быть предназначены для перекачивания сточных вод [1.31]. Согласно европейским стандартам допустимо применение невзрывозащищенных двигателей. Тем не менее национальные нормы Германии устанавливают необходимость взрывозащиты в соответствии с уровнем Ex dII B T3, поскольку камеры всасывания насосных установок для сточных вод считаются взрывоопасными пространствами [1.32].

Оперативные сообщения о работе оборудования выводятся отдельно в виде оптических сообщений, а сообще-

ния о неисправностях как отдельно оптически, так и совместно с акустическими [1.33]. Рекомендуется дополнительно установить устройство для измерения уровня, устройство для измерения давления на выходе насоса и устройство для измерения подачи (расхода) [1.34].

#### Примечание относительно числа Рейнольдса

Скорость потока  $v$  в пределах поперечного сечения трубы  $A$  не одинакова. Ньютонская (вязкая) жидкость прилипает к стенке трубы. Здесь скорость потока равна нулю. На оси трубы скорость потока максимальна. Графики распределения скорости в поперечном сечении различаются для ламинарного и турбулентного потока (Рис.1.24) [1.35].

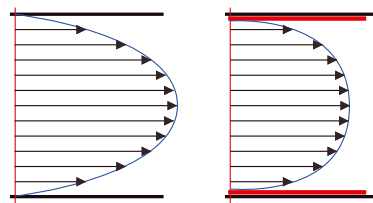


Рис. 1.24: Ламинарный и турбулентный потоки.

Форма потока зависит от средней скорости потока  $v$ , диаметра трубы  $d$  и кинематической вязкости жидкости. Данные параметры взаимосвязаны в числе Рейнольдса  $Re$ . В компании KSB AG принято число Рейнольдса  $Re = 2320$  в качестве границы между турбулентным и ламинарным потоками.

#### Примечания относительно объема камеры всасывания

Для насосов с постоянной частотой вращения применимые объемы камеры всасывания рассчитываются следующим образом в соответствии с ATV-DVWK-A 134:

$$V = 0,9 \cdot \frac{Q_p}{Z} \quad (16)$$

Для объемов бытовых сточных вод существуют нормированные приблизительные данные. В Германии объем сточных вод составляет от 150 до 300 литров на жителя в сутки (без инфильтрационных резервов), а пиковый объем водоотведения – от 4 до 5 литров на 1000 жителей в секунду (в том числе инфильтрационные резервы) [1.36].

| Преимущества   | Недостатки   |
|--|--|
| Незначительные расходы в ходе надземных и подземных работ (частично используются готовые насосные станции) | Встроенные элементы способствуют образованию отложений в камере всасывания |
| Небольшие габариты   | Плохая доступность   |
| Низкая потребность в капиталовложениях   | Негигиеничные условия техобслуживания                                      |
| Простое проектирование установки   |  |
| Высокое значение показателя NPSH <sub>дост</sub>   |  |

Таблица 1.1: Преимущества и недостатки насосных станций при «мокрой» установке  
(Источник: *Eigene Darstellung in Anlehnung an Weismann [1.19] Вайсманн Д. (1999), стр.104 и далее.*

## Литература

- [1.1] Дополнительная литература: ATV-DVWK –A 134
- [1.2] Дополнительная литература: ATV-DVWK –A 118
- [1.3] Дополнительная литература: ATV-DVWK –A 134
- [1.4] Математическое восприятие изображения, Турк В.И. (1954 г.), стр.144
- [1.5] Сравнительные исходные коды PWSIM 02, строка 353
- [1.6] Математическое восприятие изображения, Турк В.И. (1954 г.), стр.144
- [1.7] Дополнительная литература: Справочник по центробежным насосам KSB
- [1.8] Хане Э. (2000 г.), стр.397
- [1.9] Дополнительная литература: Определение параметров центробежных насосов KSB
- [1.10] Дополнительная литература: Определение параметров центробежных насосов KSB
- [1.11] Дополнительная литература: Определение параметров центробежных насосов KSB
- [1.12] Дополнительная литература: Калькулятор трубопровода KSB, программное обеспечение для установки
- [1.13] Дополнительная литература: Брошюра «Европамп» (Euroump) 1974 «NPSH центробежных насосов – Определение, расчет, измерение»
- [1.14] Дополнительная литература: Брошюра «Европамп» (Euroump) 1974 «NPSH центробежных насосов – Определение, расчет, измерение»
- [1.15] Дополнительная литература: Справочник по центробежным насосам KSB
- [1.16] Сравнительные данные, KSB AG (1989 г.)
- [1.17] Сравнительные данные, ATV e.V. (1982 г.), стр. 443 и далее.
- [1.18] Сравнительные данные, Вайсманн Д. (1999 г.), стр. 100 и далее.
- [1.19] Вайсманн Д. (1999), стр.104 и далее.
- [1.20] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000 г.), стр. 20
- [1.21] Сравнительные данные, EN 752-6 (1998 г.), стр. 6
- [1.22] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000 г.), стр. 23
- [1.23] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 10
- [1.24] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 21 и далее.
- [1.25] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 24
- [1.25] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 24
- [1.25] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 24
- [1.28] Сравнительные данные, EN 752-6 (1998), стр. 4
- [1.29] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 7
- [1.30] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 15
- [1.21] Сравнительные данные, EN 752-6 (1998 г.), стр. 6
- [1.32] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 18
- [1.33] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 30
- [1.34] Сравнительные данные, ATV-DVWK-A 134 (2000), стр. 30
- [1.35] Сравнительные данные, Хане Э. (2000), стр. 395 и далее.
- [1.36] Сравнительные данные, EN 752-4 (1997), стр. 14 и далее.

## 2. Оборудование и его размещение

### 2.1 Выбор оптимальной геометрии рабочего колеса

Ни в одной другой области применения центробежных насосов не существует так много различных типов рабочих колес, как в сфере перекачивания сточных вод (Рис. 2.1). Все представленные типы рабочих колес имеют соответствующее обоснование.

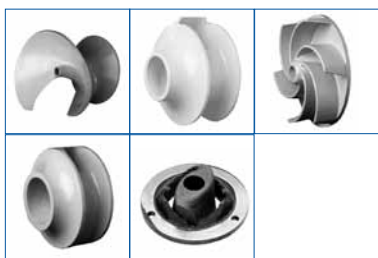


Рис. 2.1: Типы рабочего колеса

Самым важным критерием выбора типа рабочего колеса является эксплуатационная надежность. Из этого исходит и требование директивы ATV (Объединение канализационной техники) (DVWK-A 134) о соблюдении свободного прохода 100 (76) мм. Кроме того, в последние годы большее значение приобрел и КПД насоса.

Согласно требованиям эксплуатационной надежности прежде всего следует учитывать содержание газа, долю волокон, размер частиц твердых веществ, сухой остаток и

содержание песка. В сводной таблице 2.1 приведены ожидаемые значения KSB для сред, распространенных в сфере водоотведения и очистки сточных вод.

В то время как пределы содержания газа, песка и сухого остатка для различных типов рабочего колеса можно определить достаточно точно, смеси волокон и других твердых веществ поддаются количественной оценке только на основании эксплуатационных данных или анализа конкретного стока. Состав сточных вод может изменяться со временем. При выборе необходимо использовать опыт эксплуатирующего предприятия. В сводной таблице 2.2 указаны границы применения для различных типов рабочих колес.

При высоком содержании газа и волокон используются открытые колеса и в особенности колеса F-типа (свободновихревое). Для сточных вод, очищенных с помощью решетки, напротив, рекомендуются закрытые колеса K-типа благодаря их высокому КПД. В насосах небольшого и среднего размеров для более крупных твердых веществ применяются только свободновихревые и одноканальные колеса, поскольку они обладают необходимым свободным проходом.

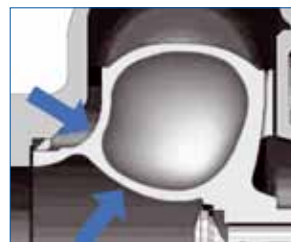


Рис. 2.2: Области, подверженные опасности при попадании волокон. Длинноволокнистые фрагменты (текстиль, чистящие средства и предметы гигиены, фрагменты растений) создают угрозу эксплуатационной надежности при использовании закрытых колес (с покрывным диском). Критическая область располагается у входной кромки, а также в боковой полости колеса со стороны всасывания. В связи с утечкой через щелевое уплотнение между рабочим колесом и корпусом насоса в данной области возникает опасность образования повышенной концентрации волокон (Рис. 2.2), что может привести к так называемому пригоранию (Рис. 2.3). Более узкая щель, размеры которой остаются стабильными благодаря износостойким материалам, может помочь снизить риск. Это дополнительно обеспечивает преимущество стабильного КПД.



Рис. 2.3: Пригорание

**Таблица 2.1: Ожидаемые значения показателей сред в сфере водоотведения и очистки сточных вод.**

|                               | Содержание газа<br>Объемный % | Содержание<br>волокон | Размеры твер-<br>дых веществ | Сухой<br>остаток (%) | Содержание<br>песка (г/л) |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|
| Дождевая и поверхностная вода | -                             | незначительное        | малые                        | -                    | 0 - 3                     |
| Сточные воды (СВ)             |                               |                       |                              |                      |                           |
| - коммунальные СВ             |                               |                       |                              |                      |                           |
| - бытовые СВ                  | 0 - 2                         | среднее               | среднее                      | -                    | 0 - 3                     |
| - производственные СВ         | 0 - 2                         | высокое               | высокое                      | -                    | 0 - 3                     |
| - промышленные СВ             | 0 - 2                         | высокое               | высокое                      | 0 - 5                | 0 - 3                     |
| Вода с песком                 | -                             | -                     | -                            | -                    | 8 - 10                    |
| Ил                            |                               |                       |                              |                      |                           |
| - активный ил                 | 2 - 4                         | незначительное        | малые                        | 1 - 2                | -                         |
| - первичный ил                | 2 - 4                         | незначительное        | малые                        | 2 - 6                | -                         |
| - вторичный ил                | 2 - 4                         | незначительное        | малые                        | 2 - 3,5              | -                         |
| - уплотненный ил              | 3 - 6                         | незначительное        | малые                        | 2 - 5                | 0 - 2                     |
| - стабилизированный ил        | -                             | незначительное        | малые                        | 5 - 10               | -                         |
| - обезвоженный ил             | -                             | незначительное        | малые                        | 20 - 30              | -                         |
| - высушенный ил               | -                             | незначительное        | малые                        | 30 - 50              | -                         |

**Таблица 2.2: Границы применения для различных типов рабочих колес.**

|   | Содер-<br>жание<br>газа | Содержание<br>волокон | Размеры<br>твердых<br>веществ | Сухой<br>остаток (%) | Содержание<br>песка (г/л) * |
|---|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Режущее устройство                              | -                       | среднее               | -                             | 2                    | -                           |
| Свободновихревое рабочее колесо (колесо F-типа) | ≤ 8                     | высокое               | большие                       | < 8                  | ≤ 10                        |
| Закрытое одноканальное колесо (колесо E-типа)   | ≤ 2                     | среднее               | большие                       | ≤ 6                  | ≤ 6                         |
| Открытое одноканальное колесо (колесо D-типа)   | ≤ 4                     | высокое               | большие                       | ≤ 13                 | ≤ 4                         |
| Закрытое двухканальное колесо (колесо K-типа)   | -                       | незначительное        | среднее                       | ≤ 3                  | ≤ 4                         |
| Открытое двухканальное колесо                   | 4                       | высокое               | среднее                       | 6                    | ≤ 6                         |
| Многоканальное колесо (колесо K-типа)           | -                       | малые                 | малые                         | ≤ 5                  | ≤ 6                         |

\* при условии использования соответствующего материала

При оценке КПД недостаточно просто сравнить показатели максимальной эффективности насосов. В большей степени это зависит от того, насколько высок КПД в фактически имеющихся рабочих точках. Кроме того, с точки зрения затрат энергии следует учитывать предполагаемую наработку насоса. В не-

которых областях применения насосы могут работать более 4000 часов в год, в то время как в случае насосов под давлением или сливных насосов для дождевой воды продолжительность эксплуатации часто составляет значительно менее 100 часов в год.

Таким образом, при выборе канализационного насоса, наряду с общим требованием эксплуатационной надежности, для насоса, работающего в течение продолжительного времени, основным показателем является КПД, а не капитальные затраты, как для насоса бытового водоотвода под давлением.

## 2.2

### Выбор материала для различного применения

Серый чугун, в особенности JL1040, применяемый для изготовления основных деталей погружных насосов «мокрой» установки, хорошо зарекомендовал себя в сфере коммунального водоснабжения и сточных вод.

Данный материал имеет множество преимуществ: Химическая стойкость чугуна в нейтральной среде также надежна, как и его сопротивляемость гидроабразивному износу. Следует отметить, что литейная корка, значительно обогащенная углеродом, окисью железа и окисью кремния, обладает высокой устойчивостью к износу и коррозии. Поэтому современные конструкции производятся с минимальной обработкой, чтобы как можно дольше сохранять литейную корку.

Хорошее демпфирование колебаний в совокупности с низким модулем упругости проявляется как в корпусных деталях, так и для опорного колена. Относительно низкая цена килограмма чугуна также позволяет производителю обеспечить стабильную и надежную конструкцию, позволяющую предотвратить риск раскрытия фланцевого сое-

динения насоса с опорным коленом при повышенном давлении.

По сравнению с листовой качественной сталью серый чугун в качестве материала для корпуса двигателя обеспечивает очень хорошую теплопроводность. В более чем 90 % случаев применения выбирают преимущественно серый чугун.

### Высокоабразивные перекачиваемые среды

В случае применения в песколовках или в сферах, где вместе с дождевой водой в канализационную систему попадает большое количество песка, может возникнуть необходимость в разработке рабочего колеса или даже корпуса насоса с повышенной сопротивляемостью абразивному износу. В данном случае рекомендуется использовать высоколегированный серый чугун 0.9635. В ходе испытания модели на износ показатель линейного износа JL1040 достиг 20-кратного значения по сравнению с 0.9635.

Что касается корпусных деталей, в последние годы себя также хорошо зарекомендовало нанесение защитного слоя. Следует учитывать, что технология нанесения защитного слоя определяется со-

ставом наносимого покрытия. Кроме того, покрытие, используемое для нанесения защитного слоя, должно подбираться в соответствии с видом и концентрацией твердых веществ в перекачиваемой жидкости. При использовании для рабочих колес, защитный слой имеет слишком короткий срок службы поэтому его нанесение в данном случае не рекомендуется.



### Насосы для коррозионных перекачиваемых сред

Чаще всего для этих целей применяются такие дуплексные стали, как 1.4517 и 1.4593. Чистые аустениты, например, 1.4408, менее износостойчивы и недостаточно стойки в морской воде.

Наряду с высокой коррозионной стойкостью дуплексные стали с соотношением аустенит/феррит, равным 1:1, обладают как отличными механическими свойствами (прочность, относительное удлинение при разрыве), так и приемлемой износостойкостью. Для обеспечения продолжительного срока службы насоса в морской воде необходимо, чтобы так называемое число PREN (числовой эквивалент стойкости к питтинговой коррозии) материала было равно 35 или даже 38 (Рис. 2.4).

Нанесение одних только защитных покрытий для таких коррозионных сред, как, например, морская вода, действует ограниченно. В случае даже незначительного повреждения защитного покрытия процесс коррозии может начать беспрепятственно распространяться под защитным слоем.

Специальный защитный слой в сочетании с катодной защитой на основе анодов позволяет добиться отличной стойкости. Так, аналогичные решения для насосов с корпусом, изготовленным из JL1040, уже более 5 лет используются в насосных станциях на Красном море – без видимых признаков коррозии. Качественное техобслуживание и регулярная установка новых анодов (каждые 1-2 года) являются важными условиями достижения таких результатов. При установке насос не должен быть электропроводно связан с другими устройствами с большой поверхностью, например, трубопроводом, решетками

или похожими деталями.

В данном случае аноды могут быть преждевременно израсходованы вследствие неблагоприятного катодно-анодного соотношения, что приведет к повреждению защиты насоса.



Рис. 2.4: Насос KRT для морской воды, выполненный из дуплексной стали

### Щелевые кольца (колеса К- и Е-типа) / бронедиск (колеса D-типа)

Зазор между щелевым кольцом и рабочим колесом с вращающимся щелевым кольцом рабочего колеса или без него определяет объем утечки.

Также, он существенно влияет на КПД насоса. Если размеры зазора остаются постоянными, КПД насоса, как правило, тоже остается неизменным. Если зазор увеличивается в результате износа, КПД насоса уменьшается, так как полезная подача сокращается. Кроме того, увеличившийся зазор, как было описано в разделе «Выбор рабочего колеса», увеличивает риск пригорания.

Поскольку в средах, для которых применяются колеса К-типа, обычно присутствует лишь небольшая доля твердых веществ, для щелевых колец, как правило, в этом случае достаточно применения чугуна JL1040. Для более высоких требований применяются материалы с более высокой износостойкостью. Для колес К-типа компания KSB в качестве альтернативы может предложить полуаустенитное хромоникелевое стальное литье (VG 434).

Сопоставимым материалом является 1.4464. Для щелевых колец колес Е-типа может применяться даже высоколегированный серый чугун (0.9635). Это также действительно и для бронедисков колес D-типа. И в этом случае для обеспечения лучшей износостойкости в качестве альтернативы JL1040 предлагается высоколегированный серый чугун 0.9635. Для повышения износостойкости кромок и поверхностей щелевых колец и рабочих колес, подверженным большим износным нагрузкам, для деталей, изготовленных из JL1040, успешно применяется упрочнение с глубиной проникновения в несколько миллиметров.

### Вал

Для изготовления валов компания KSB использует ферритную хромистую сталь (1.4021). Данный материал обладает высокой прочностью и в более чем 90 % случаев применения является устойчивым к коррозии. При использовании в высококоррозионных средах, например, в морской воде, необходимы дуплексные стали с соответствующими показателями PREN. В 2- и 4-полюсных двигателях это может приве-

сти к тому, что во избежание намагничивания вал выполняется из двух частей, сваренных трением, причем часть вала со стороны двигателя изготовлена из феррита.

### 2.3 Уплотнение вала

На протяжении многих десятилетий уплотнение вала в погружных насосах производится двумя торцовыми уплотнениями в tandemном расположении (Рис. 2.5).

Камера между торцовыми уплотнениями должна быть заполнена соответствующей жидкостью на 85-90 %.

Оставшаяся воздушная подушка предохраняет от чрезмерного повышения давления в камере в случае увеличения температуры, предотвращая выдавливание контркольца со стороны насоса. Задача жидкости – образовывать смазочную пленку между поверхностями скольжения контркольца и вращающегося кольца обоих торцовых уплотнений. Эта смазка является условием низкого уровня износа поверхностей скольжения.



При использовании погружных насосов в целях, связанных с обработкой сточных вод, всегда присутствует возможность выделения газа из среды в корпусе насоса. Газ всегда собирается в области самого низкого давления, т.е. в области торцовых уплотнений. Без отдельной смазки срок службы торцовых уплотнений насосов был бы крайне ограничен. В качестве материала для изготовления контр- и вращающегося колец скольжения стандартно используется пара карбид кремния/карбид кремния (SiC/SiC). Данный материал обладает относительно низкой аварийной антизадириной способностью, но при этом очень хорошей устойчивостью к воздействию твердых материалов.

Эластомеры торцовых уплотнений производятся из бутадиенакрилонитрильного каучука (NBR) или витона (Viton), поскольку этиленпропиленовый каучук (EPDM) не совместим с маслами. Использование политетрафторэтилена (тефлона PTFE) оправдано только в требовательных областях применения.

Торцовые уплотнения чаще всего выполняются с резиновым сильфонным вторичным уплотнением и одиночной пружиной (Рис. 2.6а). Такое сильфонное уплотнение вы-

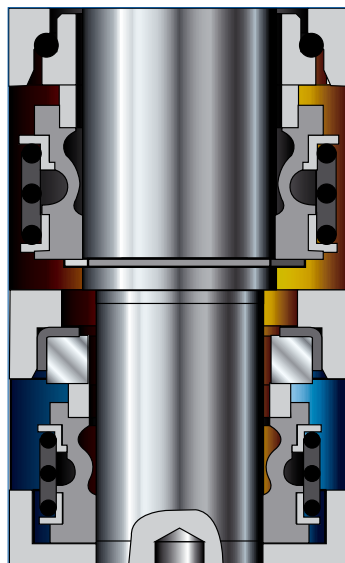


Рис. 2.5: Типичное тандемное расположение торцовых уплотнений с масляной камерой

годно не только благодаря умеренным затратам. Сильфон полностью компенсирует прогиб вала под действием радиальных сил в насосе, не вызывая при этом перемещения относительно вала. Это позволяет избежать износа вала и не требует применения защитной втулки вала.

Для типоразмеров с диаметрами вала > 100 мм сильфонные уплотнения с одиночными пружинами больше не применяются из-за монтажных проблем. Для данных размеров рекомендованы статически разгруженные уплотнения (Рис. 2.6б). При использовании стационарных уплотнений кольцо скольжения находится в корпусе и прижимается к вращающемуся кольцу скольжения пружинами, не



Рис. 2.6а: Торцовое уплотнение с резиновым сильфоном, производство EagleBurgmann MG1



Рис. 2.6б: Торцовое уплотнение, производство EagleBurgmann HJ



Рис. 2.7: Статически разгруженное торцовое уплотнение

соприкасающимися со средой.

Для перекачивания сред, содержащих острогранные примеси, как в случае насосов для удаления стружек при механической обработке, или сред с длиноволокнистыми примесями, а также для меньших типоразмеров необходимы торцовые уплотнения с защищенными пружинами.

В качестве смазочной жидкости компания KSB применяет нетоксичное биоразлагаемое легкое масло. В случае использования смазки для торцовых уплотнений одновременно и в качестве охлаждающей жидкости для двигателя насоса применяется водно-гликолевая смесь.

## 2.4

### Ротор и подшипниковая опора

Очевидно, что правильное определение параметров вала и подшипников в соответствии с нагрузками в пределах допустимого рабочего диапазона является обязательным условием.

В случае ненадлежащего режима эксплуатации за пределами допустимого рабочего диапазона могут быть повреждены, наряду с торцовым уплотнением, прежде всего подшипники, а также вал. Различные основания установления пределов рабочего диапазона подробнее описаны в разделе «Общие указания по выбору насоса».

В связи с особенностями установки не всегда исключается работа насоса на закрытую задвижку. Наряду со значительными усилиями на подшипниковых опорах,

силы, действующие на рабочее колесо, приводят к прогибу вала. Такой прогиб может привести к задеванию рабочего колеса за щелевое кольцо, что в свою очередь, при более продолжительной эксплуатации, послужит причиной увеличения зазора между рабочим колесом и щелевым уплотнительным кольцом.

Определение параметров подшипников погружных насосов с приводом мощностью более 4 кВт обычно осуществляется для расчетного срока службы подшипников, составляющего не менее 25 000 ч, при эксплуатации на границах устойчивой работы  $Q_{\min}$  и  $Q_{\max}$ . Таким образом, при использовании в стандартном режиме работы, как правило, подшипники имеют гораздо более продолжительный срок службы.

Для насосов меньшего размера исходят из меньшего расчетного срока службы подшипников. Если небольшие насосы устанавливаются для продолжительного пробега, данное требование указывается в спецификации заказа.

Обычно применяется консистентная смазка подшипников. Для насосов малой и средней мощности (< 65 кВт), как правило, используются

закрытые подшипники со смазкой на весь срок службы. Насосы большей мощности часто нуждаются в пополнении смазки. Такие насосы снабжены специальным устройством для пополнения смазки. Необходимые данные о качестве и количестве консистентной смазки, а также периодичности технического обслуживания, содержатся в инструкции по эксплуатации насоса.

## 2.5 Установка

Существует три основных варианта установки погружных насосов: переносная установка (Рис. 2.8), стационарная «мокрая» установка (Рис. 2.9) и вертикальная «сухая» установка (Рис. 2.10).

В случае переносной установки необходимо обеспечить устойчивое крепление насоса в насосном зумпфе, а также наличие подъемного устройства, необходимого для подъема установленных насосов.

Стационарная «мокрая» установка осуществляется на опорном колене, прочно установленном на дне бассейна. Опорное колено для установки насоса должно соответствовать допустимой нагрузке и соединительным

размерам закрепленного на напорном фланце насоса захвата (или зубца). Присоединительные размеры не стандартизированы. Для тяжелых насосов требуется крепление к бетонному полу с помощью фундаментных шин. Крепление опорного колена или фундаментных шин выполняется при помощи анкерных болтов (клеевых анкеров), соответствующих строительно-техническим требованиям, установленных в бетонном полу достаточной прочности (не ниже класса С25/С30 по стандарту DIN 1045) (Рис. 2.11 а+b). Необходимо обеспечить достаточно большое расстояние от всасывающего патрубка насоса

до дна резервуара. Конкретные указания содержатся в разделе «Устройство насосной станции». Перед монтажом насоса следует полностью собрать нагнетательный трубопровод и установить направляющее устройство насоса. Указания по монтажу трубопровода также изложены в разделе «Устройство насосной станции». В качестве направляющего устройства применяются две различные системы с тросовыми и штанговыми направляющими (Рис. 2.12 а+b + 2.13). При сравнении (Табл. 2.3) преимущества тросовых направляющих очевидны.

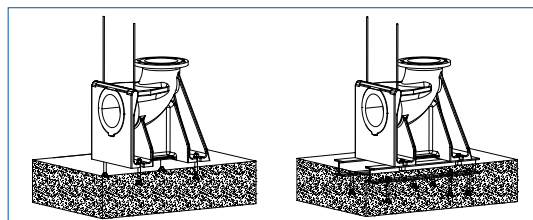


Рис. 2.11а+b:  
Крепление опорного колена или фундаментных шин.



Рис. 2.8: Канализационный насос переносной установки.



Рис. 2.9: Канализационный насос стационарной «мокрой» установки.



Рис. 2.10: Канализационный насос вертикальной «сухой» установки.

KSB в основном использует тросовые направляющие в качестве стандартного решения; в качестве альтернативного варианта, соответственно, доступны штанговые направляющие.

Верхние кронштейны направляющих устройств также крепятся с помощью анкерных болтов к бетонной

стене или перекрытию в соответствии с установленным способом. При большой глубине монтажа в случае использования тросовых направляющих необходимы промежуточные опоры. При использовании штанговых направляющих рекомендованы промежуточные консоли, расположенные на расстоянии 6 м, которые крепятся

либо к нагнетательному трубопроводу при помощи скоб, либо непосредственно к стенке насосной шахты.

«Сухая» установка осуществляется согласно процедуре для насосов «сухой» установки, и поэтому здесь подробнее не рассматривается.



Рис. 2.12а: Тросовые направляющие



Рис. 2.12б: Тросовые направляющие



Рис. 2.13: Штанговые направляющие

**Таблица 2.3: Сравнение тросовой и штанговой направляющих.**

| Тросовые направляющие  | Штанговые направляющие   |
|--|--|
| Простая беспроблемная транспортировка  | Проблемы с транспортированием штанг  |
| Быстрый и экономичный монтаж   | Недостаток гибкости при строительных отклонениях   |
| Компенсация монтажных погрешностей без дополнительных затрат   | Слишком высокие затраты при больших глубинах монтажа   |
| Возможна установка в наклонном положении, вплоть до + 5°   | Проблемы коррозии штанговых направляющих   |
| Гибкая и технически безопасная подгонка при различных глубинах монтажа до 85 м                       | Коррозионностойкие штанги требуют слишком высоких затрат   |
| Тросовые направляющие из коррозионностойкой качественной стали 1.4401 (316)                          | Проблемы с уплотнением (соприкосновение металлических деталей или сдвиг пластмассового уплотнения) у опорного колена |
| Тросовые направляющие входят в объем поставки KSB  | Ограниченный доступ к арматуре в связи с негибкими штангами  |
| Проблемы загрязнения при сильном притоке в шахте насоса и в бассейне взвешенного ила (иловой камеры) | Нечувствительность к загрязнению волокнами   |

### 3. Общее описание двигателя

Двигатель насосов серии KRT представляет собой асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, непроницаемый для воды, сконструированный и спроектированный специально для привода погружного насоса (Рис. 3.1 и Рис. 3.2). Данная модель выполняется как во взрывозащищенном (тип взрывозащиты – «взрывонепроницаемая оболочка»), так и в общепромышленном исполнении. Насос и двигатель имеют общий насосно-двигательный вал и, таким образом, образуют единое целое (электронасос). Для описанных ниже специальных двигателей насосов отсутствуют установленные электротехнические нормы; тем не менее по мере возможности соблюдается стандарт DIN EN 60034.

Погружные насосы KSB являются затопляемыми несамовсасывающими моноблоками, причем в нормальном режиме они работают полностью погруженными в воду. Периодически они могут использоваться при неполном погружении, при этом до-

пускаемая температура двигателя контролируется при помощи установленного в двигателе температурного датчика. Также необходимо следить за минимальным уровнем жидкости, указанным в инструкции по эксплуатации.

Для режимов эксплуатации, постоянно требующих частичного погружения, имеется модель двигателя с охлаждающей рубашкой, которая обеспечивает необходимое охлаждение двигателя независимо от уровня жидкости в зумпфе насоса.

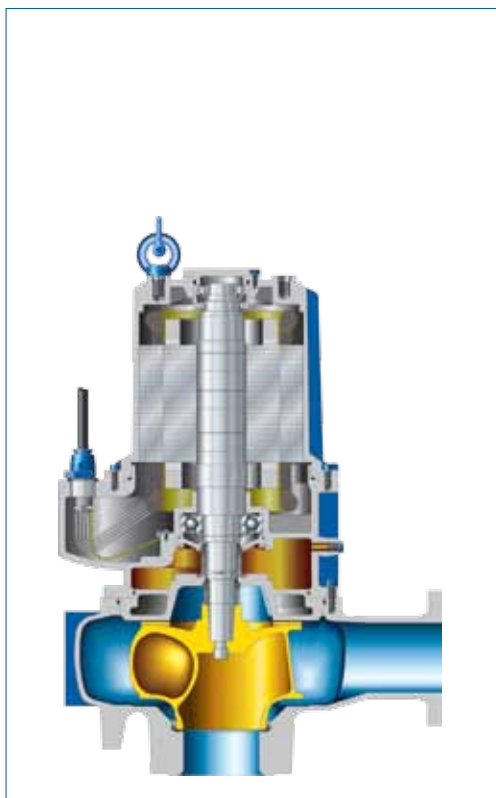


Рис. 3.1: Разрез KRT, 4-60 кВт.

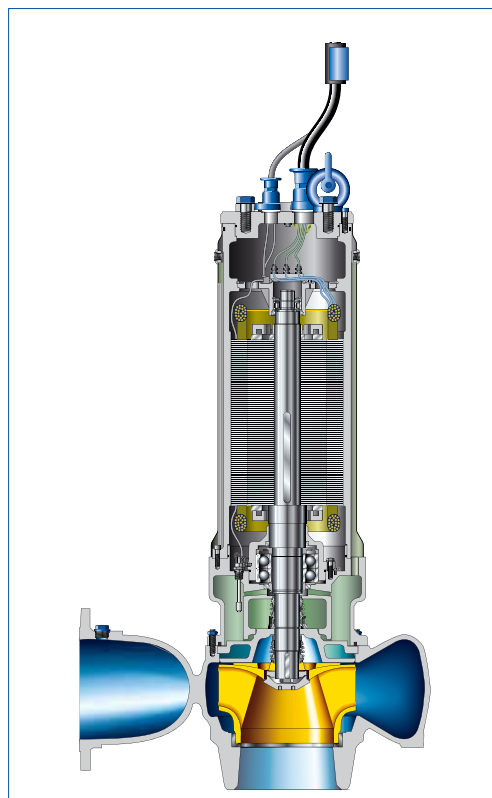


Рис. 3.2: Разрез KRT, > 60 кВт.

### 3.1

#### Параметры двигателей

|  |  |
|--|--|
| Стандартная расчетная мощность<br>(зависит от количества полюсов): | от 4 до 480 кВт, кроме того до 880 кВт |
| Стандартное количество полюсов<br>(зависит от мощности):           | 2-10-полюсные                          |
| Стандартное расчетное напряжение:                                  | 400/690 В, 50 Гц 460 В; 60 Гц          |

- Примечание:
1. Для 60 Гц возможно расчетное напряжение в диапазоне от 200 до 575 В.
  2. Более высокая расчетная мощность и другое расчетное напряжение (в том числе высокое напряжение выполняется по специальному запросу).
  3. Индивидуальные параметры двигателей представлены в спецификациях двигателей (входит в состав проектной документации или предоставляется по запросу).

### 3.2

#### Конструкция

Двигатели KRT выпускаются по аналогии с конструкцией IM V10 (по стандарту DIN EN 60 034-7).

#### Установка двигателя

Двигатель устанавливается в сборе с насосом (моноблок) непосредственно в зумпф насоса, при этом во время эксплуатации двигатель погружен в перекачиваемую среду. Периодически он может использоваться в неполностью погруженном состоянии, при этом допустимая температура двигателя контролируется при помощи установленного в двигателе температурного датчика. При этом необходимо следить за минимальным уровнем жидкости, указанным в инструкции по эксплуатации. Для больших погружных насосов минимальный уровень воды, как правило, определяется на основе

гидравлических параметров (например, воронка подсоса воздуха, допустимый кавитационный запас). Температура перекачиваемой среды: макс. 40°C по стандарту.

Для эксплуатации при температурах > 40°C и < 60°C разработана модель для теплой воды. Модели для эксплуатации при температурах > 60°C поставляются по специальному запросу.

#### Типоразмеры

Типоразмеры для стандартных двигателей, изготовленных в соответствии с IEC 72, неприменимы для интегрированных погружных насосных

агрегатов (электронасосов); тем не менее, сечение статорного железа для двигателей соответствует общепринятым, так называемым параметрам или типоразмерам МЭК (Международная электротехническая комиссия).

#### Глубина погружения

Погружные насосы KRT могут эксплуатироваться при глубине погружения 30 м без специальных мер предосторожности.



### 3.3

#### Режим работы

Двигатели KRT без системы охлаждения (способ установки -S) рассчитаны на режим непрерывной работы S1 (по стандарту DIN EN 60034-1) под водой. В положении неполного погружения при «сухом ходе» двигатель переключается на режим S3 с помощью биметаллического выключателя в обмотке двигателя.

Двигатели KRT с системой охлаждения (способ установки -K, -D) подходят для любых уровней воды при работе в режиме непрерывной эксплуатации S1 (по стандарту DIN EN 60034-1).

### 3.4

#### Степень защиты

Двигатель KRT изготовлен со степенью защиты IP 68 по стандарту DIN EN 60 034-5. Весь агрегат выполнен со степенью защиты IP 68 по стандарту DIN EN 60 529.

### 3.5

#### Типы взрывозащиты и температурные классы

Взрывозащищенные двигатели Amarex KRT производятся с типами взрывозащиты Ex II2G Ex d IIB T3 и частично T4 по стандартам DIN EN 60079-0 / DIN EN 60079-1 и

предназначены для применения в Зоне 1. В условном обозначении двигателей используются следующие буквенные индексы: X -> T3 и Y -> T4

### 3.6

#### Электрические параметры

##### Мощность

Чтобы продлить срок службы двигателя рекомендуется использование при отклонениях сетевого напряжения в размере  $\pm 5\%$ , а также допустимых отклонениях частоты сети  $\pm 2\%$ , соответствующих области А по стандарту DIN EN 60 034-1.

Более того, двигатели Amarex KRT в положении под водой могут неограниченно отдавать мощность, если сетевое напряжение колеблется в максимальных пределах  $\pm 10\%$ , а частота сети – в максимальных пределах  $\pm 2\%$  по сравнению с расчетными значениями.

##### Напряжение и частота

Двигатели KRT полностью функциональны в соответствии со стандартом DIN EN 60034-1 п. 12.3 1, если по сравнению с расчетными значениями сетевое напряжение колеблется в пределах  $\pm 10\%$ , а частота сети – в пределах  $-5\% / + 3\%$  – соответствует области В по стандарту DIN EN 60 034-1.

#### Ток и пусковой ток

В зависимости от размеров двигателя пусковой ток равен 4 - 9-кратному значению расчетного тока при расчетном напряжении у клемм двигателя. Индивидуальные значения пускового тока: см. каталог двигателей или проектную документацию.

#### Условия запуска и включения

Включение двигателей KRT может осуществляться как путем переключения со звезды на треугольник, так и напрямую. Для этого концы обмотки выведены наружу. Если значение отношения пускового тока ограничивается эксплуатационной службой, KSB предоставляет заказчикам рассчитанные кривые пуска двигателя (характеристические кривые M - n) для определения размеров и параметров устройства плавного пуска или пускового трансформатора, в качестве альтернативы переключению со звезды на треугольник при сетевом напряжении 400 В.

В случае применения устройств плавного пуска необходимо обратить внимание на электромагнитную совместимость по стандартам EN 50081 и EN 50082. При выборе устройства плавного пуска учитывайте данные производителя и электрические параметры двигателя, в частности, данные расчетного тока.

**Время пуска**

Время пуска погружных насосов Amarex KRT составляет менее 1,5 с в случае прямого включения при расчетном напряжении.

**Допустимое время блокировки**

Допустимое время блокировки при расчетном напряжении составляет:

При «холодном» пуске:  
≤ 25 с

При «теплом» пуске: ≤ 5 с

**Моменты**

Поскольку в случае погружных насосов речь идет об агрегате в сборе (моноблок), не требуются данные об инерционном, пусковом и опрокидывающем моменте для двигателя. Для оптимальной настройки плавного пуска соответствующие кривые предоставляются по запросу.

**Эксплуатационное соединение**

В двигателях KRT, независимо от выбранной схемы включения, шесть концов статорной обмотки по соответствующим проводникам выводятся наружу. В зависимости от напряжения далее они могут быть подключены как треугольником (например, 400 В / 50 Гц или 460 В / 60 Гц), так и звездой (например, 690 В / 50 Гц). Схемы

| Мощность двигателя | Максимальное количество переключений |
|--------------------|--------------------------------------|
| до 7,5 кВт         | 30/ч                                 |
| свыше 7,5 кВт      | 10/ч                                 |

присоединения двигателей: см. проектную документацию или по запросу.

**Частота переключений**

Чтобы предотвратить термическую перегрузку ротора, а также избежать механические перегрузки подшипника и электрические перегрузки изоляции, нельзя превышать установленное количество включений в течение одного часа (Табл. 3.1). Также следует учитывать взаимосвязь между подачей насоса и объемом жидкости в насосном зумпфе. Кроме того, рекомендуется ограничить количество переключений в год до максимального значения 5000.

**Направление вращения**

Правильное направление вращения – это направление вращения, при котором вал вращается против часовой

стрелки, если смотреть на насосный конец вала. Проверку направления вращения рекомендуется проводить кратковременным пуском перед установкой (спуском) насоса на место работы (см. инструкцию по эксплуатации).

**Индивидуальные параметры двигателя**

Индивидуальные параметры двигателя, например, зависящий от нагрузки КПД, коэффициент мощности, расчетный ток и т.д., предоставляются по запросу в форме спецификаций двигателей, включая графики нагрузки, или содержатся в проектной документации.

**Типовая табличка**

На рис. 3.3 изображена типовая табличка погружного насосного агрегата в сборе.

|   |                                   |                                       |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| KSB Aktiengesellschaft<br>67227 Frankenthal   |                                   | CE                                    |
| TYPE Amarex KRTK 100-250 / 74 XKG-S   |                                   |                                       |
| No. 9971235943/000100   | II2G Ex dc IIB T3                 |                                       |
| Q 150 m <sup>3</sup> / h  | II                                | 14 m 2010                             |
| TEMP. MAX. 40 °C  | 0155 kg                           |                                       |
| MOTOR IP 68 SUBM MAX. 30 m CLASS H  | DKN 160.4-8 3 ~ M.-No. 123456     |                                       |
| P <sub>2</sub> 7,5 kW   | 400/690 V                         | 50 Hz PF 0.84                         |
| 1480 min <sup>-1</sup>  | 14,3/8,3 A                        | I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub> 7,3 S1 |
| CE 0035   | II2G Ex d IIB T3 PTB 02 Atex 1055 |                                       |
| WARNUNG - NICHT UNTER SPANNUNG ÖFFNEN<br>WARNING - DO NOT OPEN WHEN ENERGIZED<br>AVERTISSEMENT - NE PAS OUVRIR SOUS TENSION |                                   |                                       |

Рис. 3.3: Типовая табличка двигателя



### 3.7

#### Двигатели KRT с преобразователями частоты

При работе двигателей KRT с преобразователями частоты необходимо соблюдать указания по эксплуатации погружных насосов, снабженных преобразователями частоты производства компании KSB AG или соответствующие рекомендации EUROPUMP.

Двигатели KRT подходят для использования с преобразователями частоты. С этой целью могут применяться любые стандартные преобразователи частоты IGBT с промежуточным контуром напряжения. Также для взрывозащищенных насосов отсутствуют какие-либо ограничения в отношении промышленных изделий. Изоляция двигателя предназначена для значений импульса напряжения до 1600 В. При расчетном напряжении выше 500 В может быть зафиксировано более высокое импульсное напряжение. В таких случаях преобразователи частоты следует оснащать dU/dt-фильтрами (фильтры ограничения нарастания напряжений) или установить двигатель с усиленной изоляцией (поставляется по специальному запросу).

Чтобы минимизировать риски при свободном комбинирова-

нии преобразователей частоты и двигателей, специалисты KSB рекомендуют обеспечить дополнительные резервы мощности в объеме 5%. В любом случае они могут компенсировать повышенные потери, связанные с высокочастотными гармониками в выходном напряжении преобразователя частоты.

#### 3.7.1

##### Определение параметров преобразователя частоты

При выборе преобразователя частоты следует учитывать данные производителя и электрические параметры двигателя. Расчетный ток двигателя в данном случае имеет большее значение по сравнению с расчетным напряжением, в особенности для двигателей с большим числом полюсов и низким коэффициентом мощности.

#### 3.7.2

##### Взрывозащищенные приводы

При эксплуатации взрывозащищенных двигателей KRT с использованием преобразователей частоты необходимо соблюдать следующие условия:

- Стационарные рабочие точки должны располагаться в диапазоне от 50 до 100% расчетной частоты. Эксплуатация при повышенной частоте

исключена соответствующими свидетельствами об утверждении типа изделия.

- Ограничение тока преобразователя частоты должно быть установлено на максимальное значение  $3 \times I_N$ .

- Прибор, отключающий насос по показаниям терморезистора, должен иметь знак соответствия нормам: РТВ 3.53 – РТС/А.

### 3.8

#### Конструкция двигателя

Двигатель агрегата погружного насоса серии KRT представляет собой асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, непроницаемый для воды, сконструированный и спроектированный специально для привода погружного насоса. Насос и двигатель имеют общий насосно-двигательный вал и, таким образом, образуют единое целое.

#### Статор

Статор двигателя KRT состоит из пакета статорного железа, в который вложена трехфазная обмотка из медной проволоки. Высококачественные эмалированные провода и изоляционные материалы (в пазах и головке обмотки), объединенные пропиткой из полиэфирной смолы, обеспечивают высокую механическую и электрическую прочность.

### Изоляционные материалы и класс нагревостойкости

Для изоляционной системы двигателя применяются только испытанные на рынке компоненты известных производителей. Все изоляционные материалы соответствуют классу нагревостойкости Н. Механическая обвязка головок обмотки выполняется с помощью различных технологий.

Обмотка двигателей при расчетных параметрах эксплуатации достигает температур класса нагревостойкости F.

### Ротор

Ротор двигателя представляет собой короткозамкнутый ротор, в стальном пакете которого расположена клетка ротора, которая в зависимости от размеров двигателя изготавливается из алюминиевого литья под давлением или из спаянной медной катушки и колец.

### Опора

В качестве опоры со стороны А и В до типоразмера 280 используются закрытые подшипники качения со смазкой на весь срок службы, а начиная с типоразмера 315 подшипники качения снабжены устройством для пополнения смазки. Используется высокотемпературная смазка на литиево-мыльной основе; качества смазки описаны в инструкции по эксплуатации.

### 3.9 Охлаждение

Основное охлаждающее средство двигателей – воздух. Он циркулирует внутри закрытой системы, проходя через лопасти вентилятора, установленные на обоих короткозамыкающих кольцах ротора, и выводит потерянное тепло двигателя через корпус в воду, являющуюся вторичным охлаждающим средством. Кодовое обозначение по стандарту EN 60034-6: IC 4 A 1 W 8

### 3.10 Контрольные устройства

#### Защита от перегрузок по току

Двигатель защищен от перегрузок с помощью термически замедленного реле максимального тока по стандарту DIN VDE 0660/ IEC 947 (Рис.3.5). Реле выставляется для расчетного тока двигателя, значение которого указано на типовой табличке (информация содержится в разделе «Типовая табличка» проектной документации или предоставляется по запросу).

#### Антиконденсатный обогрев перед пуском

Двигатели погружных насосов серии KRT не нуждаются в антиконденсатном обогреве (см. также раздел «Защита двигателя от влаги»). Конструкция, непроницаемая

для воды, позволяет избежать образования конденсата в двигателе. Возможная остаточная влажность воздуха в связи с монтажом связывается с помощью силикагелевого осушающего блока.

#### Сенсорная техника насосного агрегата

Контроль температуры обмотки без взрывозащиты (установка S и P / «мокрая»). Обмотка двигателя KRT защищена с помощью цепи контроля температуры. В качестве реле температуры при этом служат, в зависимости от размеров двигателя, два последовательно подключенных биметаллических выключателя или три последовательно подключенных терморезистора с положительным температурным коэффициентом (ПТК). Они отключают насос в случае нагревания его обмотки до максимально допустимой температуры и после охлаждения автоматически включают его. Поэтому реле должны быть подключены напрямую в цепь управления контроллера двигателя.

#### Контроль температуры обмотки с взрывозащитой (установка S и P / «мокрая»)

Взрывозащищенный двигатель KRT контролируется с помощью двух независимых температурных датчиков обмотки.

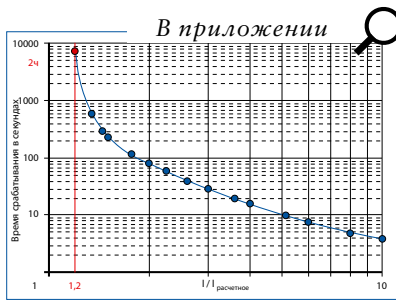


Рис. 3.5: Характеристика срабатывания для термически замедленного расцепителя максимального тока класса 10 по стандарту EN 60947-6-2

- Температурные датчики представляют собой два последовательно подключенных биметаллических выключателя. Они отключают насос в случае нагревания его обмотки до максимально допустимой температуры и после охлаждения автоматически включают его. Биметаллические выключатели защищают двигатели от перегрузок и «сухого хода».

- В качестве дополнительных тепловых реле установлены еще три последовательно подключенных терморезистора ПТК с температурой срабатывания на 20 кельвинов выше. Они отключают насос в случае возможного отказа температурных датчиков, прежде чем поверхность корпуса двигателя нагреется до температуры, превышающей предельно допустимую при взрывозащите температуру.

Установка и надлежащее функционирование данных устройств является обязательным требованием для взрывозащищенных насосов серии KRT. Повторное автоматическое включение при этом недопустимо. Для этого в цепи управления контроллера двигателя должен присутствовать стандартный отключающий по показаниям терморезистора прибор с блокировкой повторного включения. Контроль температуры обмотки погружных насосов, работающих в сухих условиях (способ установки К и D) осуществляется исключительно посредством терморезисторов ПТК.

#### Защита двигателя от влаги

Для контроля герметичности двигателя используется встроенный проводящий зонд, который используется в качестве датчика влажности. В случае попадания влаги ток повреждения проходит по нему к потенциалу корпуса (защитному проводу). При использовании датчика могут применяться стандартные электродные реле, которые при снижении сопротивления электрода до уровня менее 6 кОм подают аварийный сигнал. В небольших насосах контроль также может осуществляться с помощью стандартного защитного FI-выключателя силой тока в 30 мА.

#### Контроль температуры подшипников

Контроль температуры подшипников двигателя зависит от размеров двигателя:

- Мощность двигателя > 30 кВт: фиксированный подшипник со стороны насоса – по запросу

- Мощность двигателя > 60 кВт: фиксированный подшипник со стороны насоса – стандартный вариант, плавающий подшипник со стороны двигателя – по запросу.

Подшипники защищены с помощью цепей контроля температуры (Табл. 3.2).

В качестве реле температуры служат встроенные в корпус подшипника температурные датчики РТ 100, изменяющие сопротивление пропорционально температуре.

Расчетная формула:

$$R = 100 \, \Omega \cdot \left( 1 + 0.00383 \cdot \frac{T}{^{\circ}\text{C}} \right) \quad (17)$$

#### Контроль торцовых уплотнений

Контроль торцовых уплотнений является стандартным исполнением при мощности двигателя > 60 кВт. Контроль торцовых уплотнений осуществляется с помощью встроенного поплавкового выключателя (размыкающий контакт), контакт которого размыкается в случае попа-

дания воды в герметичную камеру утечки в результате повреждения торцовых уплотнений. В результате либо срабатывает аварийный сигнал, либо отключается двигатель. Размыкающий контакт выдерживает максимальное переменное напряжение в 250 В / 1,5 А.

#### Контроль виброскорости

Двигатели мощностью свыше 60 кВт по желанию заказчика могут быть оснащены датчиком контроля эффектив-

ной виброскорости, устанавливаемым на верхнем подшипнике. Датчик подает аналоговый измерительный сигнал 4 –20 мА. Для работы датчика требуется постоянное напряжение от 15 до 32 В.

Для погружных насосов компании KSB с многоканальным колесом (колесо К-типа) действительны предельные значения, приведенные в табл. 3.3.

Погружные насосы с одноканальным колесом (колесо Е-типа) могут работать с более высокой виброскоростью, до 17 мм/с в результате гидравлического дисбаланса, зависящего от рабочей точки. Насосы с данной функцией обычно оснащены экранированной линией управления.

**Таблица 3.2: Контроль температуры подшипников.**

|                                       |         |                |
|---------------------------------------|---------|----------------|
| 20°C                                  | 107.7 Ω | Тестирование   |
| 110°C                                 | 142.1 Ω | Предупреждение |
| 130°C                                 | 149.8 Ω | Остановка      |
| <b>Специальные смазочные средства</b> |         |                |
| 130°C                                 | 149.8 Ω | Предупреждение |
| 150°C                                 | 157.0 Ω | Остановка      |

**Таблица 3.3: Предельные значения виброскорости для погружных насосов с многоканальным колесом.**

| Vrms | Vrms   | Vpeak  | Выходной ток | Примечание            |
|------|--------|--------|--------------|-----------------------|
| мм/с | дюйм/с | дюйм/с | мА           |                       |
| 0    | 0,00   | 0,00   | 4,0          | Мин. датчика          |
| 9    | 0,35   | 0,50   | 11,2         | чем меньше, тем лучше |
| 11   | 0,43   | 0,61   | 12,8         | Аварийный сигнал      |
| 14   | 0,55   | 0,78   | 15,2         | Остановка             |
| 20   | 0,79   | 1,11   | 20,0         | Макс. датчика         |

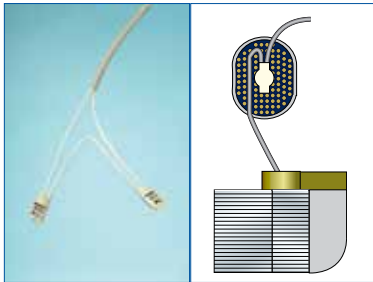
(см. также Руководство EUROPUMP / Вибрация в центробежных насосах. Таблица А.1 / Установка на амортизаторах, вертикальная)

## 3.11

## Подключение и описание контрольных устройств

## Термический контроль двигателя

Краткое описание сенсорной техники



20 21

21 22

10 11

## Биметаллические выключатели

- Термочувствительный мини-контакт
- Вклеен в обмотку двигателя
- Беспотенциальный нормальнозамкнутый контакт; 250 В ~; 2 А

Замкнут – температура в норме,  
разомкнут – температура слишком высокая.

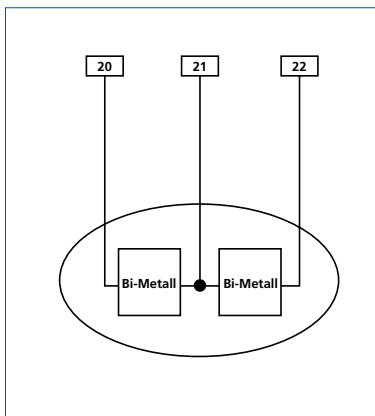
## Термистор с положительным температурным коэффициентом

- Зависящий от температуры полупроводниковый резистор с положительным температурным коэффициентом
- Вклеен в обмотку двигателя
- Макс. напряжение 30 В

R &lt; 1250 Ом – Температура нормальная

R &gt; 4000 Ом – Температура слишком высокая

Подключение при мощности двигателя до 4 кВт  
(только для погружных насосов типа «Amarex N»)



20 21

21 22

## Версия двигателя – U / W

Подключение напрямую в цепь управления не требуется, подключается к свободным зажимам

## Версия двигателя Y

Atex

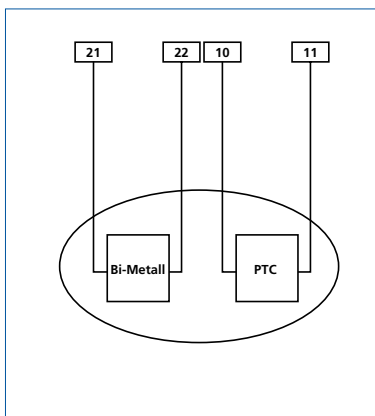
Подключение напрямую в цепь управления

Подключение терморезистора через отключающий прибор с блокировкой повторного включения

20 21

21 22

Сенсорная техника при мощности двигателя > 4 кВт  
(варианты установки S и P)



20 21

10 11

## Версия двигателя U / W / UN / WN

Подключение напрямую в цепь управления не требуется, подключается к свободным зажимам

## Версия двигателя X / Y / XN

Atex

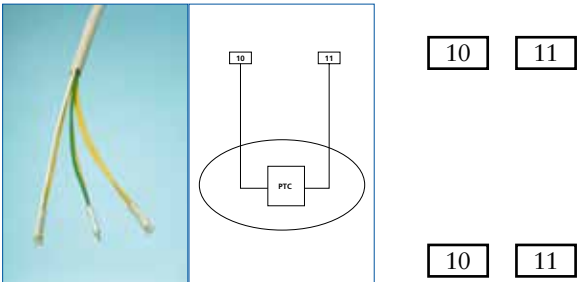
Подключение напрямую в цепь управления

Подключение терморезистора через отключающий прибор с блокировкой повторного включения

20 21

10 11

Подключение при мощности двигателя > 30 кВт  
(варианты установки К и D)



Версия двигателя UN

Подключение терморезистора через отключающий прибор с блокировкой повторного включения

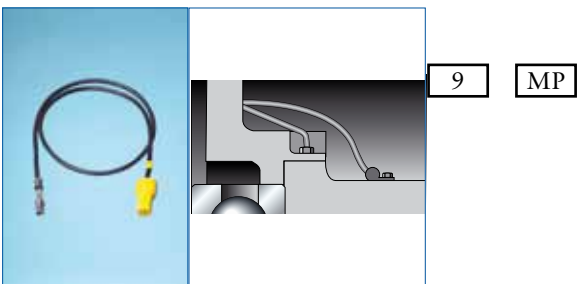
Версия двигателя XN

Atex

Подключение терморезистора через отключающий прибор с блокировкой повторного включения

**Контроль с помощью электродов – датчиков влаги (внутри двигателя)**

Краткое описание сенсорной техники



Датчик влаги

Проводящий зонд

Привинчен к опоре нижнего подшипника

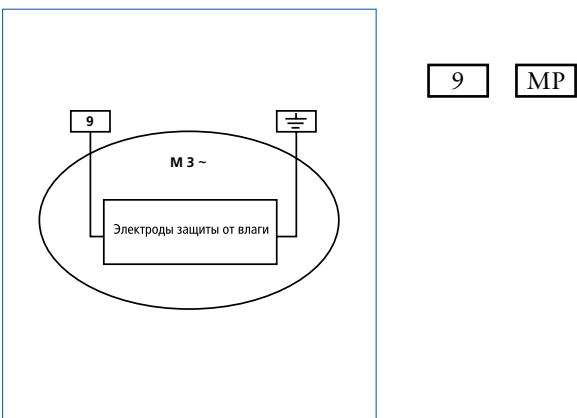
Для двигателей мощностью >65 кВт – дополнительно на опоре верхнего подшипника

Напряжение датчиков должно быть переменным, чтобы предотвратить образование изолирующей корки.

Макс. напряжение – 250 В

Срабатывание должно происходить при сопротивлении утечки около 6 кОм.

Подключение для всех типов двигателей



Версия двигателя U / X / Y / W / UN / XN / WN  
с/без Atex

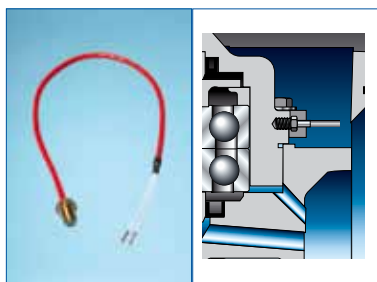
Подключение к электродному реле со следующими параметрами

Контур датчика 10 - 30 В~

Ток отключения 0,5 - 3 мА

### Термический контроль подшипников

Краткое описание сенсорной техники



15 16

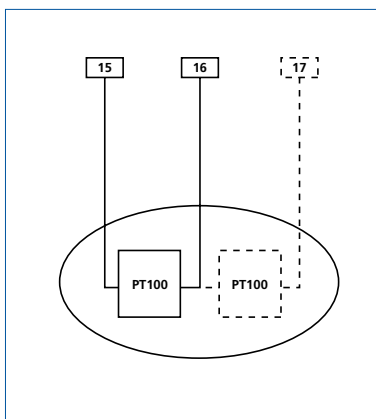
16 17

Шарикоподшипник – РТ100  
 Термометр сопротивления РТ100  
 Резьба М8 в корпусе подшипника  
 Аналоговый непрерывный температурный сигнал  
 Макс. напряжение – 6 В

Нижний подшипник

Верхний подшипник  
 (Двигатели >65 кВт – по запросу)

Подключение двигателей мощностью > 30 кВт



15 16

16 17

Версия двигателя U / X / Y / W  
 с/без Аtex

Подключение к коммутационному реле РТ100 со следующими параметрами  
 Температура предупреждения: 110°C  
 Температура отключения: 130°C

15 16

16 17

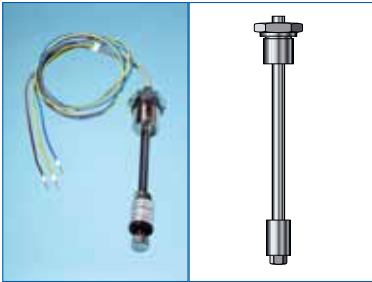
Версия двигателя UN / XN / WN  
 с/без Аtex

Подключение к коммутационному реле РТ100 со следующими параметрами  
 Температура предупреждения: 130°C  
 Температура отключения: 150°C



### Контроль торцовых уплотнений с помощью поплавкового выключателя

Краткое описание сенсорной техники



3 4

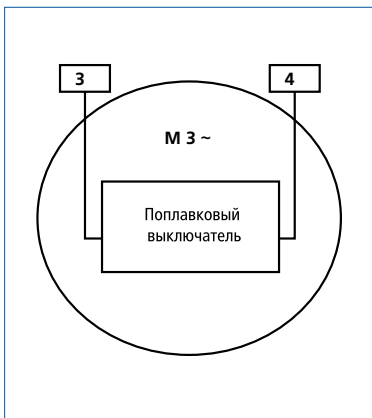
#### Поплавковый выключатель

Беспотенциальный нормальнозамкнутый контакт;  
250 В ~; 2 А

Замкнут – камера утечек пуста

Разомкнут – утечки, проверить торцовое уплотнение

Подключение для всех типов двигателей



3 4

Версия двигателя U / X / Y / W / UN / XN / WN  
с/без ATEX

подключение для аварийного сигнала или отклю-  
чения

### 3.12

#### Силовая линия и линия управления с кабельным вводом

Погружные насосы Amagex KRT поставляются со встроенными гибкими кабелями для использования в сточных водах. Подключение проводников кабелей осуществляется через специальные вводы, подключаемые в двигателе следующим образом:

- при мощности двигателя < 60 кВт со штепсельными контактами или соединением обжимом
- при мощности двигателя > 60 кВт с клеммной панелью и кабельными наконечниками.

#### Кабельный ввод

Кабельные вводы снабжены многократной защитой и абсолютно непроницаемы для воды под давлением до 30 м (Рис. 3.7):

1. Благодаря длинному резиновому сальнику
2. Оболочка кабеля дополнительно залита смолой
3. Отдельные жилы кабеля оголены, облужены и залиты смолой.

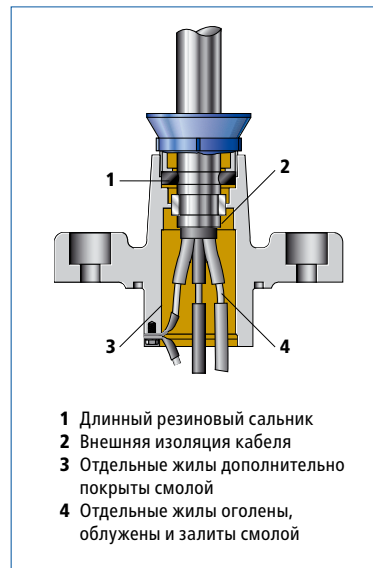


Рис.3.7: Кабельный ввод насоса серии KRT

Силовой кабель и кабель управления пригодны для погружения в сточные воды и механически очень прочны. В зависимости от условий эксплуатации на выбор предлагаются следующие типы кабелей:

- S1BN8-F / стандартные
- S07RC4N8-F / экранированные – по запросу
- Тефцель (Tefzel) с оболочкой кабеля из фторопласта-40 (ETFE) / по запросу – для химически агрессивных сред

Количество и сечение жил: см. проектную документацию, спецификацию двигателя или по запросу.

Преимущество:

Долгий срок службы двигателя благодаря абсолютной водонепроницаемости (см. также раздел «Водонепроницаемость»). Для обеспечения длительной и безопасной эксплуатации погружных насосов и продолжительного срока службы используются только высококачественные гибкие соединительные кабели для применения под водой. С этой целью компания KSB, в сотрудничестве с известным производителем кабелей, оптимизировала электрические соединительные кабели, пригодные для использования в сточных водах.

## 3.13

## Электрические соединительные кабели

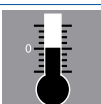
## Технические данные

## Краткое описание



90°C

200°C



Тонкожильный медный провод класса 5 по стандарту DIN VDE 0295

EPR-изоляция

Резиновая внутренняя оболочка

Специальная резиновая наружная оболочка из синтетического каучука

Цвет: черный

Допустимая длительная температура проводника

Допустимая температура проводника при коротком замыкании (до 5 с)

Характеристика горения по стандарту DIN EN 50265-2-1

Устойчивый к воздействию УФ-лучей, погодных условий и озона

Маслостойкий по стандарту DIN VDE 0473-811-2-1, часть 10

Гибкий

Температура при прокладке и транспортировке: от -25 до +80°C

0,6/1 кВ: с зелено-желтыми жилами

Применение в воде/ не для питьевой воды

Резиношланговые кабели OZOFLEX (PLUS) S1BN8-F разработаны для стандартных насосов компании KSB, а также для взрывозащищенных насосов. Они предназначены для подвижного присоединения погружных насосов KSB. Сечение проводов до 50 мм<sup>2</sup>.

В связи с различным и часто меняющимся составом сточных вод кабели применяются только в легкодоступных местах с возможностью контроля.

В агрессивных водах и водах с особым составом прочность кабелей следует проверять в каждом отдельном случае.

Они могут применяться для внутреннего протягивания, на открытом воздухе, во взрывоопасных областях, на пожароопасных производственных участках, в промышленности, на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях.

Кроме того, необходимо учитывать общие положения стандарта DIN VDE 0298-300.

Структура в соответствии со стандартом DIN VDE 0828-16

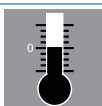
VDE -PEG № 7586

## 3.14

**Кабель из тефцеля  
(Tefzel) (TENESITE)**

135°C

270°C

**Технические данные**

Тонкожильный медный провод класса 5 по стандарту DIN VDE 0295

Изоляция TE400

Силиконовая внутренняя оболочка

Наружная оболочка TE-400

Цвет: черный

Допустимая длительная температура проводника

Допустимая температура проводника при коротком замыкании (до 5 с)

Характеристика горения по стандарту DIN EN 50265-2-1

Устойчивый к воздействию УФ-лучей, погодных условий и озона

Маслостойкий / общая химическая стойкость

Гибкий

450/750 В: с зелено-желтыми жилами

Применение в воде/ не для питьевой воды

**Краткое описание**

Шланговые кабели TENESITE (TEFZEL) жаро- и химически стойкие. Они предназначены для подвижного присоединения погружных насосов KSB в случаях, когда температура перекачиваемой и/или окружающей среды превышает 60°C, или когда необходима высокая химическая стойкость.

Область применения установлена в предписании Союза немецких электротехников (VDE) от 30.11.1983, а также приложении к нему от 14.10.1987.

В связи со структурой и используемыми материалами по сравнению с резиношланговыми проводами кабель TENESITE обладает ограниченной гибкостью

Кроме того, необходимо учитывать общие положения стандарта DIN VDE 0298-300.

Структура в соответствии со стандартом DIN VDE 0828-16

## 3.15

**Экранированный  
резиношланговый кабель**

90°С

250°С

**Технические данные**

Тонкожильный медный провод  
класса 5 по стандарту  
DIN VDE 0295

EPR-изоляция

Резиновая внутренняя оболочка

Экранирующая оплетка кабеля  
из облуженной медной проволоки

Специальная резиновая наружная  
оболочка из синтетического  
каучука

Цвет: черный

Допустимая температура про-  
водника

Допустимая температура про-  
водника при коротком замыка-  
нии (до 5 с)

Характеристика горения по  
стандарту DIN EN 60332-1-2

Устойчивый к воздействию УФ-  
лучей, погодных условий и озо-  
на

Маслостойкий по стандарту  
DIN EN 60811-2-1

Гибкий

Температура при прокладке и  
транспортировании: от -25 до  
+80°С

450/750 В: С зелено-желтыми  
жилами

Применение в воде/ не для пи-  
тьевой воды, DIN VDE 0282-16  
HD 22.16

**Краткое описание**

Резиношланговые провода  
OZOFLEX (FC+) S07RC4N8-F раз-  
работаны для выполнения подвиж-  
ного присоединения погружных на-  
сосов к преобразователю частоты.  
Они отвечают требованиям Дирек-  
тивы электромагнитной совмести-  
мости. Сечение проводов до 50 мм<sup>2</sup>.

В связи с различным и часто меня-  
ющимся составом сточных вод ка-  
бели применяются только в легко-  
доступных и контролируемых зо-  
нах.

В агрессивных жидкостях и воде с  
особым составом прочность кабе-  
лей следует проверять в каждом от-  
дельном случае.

Они могут применяться для вну-  
треннего протягивания, на откры-  
том воздухе, во взрывоопасных об-  
ластях, на пожароопасных произ-  
водственных участках, в промыш-  
ленности, на промышленных и  
сельскохозяйственных предприя-  
тиях.

Кроме того, необходимо учитывать  
общие положения стандарта  
DIN VDE 0298-300.

Структура в соответствии со стан-  
дартом DIN VDE 0282, часть 16

### 3.16

#### Контроль качества и протоколы испытаний

##### Стандартный поштучный контроль

Стандартный поштучный контроль двигателей KRT осуществляется в соответствии с заводскими стандартами компании KSB. Контроль включает в себя:

- Проверку сопротивления обмотки
- Измерение сопротивления изоляции
- Испытание обмотки высоким напряжением
- Проверку защитного провода
- Проверку контрольных устройств
- Ток холостого хода
- Контроль направления вращения.

#### Однократное типовое испытание

Испытания проводятся однократно в качестве типовых испытаний для каждого типа двигателя в соответствии с заводскими нормами, в дополнение к описанному поштучному контролю:

- Измерение сопротивления обмотки
- Испытание двигателя на нагрев в соответствии со стандартом DIN EN 60 034
- Измерение короткого замыкания для определения пускового тока при сниженном напряжении (альтернатива прямому включению с проведением осциллографических измерений)
- Определение КПД по методу определения отдельных потерь согласно стандарту DIN EN 60 034.

Опционально вместе с насосами поставляются свидетельства 2.2 (2.2-Свидетельства) конструктивно идентичного двигателя.

## 4. Трубопроводы и арматура

### Предварительные замечания

Условием бесперебойной эксплуатации, технически правильного монтажа и техобслуживания, а также высокой степени готовности технического оборудования является детальное проектирование. Это также касается трубопроводов и арматуры внутри и снаружи насосной станции или насосной установки.

Нагнетательный трубопровод используется для транспортировки перекачиваемой среды от насоса к конечному пункту.

Насос и нагнетательный трубопровод при этом рассматриваются как технико-гидравлическое единство. Графическое представление характеристик осуществляется в виде кривой насоса и кривой установки, а также в виде кривой трубопровода.

Далее описываются внутренние трубопроводы, входящие в состав насосной установки. Нагнетательные трубопроводы за пределами насосной установки, вплоть до места выпуска воды – внешние напорные трубопроводы.

Внутренние трубопроводы насосной станции обычно состоят из всасывающего и напорного трубопровода. Так как в случае насосов серии KRT речь идет о погружных насосах для сточных вод, которые, как правило, устанавливаются при использовании методом стационарной «мокрой» установки, всасывающие трубопроводы в данном случае отсутствуют.

Внешние напорные трубопроводы на практике также обозначаются как напорные трубопроводы для сточных вод (НТСВ) или водоводы. Обычно они прокладываются в незамерзающем грунте. В ходе проектирования необходимо по возможности при прокладке НТСВ избегать крайних высоких и низких точек. Если выполнение данного условия невозможно, предусмотрены дополнительные технические меры, например, выводы для промывки и опорожнения в низких точках, а также клапаны для вентиляции и выпуска воздуха в высоких точках.

Чтобы обеспечить надежное перемещение бытовых сточных вод, рекомендуется свободный проход от 100 мм для рабочего колеса насоса, а также для арматуры и нагнетательного трубопровода. Просвет трубопровода должен быть не менее 80 мм

## 4.1 Планирование прокладки трубопровода

### 4.1.1 Трубопровод

#### 4.1.1.1 Расчет

Исходные параметры для расчета трубопровода:

- расход;
- рабочее давление.

Расчет трубопровода или же расчет условного прохода (номинального внутреннего диаметра) зависит от:

- скорости потока.

На основании определенного номинального внутреннего диаметра для планируемого расхода определяются

- потери давления или же потери на трение в трубах
- потери напора в трубопроводе

Затем на основе геодезической высоты + потери напора = манометрического напора определяется:

- рабочее давление.

Из расчета гидроудара определяются возможно необходимые дополнительные расчетные параметры рабочего давления, номинального давления и статических расчетов трубопроводов (см. в соответствующем разделе).



Далее расчетные параметры будут рассмотрены подробнее.

### Определение скорости потока и расчет номинального внутреннего диаметра

Исходя из требуемого или запланированного расхода, номинальный внутренний диаметр непосредственно зависит от скорости потока. В зависимости от скорости потока определяются потери на трение в трубах.

С учетом экономических аспектов (инвестиционные и эксплуатационные расходы) скорости потока и, тем самым, номинальные внутренние диаметры трубопроводов, следует определять, принимая во внимание следующие аспекты.

Падение скорости потока ниже минимального значения может привести к эксплуатационным сбоям (например, закупориванию и т.д.).

Превышение скорости потока также может привести к эксплуатационным сбоям и вызывает рост потерь давления на трение в трубах с неоправданно высоким расходом энергии.

### Номинальный диаметр/ условный проход трубопровода

Номинальный внутренний диаметр напорного трубопровода определяется в зависимости от предусмотренной максимальной подачи, длины трубопровода и свойств перекачиваемой среды с учетом указанных выше ориентировочных значений.

Оптимальный номинальный диаметр следует определять путем экономических расчетов, то есть, нужно сравнить инвестиционные затраты с эксплуатационными и энергетическими расходами. Уменьшенные номинальные внутренние диаметры с большими скоростями потока в длинных магистралях означают высокие гидравлические потери, которые требуют применения насосов с увеличенным напором и большим энергопотреблением (рис. 4.1.1.1а).

Номинальный диаметр трубопровода должен быть, по меньшей мере, равен номинальному диаметру патрубка насоса или превышать его.

В небольших насосных агрегатах насосы следует рассчитывать не только по подаче; в основном следует учитывать устойчивость к закупориваниям и минимальную скорость.

Если в вертикальных напорных трубопроводах с такими насосными агрегатами рекомендованная скорость потока не достигается, то следует предпринять предупредительные инженерные меры на случай возможного закупоривания (например, промывочный патрубок).

Особый случай представляют собой водоотводы от отдельных участков объектов недвижимости (например, «водоотвод под давлением»), которые должны подключаться к центральной канализации. Здесь при использовании насосов с измельчителями можно закладывать в расчет соответственно меньший условный проход трубопровода.

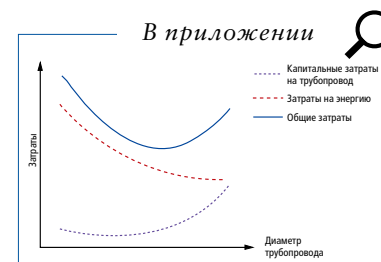


Рис. 4.1.1.1а: Структура затрат на строительство и эксплуатацию трубопровода

### Скорости потока

При сравнении хозяйственно-питьевых и канализационных трубопроводов проявляются определенные особенности, в частности по канализационному трубопроводу необходимо надежно транспортировать

примеси различного рода и состава, такие как волокна, минеральные твердые вещества различной величины (песок, материал для посыпки и камни), а также органические загрязнения.

Чтобы обеспечить выполнение данной функции необходимо соблюдать минимальную скорость потока. Граничные условия в данном случае выглядят следующим образом:

- Различные скорости потока для вертикальных и горизонтальных трубопроводов
- Фактический внутренний диаметр трубопровода, при этом больший диаметр предполагает также и большую скорость потока
- Состав перекачиваемой среды (содержание волокон, твердых веществ, а также размер частиц)
- Способ производства трубопровода (прерывный или непрерывный)
- Общая длина трубопровода

На базе Технического университета Берлина компания KSB провела соответствующие опыты по сопутствующему выносу взвешенных веществ сточных вод. Результаты представлены на рис.

4.1.1.1b в виде графика минимальных скоростей потока, где подробно исследован диапазон номинальных внутренних диаметров от DN 100 до

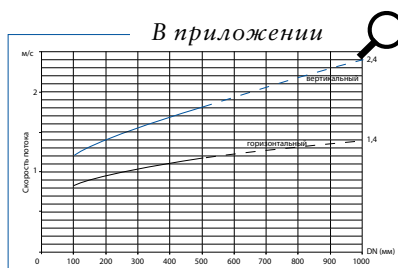


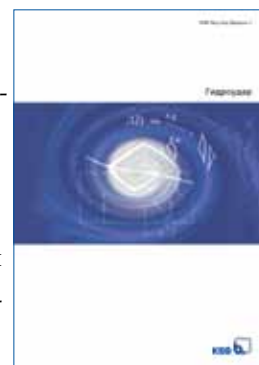
Рис.4.1.1.1b: Минимальные скорости потока

DN 250, а диапазон номинальных внутренних диаметров от DN 500 до DN 1000 экстраполирован. Примеси, как правило, содержат такие распространенные элементы сточных или загрязненных вод, как волокна, гравий 0/4, гравий 16/32 и гранитный щебень 2/5.

### Исследования гидроудара

В системах водоснабжения и канализационных системах любое изменение режима работы ведет к динамичным изменениям давления и потока. Эти нестационарные процессы в системах трубопроводов сооружений очистки, перемещения и распределения воды следует учитывать и анализировать при проектировании сооружений, поскольку они могут стать причиной существенного ущерба, наносимого напорным трубопроводам, арматуре или иным устройствам. Причины нестационарных режимов работы разнообразны и обычно неизбежны. Например, они возникают в связи со сбоем, пуском, остановкой насоса, от-

ключением или подключением насосов к работающим насосам, насосами с регулируемой частотой вращения, закрытой, открытой или регулируемой арматурой, устройствами для снижения давления и т.д. Ввиду сложности проблематики изменения давления следует избегать проведения расчетов при помощи различных методов аппроксимации, так как они узко ограничены в своей применимости и, таким образом, не являются предписываемыми условиями. Применение за пределами своей области действия может привести к значительно повышенным погрешностям при определении параметров.



В этой связи мы ссылаемся на Свод правил Немецкого союза специалистов водо- и газоснабжения (DVGW), технические правила, операционная таблица W 303 «Динамические изменения давления в устройствах водоснабжения», а также на K S B – Н о у - х а у выпуск 1 «Гидроудар». Рекомендуется прибегать к помощи квалифицированных специалистов при рассмотрении проблематики гидроудара и определении соответствующих мер.

### Расчет давления в напорных трубопроводах

Напорные трубопроводы постоянно и без повреждений должны выдерживать внутреннее и внешнее давление, действующее на систему.

В отсутствие других мер безопасности к ним также относятся давления переходных процессов (например, гидроудар).

Для расчета необходимой толщины стенок трубопровода решающее значение имеют необходимые уровни давления, внешние нагрузки и материал.

Для конкретного проекта следует проверить необходимость выполнения «Расчета статического давления в напорном трубопроводе».

В рамках расчетов давления в напорных трубопроводах выполняются следующие вычисления:

- Основные нагрузки (внутреннее давление, вес трубы, арматуры, водного наполнения)
- Вторичные нагрузки (напряжения или силы вследствие разности между минимальной и максимальной температурой, с учетом монтажной температуры)
- Случайные нагрузки (например, ветер, лед, снег)
- Динамические нагрузки
- Анализ напряжений

- Характер вибраций (частоты возбуждения и собственных колебаний)

- Устойчивость при землетрясении

Результаты данных вычислений среди прочего включают:

- необходимую толщину стенок труб из выбранного материала
- данные о моментах и силах, необходимые для проектирования сооружений или несущей конструкции (для ввода через стену, фундаментов и других мест крепления)
- определение вида (фиксированная опора, скользящая опора, направляющие) и расположения опор и крепления трубопровода
- данные о моментах и силах, действующих на опоры и крепления трубопровода (нагрузки на опоры для фиксированной опоры, скользящей опоры, направляющих)
- конструктивные нормы для опор и креплений трубопровода (расчет параметров фиксированной опоры, скользящей опоры, направляющих)

#### Указания:

Нагрузки (силы и моменты), относящиеся к вторичным нагрузкам, «расчетному варианту температурной нагрузки», часто превосходят силы, относящиеся к первичным нагрузкам (вес и давление), в особенности, когда

напорный трубопровод жестко закреплен между двумя опорными точками. Таким образом, допустимые значения сил, действующих на части сооружения (например, ввод через стену) могут быть превышены, в связи с чем возникает необходимость в дополнительных мерах. Затруднения можно устранить благодаря использованию растяжек или компенсаторов. На нагрузки и силы трубопровода также может повлиять траектория трубопровода. В то время, как прямой трубопровод между двумя стенами не может «отступить», трубопроводы с угловым поворотом могут «отклоняться», что позволяет добиться существенного уменьшения напряжения и сил. Разумеется, в данном случае необходимо правильно использовать фиксированные или скользящие опоры и направляющие.

#### 4.1.1.2

### Траектория трубопровода

#### Внутренние трубопроводы

Для фиксации погружного канализационного насоса в зумпфе используются монтажные детали, состоящие из опорного колена, направляющего устройства (тросовые или штанговые направляющие) и цепи или каната.

На опорном колене, которое

крепится на дне зумпфа, устанавливается нагнетательный трубопровод. Нагнетательный трубопровод состоит из вертикального участка и отходящего от него горизонтального напорного трубопровода.

В том случае, когда насосная станция включает в себя несколько насосов с подачей сточной воды в одну точку, для каждого насоса имеется индивидуальный нагнетательный трубопровод, который, при большом расстоянии, может врезаться в коллекторный напорный трубопровод.

Напорный трубопровод, отходящий от насосной станции, должен быть проложен с постоянным подъемом по всей длине до излива (конечной точки). Если в связи с топографическими условиями ход трубопровода характеризуется наличием высших и низших точек, возможно образование скоплений воздуха в высших точках или накопление осадка – в низших. В таких случаях возникает необходимость в проверке скорости потока. Скопления воздуха приводят к увеличению потерь напора. При определенных обстоятельствах это приводит к уменьшению подачи насоса и выдвигает на первый план вопрос обеспечения возможности самовыноса воздуха перекачиваемой водой (самовентилиация). На случай

если самовентилиация обладает лишь ограниченным действием или отсутствует, у высших точек предусматривается сапун или устройство для удаления воздуха, а у низших – выводы для опорожнения и промывки. Кроме того, такие устройства удаления воздуха действуют как срыв вакуума, когда должно было применяться «сифонное воздействие» – нежелательное или не заложенное в проект. Арматура размещается либо вертикально в насосной шахте, либо горизонтально – в отдельной арматурной шахте.



Рис. 4.1.1.2a: Арматурная шахта



Рис. 4.1.1.2b: Арматурный отсек

Установка арматуры в напорном трубопроводе осуществляется в верхней области конструкции шахты. Преимущество: обеспечен лучший доступ к арматуре, снижено возможное образование отложений твердых веществ в обратном клапане. При более глубоком вмонтировании следует

соблюдать минимальное расстояние до опорного колена, иначе не исключены сложности при запуске в связи с образованием воздушных карманов. При установке запорной арматуры следует следить за тем, чтобы положение органов управления (например, маховика) не препятствовало подъему/спуску насоса.

Вертикальные трубопроводы, расположенные над обратным клапаном, должны быть как можно короче, с учетом локальных условий, в связи с возможным образованием отложений твердых веществ. Врезка вертикальных напорных трубопроводов в коллектор всегда осуществляется горизонтально. Места врезки должны быть как можно более обтекаемой формы. При соблюдении местных условий с этой целью могут использоваться: седлообразные патрубki, приварные изгибы, разветвления трубопровода («штаны») и угловые сопряжения (Рис. 4.1.1.2с).



Рис. 4.1.1.2c: Врезка отдельных напорных трубопроводов в коллектор по потоку

В случае необходимости увеличения площади сечения выбираются диффузоры (при строительстве трубопровода именуемые «Переходники») с как можно меньшим углом конуса. Для диффузоров напорного трубопровода применяются эксцентрические переходники, чтобы исключить помехи подъему/спуску насоса, вызванные элементами трубопровода.

Если необходимо обеспечить абсолютную герметичность, провод исходящего напорного трубопровода через стену конструкции шахты осуществляется с помощью стеновой фланцевой трубы или эластичного стенового ввода. При герметизации с помощью кольцевого уплотнения следует следить за тем, чтобы трубопровод был правильно центрирован и закреплен в отверстии.

Для безупречного монтажа с использованием соединительных элементов не под напряжением, возможной компенсации линейных погрешностей, а также обеспечения возможности демонтажа, в случае необходимости ремонта, в трубопровод, в соответствии с требованиями, встраиваются пригоночные и съемные детали или компенсаторы. При соответствующем расположении трубо-

провода в большинстве случаев можно добиться того, чтобы данная задача была решена с помощью колена (дуги трубы) с фланцами.

В рамках соблюдения собираемости и ремонтоспособности число фланцевых соединений должно быть как можно меньше. Необходимо учитывать ремонтные фланцевые соединения и фланцевые соединения для установки заблаговременно заготовленных труб. Сварка в монтажных условиях должна быть сведена к минимуму.

Фланцевые соединения рассчитываются в соответствии с перекачиваемой средой, выбранным материалом для трубопровода и максимальным давлением системы. Плоские уплотнения более DN 200 применяются в исполнении со стальными вставками. При использовании соединительных элементов из нержавеющей стали применяются болты класса V2A с шестигранными гайками класса V4A.

В случае если условия размещения исключают другие варианты, допускается размещение коллектора также за пределами сооружения. По причинам размещения и обслуживания целесообразно возводить отдельное арма-

турное сооружение (также именуемое арматурный отсек или шахта) (Рис. 4.1.1.2a + b).

Если не удастся избежать высших точек в напорном трубопроводе насосной станции, предусматривается возможность удаления воздуха. В очистных сооружениях удаление воздуха должно осуществляться автоматически с учетом газовыделения. При прокладке внешнего трубопровода с понижением рельефа местности установленный в высшей точке насосной станции автоматический клапан для вентиляции и выпуска воздуха должен выполнять и функцию срыва вакуума. Если при отключении насоса наблюдается сифонирующее действие, не исключены сложности при пуске в связи с образованием воздушных пробок.

На случай необходимости предусмотрены возможности опорожнения и выводы для промывки (например, патрубков, шаровой кран и быстросъемное соединение Шторца с заглушкой).

При установке насосной станции в открытом сооружении (бассейн) при необходимости проводятся профилактические мероприятия от замерзания.

**Внешние трубопроводы**

Внешние трубопроводы выполняются в соответствии с установленными законом нормами и рекомендациями отраслевых объединений (см. операционную таблицу ATV 134).

В повышенных местах напорных трубопроводов устанавливаются устройства отведения воздуха. Воздушные подушки в трубах могут привести к снижению подачи и нарушениям рабочего процесса, таким как стук клапана и вибрации трубопровода.

**Особое указание**

В месте сопряжения внутреннего и внешнего трубопроводов, перед наружной стенкой насосной станции, следует проверить расположение шарнирного соединения труб в связи с «проблематикой осадки».

**4.1.1.3****Крепления и опоры трубопроводов****Общие замечания**

Крепление или создание опоры трубопроводов осуществляется с помощью:

- хомутов для крепления труб в виде двойных хомутов
- опорной лапы
- настенных кронштейнов
- устройств крепления к потолку

- седлообразной опоры с/без хомута для крепления труб

- специальных конструкций

С целью обеспечения неподвижности труб крепления выполняются в виде неподвижных или скользящих опор.

**Устройства крепления/ опоры в насосных станциях серии KRT**

Напорные трубопроводы прочно присоединяются непосредственно к опорному колену. Опорное колено используется как точка опоры при соблюдении допустимых нагрузок, установленных производителем. Для выдерживания веса трубопровода специально установлены повышенные допустимые вертикальные усилия. В нормальных условиях опорное колено выдерживает вес напорного трубопровода. При эксплуатации запрещено превышение допустимых значений сил и моментов. Крепления трубопровода должны быть расположены на небольшом расстоянии и отличаться повышенной устойчивостью. Крепления трубопровода должны полностью воспринимать на себя всю нагрузку от его веса вместе с находящейся в нем жидкостью, чтобы избежать превышения допустимых нагрузок на места соединения (силы и момен-

ты) и недопустимых вибраций.

Рабочее колесо канализационного насоса с малым числом каналов служит причиной пульсации потока. Частота возбуждения = частота вращения  $\times$  количество лопастей

Наиболее критичная ситуация в связи с гидравлическими «колебаниями» наблюдается при использовании насосов с однолопастными колесами. Частота возбуждения при 1500 об/мин = 25 Гц или при 1000 об/мин = 17 Гц.

В основном, частота собственных колебаний стальных труб находится именно в этом частотном диапазоне.



Пульсация подачи вызывает колебание напорного трубопровода насоса. При этом необходимо избегать резонанса. Он возникает, когда частота возбуждения насоса совпадает с частотой собственных колебаний трубопровода. В случае резонанса наблюдаются максимальные амплитуды колебаний, и на опоры действуют силы с очень высокими значениями.

Чтобы исключить наличие резонанса настоятельно рекомендуется разносить указанные частоты. Минимальный интервал при этом должен составлять более 10 % от значения частоты возбуждения.

Изменение частоты возбуждения (изменение частоты вращения насоса > 30 %) возможно лишь в редких случаях. Это означает, что собственная частота трубопровода должна быть приспособлена к данным условиям.

Частота собственных невынужденных колебаний трубопровода в данном случае зависит:

- от распределения массы в системе (расположение арматуры, толщина стенок, материал)
- от принципа крепления

Решающее влияние на собственную частоту оказывает принцип крепления. Неблагоприятные частоты могут быть изменены при помощи перестановки в другое положение или установки дополнительных опор (предпочтительно – вблизи арматуры, излива и т.д.). Также на собственную частоту влияет расположение отдельных массивов (арматуры).

Точные положения опор и связанные с ними собственные частоты могут быть определены исключительно при помощи специального расчета статического трубопровода.

Собственная частота может быть частично скорректирована путем изменения толщины стенок. Более толстые стенки способствуют повышению значений собственной частоты трубопровода из одинакового материала (с аналогичным модулем упругости) и при равном возбуждении. Силы, действующие на опоры, возникающие в результате колебаний, рассчитываются на основе гармонического возбуждения.

Определение собственных частот возможно исключительно при помощи расчета статического трубопровода.

Крепления трубопровода должны отличаться повышенной прочностью, чтобы надежно передавать действующие силы в сооружение.



**4.1.1.4****Вводы через стену**

При необходимости проведения трубопровода сквозь внутренние и внешние стены сооружения устанавливаются вводы через стену.

Различают следующие виды вводов:

**Неподвижные вводы**

Неподвижный ввод представляет собой ввод через стену с использованием стенового кольца в качестве трубопровода (стенной трубы). Данный ввод действует как точка опоры. В ходе расчета статичного трубопровода определяются силы, действующие в данной точке, которые сравниваются с допустимыми для строительной конструкции значениями силы. Данные вводы через стену могут быть двух видов:

- Стенная труба с концами под приварку
- Стенная труба с соединительными фланцами

При использовании привариваемых стальных труб необходимо осуществить «проникаемый монтаж с опалубкой». В особых случаях может выполняться последующее встраивание в стенную нишу, заливаемую «вторичным бе-

тоном». Этот способ монтажа требует согласования строительно-конструктивных деталей с инженером-проектировщиком. Стенные трубы с соединительными фланцами могут быть установлены как вровень со стеной, так и в выступающем положении.

При монтаже вровень со стеной предъявляются высокие требования к соблюдению заданных размеров между опалубкой и креплением.

**Гибкие вводы**

Гибкий ввод состоит из гильзовой трубы со стеновым кольцом и проложенного внутри трубопровода. Для обеспечения уплотнения между гильзой и внутренней трубами, как правило, предлагаются два варианта:

- Уплотнения кольцевой камеры
- Зажимные уплотнения фланец/фланец

Вместо гильзовых труб также может использоваться колонковая скважина в железобетонной стене. При больших значениях номинального внутреннего диаметра колонковые скважины обычно не применяются.

Если при использовании гибких вводов необходимо предотвратить осевое перемещение трубы, в соответствующем

месте перед вводом через стену в качестве точки опоры (фиксации от осевого смещения) устанавливается трубная опора / крепление.

**4.1.1.5****Материалы трубопроводов**

Внутри насосной станции предпочтительнее использовать трубы, изготовленные из стали. Ввиду необходимости защиты от коррозии применяются стальные трубопроводы с толстыми стенками, со специальным покрытием (например, оцинкованные или с лакокрасочным покрытием) или из нержавеющей стали (Материал № 1.4571 / V4A). В случае установки литых труб нужно обращать отдельное внимание на применимость в части фитингов и веса.

В случае применения других материалов, например, пластмассы специально для промышленных сточных вод, особое внимание следует уделить обеспечению надлежащего крепления трубопровода, а также отдельной поддержке элементов конструкции, например, арматуры.

Материалы трубопровода для внутренней обвязки:

- Сталь (например, со специальным покрытием или оцинкованная)
- Нержавеющая сталь (например, 1.4301 или 1.4571)
- Полиэтилен высокой плотности
- Литые (битуминизированное; с ЕКВ-покрытием)

Выбор материала для внешних конструкций насосной станции осуществляется при соблюдении местных условий (строительный грунт, коррозионная нагрузка), конструктивно-технических и трубопроводочных критериев, а также экономических аспектов.

Материалы трубопровода для внешней обвязки:

- Литые (битуминизированное; с ЕКВ-покрытием, облицованное цементным раствором)
- Полиэтилен высокой плотности
- Стеклопластик
- Битуминизированная сталь
- Сталь, облицованная цементным раствором

Необходимо соблюдать технические и размерные требования для подходящих соединений для подходящих соединений/переходных устройств между внутренними и внешними трубопроводами насосной станции.

#### 4.1.1.6 Измерительные устройства трубопроводов

В напорных трубопроводах, в основном «внутренних», осуществляется встраивание или прикрепление измерительных устройств в соответствии с методом контроля и регулирования.

##### Прямое встраивание в трубопровод

Обычно напрямую в трубопровод встраиваются только

- Индуктивные устройства для измерения расхода (MID)

##### Внешняя установка или крепление к трубопроводу

На трубопроводе устанавливаются устройства для измерения:

- Давления (посредством манометра или трансмиттера-преобразователя)
- Потока (реле контроля потока в качестве устройства защиты от «сухого хода»)
- Температуры (не используется в канализационных трубопроводах)
- Расхода – с помощью ультразвуковых датчиков

##### Примечание

На практике для управления насосной станцией используются дополнительные измерения, например, уровень в зумпфе насоса, у места водовыпуска, которые не связаны с трубопроводом.

##### Указания по монтажному положению индуктивных устройств измерения расхода (MID)

При установке или размещении устройств MID необходимо соблюдать:

- Достаточные длины прямых участков труб перед и за устройством измерения для сглаживания (стабилизации) потока. С этой целью следует придерживаться соответствующих данных изготовителя.
- Монтажное положение в соответствии с нормами изготовителя. Например, укладка дюкера (напорного трубопровода) для достижения полного наполнения измерительного участка устройств, не предназначенных для частичного наполнения.

##### Указания по монтажному положению точек замера давления, реле контроля потока и ультразвуковых измерений.

Места присоединения устройств для измерения давления всегда располагаются на боковой стороне трубопровода, на высоте оси трубы. Кроме того, необходимо следить за тем, чтобы точки замера располагались на отрезках трубы со стабильным режимом потока (прямых участках). Следует избегать расположения в местах сужения или расширения, изменения направления, встроенных устройств и т.д. Не рекомендуется располагать

устройства для измерения давления у подошвы и вершины трубы – загрязнения и воздушные карманы могут повлиять на точность результатов измерения.

## 4.2 Выбор арматуры

### 4.2.1 Предварительные замечания

Арматура является функциональной составной частью устройства трубопровода при осуществлении процесса перекачивания. В основном, речь идет о следующих функциях:

- Перекрытие и открытие трубопровода
- Предотвращение обратного течения
- Управление расходом (проблематично для сточных вод)
- Вентиляция и удаление воздуха из трубопровода.

Арматура для этого:

- Запорные задвижки (клиновые задвижки, параллельные задвижки), запорные клапаны, вентили
- Регулирующие задвижки (цилиндрический затвор, диафрагменные задвижки, параллельные задвижки)
- Обратные клапаны: с рычагом и грузом или внутренним валом, мембранные или створчатые, шаровые

- Клапаны для вентиляции и выпуска воздуха различной конструкции, произведенные различными предприятиями арматурной промышленности

### 4.2.2 Критерии выбора

Основными критериями при выборе арматуры являются следующие:

- Перекачиваемая среда
- Пригодность конструкционная и функциональная для перекачиваемой среды
- Пригодность материалов для перекачиваемой среды
- Номинальный внутренний диаметр в зависимости от скорости потока и возникающих потерь напора.

#### 4.2.2.1 Перекачиваемые среды

Для перекачиваемой среды «Сточные воды» действуют особые условия эксплуатации для различных видов сточных вод:

- Дождевая вода
- Поверхностная вода, предварительно очищенная с помощью решетки
- Промышленные сточные воды
- Серая вода без осадочных элементов
- Бытовые сточные воды с волокнистыми элементами
- Свежий ил
- Возвратный активный ил

- Избыточный активный ил
- Чистые сточные воды без загрязнений
- Техническая вода.

Соответствующие данные отражены в таблице выбора «Виды арматуры в зависимости от перекачиваемой среды» (Рис. 4.2.3а).

#### 4.2.2.2 Типы конструкции

Использование арматуры при обработке сточных вод требует соблюдения особых требований к их конструктивному исполнению. Причины этого связаны с загрязнениями крупными (волокнистыми) и механическими примесями, абразивными элементами и другими компонентами. В зависимости от загрязнений выделяют, среди прочих, следующие требования к конструкции или конструктивному исполнению:

- В целом свободный проход для потока жидкости в арматуре
- Исключение или устойчивое предотвращение блокирования потока при управлении арматурой
- Надлежащее уплотнение благодаря конструктивному оформлению и применению корректных материалов.

#### 4.2.2.3 Монтажное положение и направление тече- ния

Во многих случаях направление течения и монтажное положение обусловлены особой конструкцией арматуры. Таким образом, при использовании обратных клапанов и прочих клапанов предотвращения обратного течения направление течения всегда predetermined конструкцией.

Также часто учитывается пригодность арматуры для установки в вертикальном и горизонтальном положении. Данные изготовителя (например, правила монтажа и эксплуатации) принимаются во внимание уже на стадии проектирования.

#### 4.2.2.4 Материалы

Выбор материалов осуществляется в зависимости от вышеупомянутых видов сточных вод. Данные о материалах, как правило, подразделяются изготовителями арматуры на группы элементов конструкции, например, корпус, клапан, седло, уплотнение, вал, соединительные болты и т.д. Отливки могут применяться, при условии нанесения на них специаль-

ного покрытия для поверхностных/дождевых, а также бытовых сточных вод. Особенно оптимальны для данных целей покрытия ЕКВ (эпоксидные). Для особо абразивных сред необходимо использовать более твердые литейные материалы и специальные защитные покрытия.

Также необходимо выбирать правильные эластомеры для уплотнений. Обычно для бытовых сточных вод применяется этиленпропиленовый (EPDM) и нитрильный (NBR) каучук. Для промышленных сточных вод целесообразно использование витона (фторкаучук FPM).

В промышленных сточных водах может понадобиться применение нержавеющей стали. Выбор материалов для промышленных сточных вод всегда осуществляется для каждого отдельного случая, на основе данных о компонентах, присутствующих в сточных водах.

Данные о компонентах перекачиваемой среды необходимо предоставлять изготовителям и компаниям по продаже арматуры, чтобы изготовитель мог сделать выбор с учетом условий эксплуатации.

#### 4.2.2.5 Номинальный диаметр

Выбор номинального диаметра осуществляется по аналогии с трубопроводом, в зависимости от скорости потока (см. раздел 4.1.1.1), так что в нормальных условиях номинальный диаметр трубопровода соответствует номинальному диаметру арматуры. Необходимо отметить, что для сточных вод номинальный диаметр составляет не менее DN 80.

Особое значение при выборе номинального диаметра имеют потери напора в арматуре. Коэффициенты сопротивления обратных клапанов могут быть настолько значительны, что это может послужить причиной выбора следующего по величине номинального диаметра, а это, разумеется, играет важную роль при определении размеров трубопровода.

4.2.3 Таблица «Выбор типов конструкций арматуры в зависимости от вида сточных вод»

Зависимость типов конструкций арматуры от вида сточных вод

| Тип конструкции арматуры  | Вид сточных вод  |  |   |  |   |
|---|--|--|---|--|---|
|   | Дождь, вода, предельно очищенная решеткой поверхность вода | Промышленные стоки; серая вода без волокустых примесей | Бытовые сточные воды с волокустыми примесями, свежий ил | Возвратный активный ил, избыточный активный ил | Чистая вода без загрязнений, техническая вода |
| <b>Запорная арматура</b>  |  |  |   |  |   |
| <b>Краны</b>  |  |  |   |  |   |
| Шаровой кран неполнопроходной                                     | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Шаровой кран полнопроходной                                       | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Спускной кран   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Кран с коническим седлом  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Кран с цилиндрическим седлом                                      | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Клапаны (Вентили)</b>  |  |  |   |  |   |
| Клапан с прямым седлом  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Клапан с наклонным седлом   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Угловой клапан  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Кольцевой поршневой клапан  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Задвижка</b>   |  |  |   |  |   |
| <b>Задвижка с металлическим уплотнением</b>                       |  |  |   |  |   |
| Круглая клиновая задвижка   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Овальная клиновая задвижка  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Плоская клиновая задвижка   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Параллельная клиновая задвижка                                    | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Задвижка с мягким уплотнением</b>                              |  |  |   |  |   |
| Клиновая задвижка   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Параллельная задвижка   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Бескорпусная задвижка (шпиндельная задвижка)                      | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Дисковые поворотные затворы</b>                                |  |  |   |  |   |
| Центральные поворотные затворы                                    | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Эксцентровые поворотные затворы                                   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Мембранная запорная арматура</b>                               |  |  |   |  |   |
| Мембранная запорная арматура шиберной конструкции                 | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Мембранная запорная арматура клапанной конструкции                | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Мембранная прижимная арматура (гидро- или пневмоприводная)        | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Мембранная арматура с кольцевой мембраной                         | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Арматура, предотвращающая обратный поток</b>                   |  |  |   |  |   |
| <b>Обратный клапан</b>  |  |  |   |  |   |
| Обратный клапан, нагруженный усилием пружины                      | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Приемный клапан с приемным сетчатым фильтром и всасывающей сеткой | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Сопловой обратный клапан  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Обратные клапаны</b>   |  |  |   |  |   |
| Обратный клапан с/без рычага и груза                              | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Групповой обратный клапан   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Откидная заслонка с косым седлом, с/без рычага и груза            | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Клапан предотвращения обратного течения                           | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Шаровой обратный клапан   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Обратный клапан двухстворчатый                                    | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Межфланцевый обратный клапан                                      | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Мембранный клапан предотвращения обратного течения</b>         |  |  |   |  |   |
| Мембранный сопловой обратный клапан                               | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Мембранный обратный клапан  | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| <b>Прочая арматура</b>  |  |  |   |  |   |
| Поплавковые сливные вентили                                       | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Клапаны вентиляции и выпуска воздуха                              | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Клапаны вентиляции и выпуска воздуха для сточных вод              | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Предохранительные клапаны   | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Обратный клапан с перепуском                                      | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |
| Сливной и концевой клапаны, клапан обратного подпора              | ■  | ■  | ■   | ■  | ■   |

**Условные обозначения**  
 неприменимо ■  
 применимо ограниченно ■  
 применимо ■

Рис. 4.2.3а: Таблица зависимости типов конструкций арматуры от вида сточных вод

#### 4.2.4

##### Монтаж

#### 4.2.4.1

##### Монтажное положение

Указания относительно направления течения и допустимого вертикального и/или горизонтального монтажа содержатся в разделе 4.2.2.3.

#### 4.2.4.2

##### Расположение при монтаже

Монтажное расположение определяется следующими факторами:

- производственно-техническая функция
- функциональные граничные условия
- доступность или удобство обслуживания.

При определении расположения арматуры все три указанных критерия соблюдаются в равной степени, и на их основании выносится проектное решение.

##### Производственно-техническая функция

Прежде всего, расположение арматуры или место ее установки определяется в соответствии с производственно-технической функцией.

Следующие примеры поясняют данное положение:

- Запорная задвижка с напорной стороны насоса используется для перекрытия трубопровода в случае ремонта насоса и обратного клапана и должна быть установлена непосредственно после насоса и обратного клапана. Функциональные граничные условия (макс. уровень воды в зумпфе насоса) и удобство обслуживания свидетельствуют, однако, о другом расположении (выше).
- Обратный клапан должен располагаться, как уже было упомянуто в предыдущем абзаце, непосредственно за насосом. Уровень воды и доступность также подтверждают целесообразность установки в указанном месте трубопровода.
- Клапан вентиляции и выпуска воздуха всегда располагается непосредственно у высшей точки трубопровода – данное расположение обусловлено производственно-технической функцией. Доступность в данном положении соответственно обеспечивается при строительстве и монтаже.

##### Функциональные граничные условия

Монтажное положение может быть определено на основе функциональных граничных условий. Это подтверждается следующими примерами:

- Указания по монтажу от изготовителей арматуры (вертикально/горизонтально)
- Прокладка напорного трубопровода.
- Для длинного вертикального напорного трубопровода следует отказаться от глубокого, расположенного обратного клапана в вертикальной части трубы. В противном случае функция обратного клапана будет повреждена отложениями примесей (песок, камни и иловые отложения). Не исключены и непосредственные повреждения падающими камнями. В таких случаях обратный клапан должен быть установлен на горизонтальном участке трубопровода. В данном случае такой участок должен быть специально запроектирован.
- Максимальный уровень воды
- Присоединение индивидуальных напорных трубопроводов к коллектору.

### Доступность или удобство обслуживания

Доступность для эксплуатационного персонала является очень важным критерием для удобства эксплуатации, а также выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

При этом обеспечивается соблюдение правил безопасности (Предписания по технике безопасности, предписания отраслевых страховых обществ и другие предписания), что также влияет на процесс проектирования.

В принципе имеются следующие возможности для обеспечения удобства обслуживания и доступности.

- Арматура может быть размещена в одной части сооружения – уже одна эта мера обеспечивает высокое удобство обслуживания.
- Критерий удобства обслуживания требует установки лестниц и помостов.
- Архитектурное решение сооружения спроектировано с учетом требований эксплуатации и технического обслуживания.

Рациональные строительные решения, обеспечивающие доступность и удобство обслуживания включают:

#### • Арматурные шахты

Рядом с насосной шахтой может быть предусмотрена отдельная сборная шахта для установки арматуры. Правильная установка ограждения шахты обеспечивает простоту процесса монтажа и замены оборудования.

#### • Арматурные отсеки

Для насосных станций большого размера с большим номинальным диаметром труб и арматуры существенное значение имеет планирование арматурных отсеков. Комплексная обвязка индивидуальными и коллекторными трубопроводами, вся арматура и измерительные приборы рационально размещаются при строительстве с учетом обеспечения благоприятных условий для работы.

#### 4.2.4.3 Технические решения для монтажа и демонтажа арматуры

При проектировании следует обеспечить удобство как установки, так и, в первую очередь, последующего технического обслуживания и замены арматуры. В связи с этим возникает вопрос необходимости применения специальных переходных и

съемных деталей рядом с арматурой или арматурной группой.

#### Установка без переходных и съемных деталей

Если по ходу трубопровода перед арматурой и/или после арматуры или арматурной группы предусмотрено колено, то, как правило, необходимость в установке переходных и съемных деталей отпадает. Упомянутый участок трубы освобождается для смены арматуры путем демонтажа колена.

#### Установка с переходными и съемными деталями

Во многих случаях монтаж и демонтаж элементов трубопровода или арматуры затруднен самим ходом трубопровода.

В таких случаях рядом с арматурой или арматурными группами необходимо установить переходные и съемные детали.

Переходные и съемные детали обеспечивают необходимый диапазон регулирования монтажной длины и, таким образом, обеспечивают лишенный напряжения монтаж и демонтаж арматуры и арматурных групп.



Основные типы конструкций включают:

- фиксируемые переходные и съемные детали

Данные переходные и съемные детали обычно поставляются:

- со сплошными резьбовыми стержнями
- с несплошными резьбовыми стержнями

- нефиксируемые переходные и съемные детали

Переходные и съемные детали с несплошными резьбовыми стержнями особенно удобны при сборке по причине относительно небольшой трудоемкости при регулировке монтажной длины. Нефиксируемые переходные и съемные детали эффективны в случае применения в качестве компенсаторов и съемных элементов.

**Трубная муфта как вспомогательное средство при монтаже и демонтаже**

Использование трубной муфты является простым решением. В качестве внешней

стальной манжеты трубная муфта связывает два конца трубы, оставляя небольшой зазор. При малых и средних номинальных внутренних диаметрах небольшой зазор может быть допустим для монтажа и демонтажа деталей трубопровода и позволять замену арматуры. Трубные муфты могут выполняться как в «растяжимом», так и «нерастяжимом» вариантах.

## 5. Конструкция сооружения

### 5.1 Предварительные замечания

Конструкция сооружения насосной станции существенно зависит от цели эксплуатации. Наряду с требованиями исключительно строительного и механического характера при планировании и строительстве также следует учитывать и гидравлические (гидромеханические) аспекты. Техническое решение для гидравлических участков начинается с приемного канала насосной станции, проходит через необходимый контур насосного зумпфа к насосу(-ам) и завершается напорным трубопроводом или изливной системой.

В проектной документации изготовители насосов заботятся о том, чтобы соответствующим образом зафиксировать нормативные параметры и размеры (например, геометрия сооружения), необходимые для эксплуатации центробежных насосов. Эти данные являются важными исходными данными в процессе проектирования, необходимыми для основных параметров насосной станции. Успешное планирование насосной станции – многосто-

ронный процесс, который, наряду с конкретными данными о минимальных расстояниях между насосами или нормативными размерами, такими как расстояние до дна и очертания дна, также охватывает вопросы конструктивных решений между местом подвода воды и самим насосом (насосами).

Если в процессе планирования или на стадии строительства будут обнаружены значительные погрешности в нормативных размерах, низком уровне воды или геометрии гидравлической проточной части насосной станции, функциональность всей станции может быть поставлена под вопрос. При этом не имеет значения, вызвана ли проблема отдельными погрешностями или совокупностью погрешностей. Граничные условия, необходимые для эксплуатации насоса, не выполняются вследствие изменений или погрешностей, а рабочие характеристики или отклонения мощности центробежного насоса (центробежных насосов) указывают на наличие проблем проектирования.

Если заблаговременно принять во внимание нормативные требования изготовителя насосов к оформлению гидравлической и механиче-

ской части насосной станции, можно избежать таких проблем, как, например, недостижение требуемых рабочих характеристик и нарушения производственного процесса.

Согласно данным Prosser [5.1] критерии неудачной компоновки насосной станции могут быть четко определены и оценены. Прежде всего, рассмотрим геометрические факторы:

1. слишком близко расположенные затворы или регулирующие клапаны
2. резкая смена направления потока (например, под острым углом)
3. нагруженные участки потока с высокими скоростями (например, диффузоры со слишком большим углом раскрытия)
4. ступени или уступы в придонной области
5. препятствия, не служащие для рассеяния энергии
6. опоры, колонны и направляющие выступы
7. неправильная форма корпуса сооружения или режим работы, приводящий к асимметричному распределению потока в насосном зумпфе.
8. приемный канал выше уровня воды в зумпфе.

Пункты 1, 2, 3, 6 и 7 могут вызвать образование вихрей у всасывания насоса. В исключительных случаях образуются поверхностные и подводные вихри, засасывающие воздух (Рис.5.1). Пункты 4.5, и 8 могут привести к попаданию воздуха в перекачиваемую среду, а пункты 3,4 и 5 – вызвать переменные, нестационарные течения в зумпфе.

Задача насосного зумпфа заключается в создании объемного запаса и благоприятных условий притока к насосу.

По этой причине следует избегать возникновения нижеперечисленных гидравлических условий в насосной станции:

1. Струи, в том числе притоки с высокой скоростью течения, попадающие в неподвижные или медленно текущие перекачиваемые среды (при столкновении они образуют обширные нестационарные вихревые области в спутной струе и на выходе)
2. Области с отрывом потока
3. Потoki с высокими скоростями ( $v > 2$  м/с)
4. Нестационарные потоки
5. Сильные поверхностные волны
6. Свободно падающий приток (водопад).

Соблюдение перечисленных критериев в процессе проектирования и строительства сооружения – основа рационального и правильного решения для обеспечения бесперебойно функционирующей насосной станции.

Сравнение соответствующих нормативных размеров в документации различных изготовителей, а также в документации международно признанных научно-исследовательских организаций, показало, что геометрические характеристики, разработанные компанией KSB и отраженные в соответствующих брошюрах для различных серий изделий или инструментальных программных средствах, позволяют добиться небольших габаритов насосных станций и, следовательно, экономии капиталовложений (затрат).

Сравнение соответствующих нормативных размеров в документации различных изготовителей, а также в документации международно признанных научно-исследовательских организаций, показало, что геометрические характеристики, разработанные компанией KSB и отраженные в соответствующих брошюрах для различных серий изделий или инструментальных программных средствах, позволяют добиться небольших габаритов насосных станций и, следовательно, экономии капиталовложений (затрат).



Рис. 5.1: Вихрь в макете насоса, засасывающий воздух

## 5.2

### Решетки

Для бесперебойной эксплуатации насосов необходима установка решетки с крупными (шаг равен 5-30 см) и/или мелкими прозорами (шаг 5-20 мм), в зависимости от типа и происхождения перекачиваемой среды, или даже, в определенных условиях, предвключенный гравиеуловитель. Их очистка должна осуществляться автоматически, с помощью соответствующей механики, без остановки насоса. Данные устройства очистки особенно важны в таких случаях применения, как забор поверхностной воды из рек, озер и каналов, а также на насосных станциях дождевой воды (ливневых сточных вод).

Особенно часто проблема засасывания гравия и отложенный недооценивается при заборе речной воды. Тем не менее, если не оснастить насосные станции описанными устройствами, при продолжительной эксплуатации это приведет к значительным отложениям песка и других осадков в застойных зонах сооружения и за его пределами, а также повышенному износу центробежных насосов.

Механические повреждения рабочих колес и других деталей насоса также не исключены.

В каком месте схемы насосной станции установить решетку определяет проектировщик. Решетка может быть установлена перед насосной станцией или перед зумпфом, чтобы исключить попадание волокнистых и крупных включений, либо отдельные решетки могут быть установлены непосредственно у определенных насосов. Всегда следует соблюдать достаточное расстояние между решетками и всасывающими патрубками насосов, поскольку свободное сечение потока может уменьшиться в связи с установкой решетки, а поток после прохождения засоренной решетки может значительно деформироваться (неравноскоростной поток). Без засорения решетки за ней образуется распределение скоростей, сбалансированное (равномерное) по всему сечению потока, что благоприятно сказывается на работе насоса.

Также при оценке минимально допустимого уровня воды  $t_1$  в зумпфе насоса нужно

принимать во внимание тот факт, что засоренная решетка представляет собой сопротивление потоку, и разность уровней воды проявляется перед и за ней. Уровень воды за решеткой не должен опускаться ниже минимально допустимого уровня воды  $t_1$  для рабочей точки насоса (Рис. 5.2 а).



Рис. 5.2-а: Решетка с автоматической очисткой

В качестве ориентировочного показателя максимально допустимого шага решетки принято значение 0,3-0,5 от свободного сферического прохода рабочего колеса насоса. Это значение может быть получено на основе соответствующей характеристической кривой насоса (см. Техническое описание или программное обеспечение по расчету/подбору параметров).

Чтобы оценить влияние решетки на уровень воды непосредственно перед насосами, необходимо прибегнуть – при отсутствии детального расчета/подбора параметров – к упрощенным расчетам Nager [5.2] (Рис. 5.2 б).

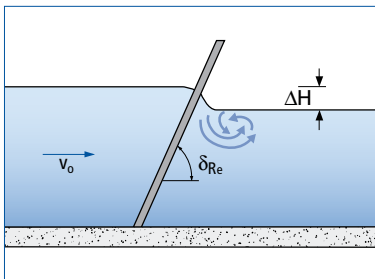


Рис. 5.2-б: Протекание через решетку без понижения дна. При этом наблюдается понижение уровня воды за решеткой на  $\Delta H$

$$\Delta H = \xi_{RE} \times \frac{P1}{\eta_M} \quad (18)$$

Здесь  $v_0$  – скорость набегающего потока перед решеткой. Коэффициент общих потерь  $\beta_{RE}$  является функцией угла наклона решетки  $\delta_{RE}$  по отношению к горизонтали, попра-

вочному коэффициенту для типа очистки  $c_{RE}$ , а также коэффициенту  $\zeta_{RE}$ . Поправочный коэффициент  $c_{RE}$  для чистой решетки = 1, при механической очистке = 1,1-1,3; а при ручной очистке = 1,5-2. Коэффициент  $\zeta_{RE}$  учитывает форму стержней решетки, а также соотношения площадей между площадью свободного протока  $\bar{a}$  и по межцентровым расстояниям стержней  $\bar{b}$  (Рис. 5.2 с).

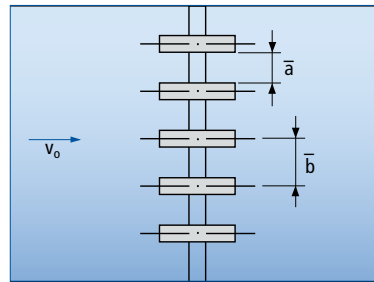


Рис. 5.2-с: Горизонтальная проекция решетки

Таким образом:

$$\xi_{RE} = \beta_{RE} \times \zeta_{RE} \times c_{RE} \times \sin \delta_{RE} \quad (19)$$

Для различных форм стержней решетки (Рис. 5.2 d) могут использоваться следующие значения:

| Форма        | 1 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7    |
|--------------|---|------|------|------|------|-----|------|
| $\beta_{RE}$ | 1 | 0,76 | 0,76 | 0,43 | 0,37 | 0,3 | 0,74 |

$\bar{L}$  – длина профиля стержня решетки и  $\bar{a}$  – его ширина. В случае если данное соотношение  $\bar{L}/\bar{a} \approx 5$ , а условие  $\frac{\bar{b}}{\bar{a}} > 0,5$  выполняется, формула для расчета  $\xi_{RE}$  может быть упрощена до

$$\xi_{RE} = \frac{7}{3} \beta_{RE} \times \left[ \frac{\bar{b}}{\bar{a}} - 1 \right]^{\frac{3}{4}} \times c_{RE} \times \sin \delta_{RE} \quad (20)$$

Чтобы компенсировать потери  $\Delta H$ , возникающие при прохождении потока сквозь решетку, часто в области пониженного уровня дно сооружения или канала опускается на данную величину  $\Delta z$  (Рис. 5.2 е):

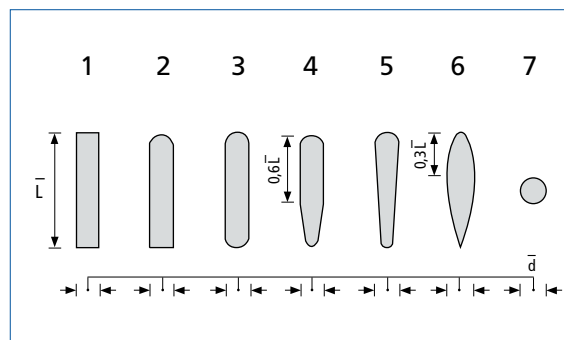


Рис. 5.2-d: Формы стержней решетки

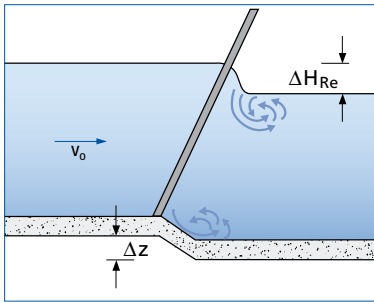


Рис. 5.2-е: Протекание через решетку с понижением дна

$$\Delta H = \Delta z$$

(21)

Общепринятые величины потерь при прохождении через решетку составляют 5 см для механической очистки и около 10 см – при ручной очистке.

Для определения точных параметров решетки рекомендован метод Идельчика [5.3, с. 504 и далее].

Данный метод применяется, когда необходимо учитывать влияние косога натекания потока на решетку или форма стержней решетки существенно отличается от формы, представленной на Рис. 5.2-d.

Решетки часто проектируются недалеко от всасывающего патрубка. Необходимое расстояние от сороудерживающего устройства до всасывающих патрубков должно составлять не менее  $Y=4 \times D$  для простых прямых решеток ( $D$  = внешний диаметр всасывающего патрубка). При других формах конструкции решетки это может привести к образованию струйных потоков за решеткой. В таких случаях соблюдается минимальное расстояние  $Y=6 \times D$  и при необходимости проверяется в ходе детальных исследований на модели.

Очистка решетки предпочтительно должна осуществляться автоматически. Чтобы запустить процесс очистки, используется разность между уровнями воды перед и за решеткой. Таким образом обеспечивается процесс в соответствии с потребностью в очистке.

Ручная очистка неблагоприятно сказывается на насосах непрерывной эксплуатации,

тем не менее, эксплуатационный персонал должен регулярно контролировать уровень воды и периодически производить очистку. Вариант с программно-временным управлением также недостаточно надежен.

Необходимость установки решетки перед насосной станцией или насосом, а также расстояние, которое следует выдерживать между стержнями решетки, определяется с учетом выбранной формы и типоразмера рабочего колеса, а также вида перекачиваемой среды.

### 5.3 Образование плавающей корки в канализационных насосных станциях

В процессе эксплуатации канализационных насосных станций периодически образуется плавающая корка. Это происходит вследствие составляющих сточных вод. Если такие ингредиенты легче воды, они поднимаются на поверхность и скапливаются в областях с малой скоростью потока. Составные части, схожие по плотности с плотностью воды, в основном находятся во взвешенном состоянии. Затем взвешенное состояние нарушается, например, в результате попадания воздуха. Небольшие пузыри воздуха связываются со взвешенными веществами и также всплывают на поверхность. Составные части, плотность которых существенно выше плотности воды, оседают на дне зумпфа. В зависимости от состава данных осадков, для того чтобы осевшие частицы снова всплыли на поверхность, необходимы более высокие скорости потока, чем известные показатели 0,7-0,8 м/с, [ср. 5.5].

Достаточная продолжительность нахождения сточных вод, закрытых плавающей

коркой, приводит к изолированию сточных вод от воздуха, при котором нарушается переход кислорода из воздуха в сточные воды. При этом ослабевает аэробный процесс окисления и ускоряется анаэробное разложение. Продукты реакции, возникающие в результате данного процесса разложения, классифицируются как проблемные. Особенно неблагоприятны сероводородные соединения. Они вредны для здоровья, горючи, коррозионны и обладают очень резким запахом. Такие элементы сточных вод, как фекалии, масла, жиры, волоксы и другие волокнистые материалы, способствуют образованию плавающего ила.

Чтобы предотвратить образование сернистых соединений в сточных водах, поглощение кислорода на поверхности раздела воздух/сточные воды должно быть равно расходу кислорода. Это достигается только в случае, если на поверхности сточных вод имеется как можно меньше плавающего мусора, т.е. образование корки плавающего ила должно предотвращаться.

Для предотвращения или уменьшения корок плавающего ила следует:

- По возможности не допу-

сказать появления плавающего мусора

- Критически оценивать последствия падения сточных вод с высоты в зумпф
- Вручную устранять корки в ходе очистки (струей воды под давлением)
- Обеспечить нанесение защитного покрытия на поверхности (предотвращение коррозии бетона)
- Оптимизировать (сократить) продолжительность нахождения сточных вод в зумпфе насосной станции, ориентировочное значение с учетом суточной кривой – от 6 до 8 часов,
- При появлении плавающей корки на поверхности ее следует взламывать перемешиванием (смывные трубопроводы, мешалки).



Рис. 5.3: Образование плавающей корки в зумпфе насосной станции



- Избегать регулирования «постоянный уровень воды», так как он способствует образованию корок плавающего ила
- Оптимизировать расчет параметров насосов. По возможности не применять насосы с режущим устройством на входе, так как оно блокирует турбуленцию на всасывании. По возможности задавать точку отключения в режиме частичной нагрузки, так как образующийся в этом режиме вихрь способствует хорошему перемешиванию воды в зумпфе.
- Определить циклы промывки зумпфа насосной станции по возможности установленными рабочими насосами
- Оптимизировать геометрию насосного зумпфа (минимальные свободные поверхности при максимальных объемах зумпфа)
- Максимально эффективное использование объема зумпфа насосной станции в качестве объема отключения насосов.

Установка дополнительных устройств, например, устройств для сбора механического мусора, мешалок или решеток, всегда связана с повышением затрат на обслуживание и капитальных затрат. Кроме того, следует убедиться в том, что собранный материал будет надлежащим образом утилизирован.

#### 5.4 Устройство берм (уступов/уклонов) в насосном зумпфе

Так как при перекачке сточных, загрязненных или поверхностных вод обычно речь идет о перекачиваемой среде, насыщенной твердыми веществами, при проектировании зумпфа следует также позаботиться о сопутствующем перемещении компонентов данных сред.

После того как перекачиваемая жидкость выходит из приточного трубопровода, скорость потока падает, и в соответствии с распределением скоростей в сооружении возникают процессы осаждения. Насос(ы) уже не в состоянии всасывать осадочные отложения и вместе с водой перемещать их из сооружения.

Если сооружение не облицовано соответствующими уклонами (бермами), отложения продолжают накапливаться и могут привести к изменениям течения в сооружении или засорению насоса (насосов). Эта ситуация может быть предотвращена при помощи установки достаточно больших уклонов или берм (угловой обшивки).

В зависимости от структуры поверхности сооружения ве-

личина углов может варьироваться. По стандарту ATV-DVWK-A134 рекомендуется использовать угол 60°. Тем не менее, при равных объемах зумпфа это приводит к весьма дорогостоящим работам, поскольку возрастает глубина насосной станции. В случае нанесения покрытия на поверхности угол может быть более пологим, что позволит сократить глубину сооружения (сравните рекомендации Института гидравлики 9.8 от 1998 г.).

Если дно зумпфа слишком плоское, следует рассмотреть возможность обеспечения промывки посредством целенаправленного обтекания (возможно, с помощью встроенных элементов). Это осуществляется, например, при помощи местных изменений сечения потока с целью некоторого увеличения скорости потока и, таким образом, дальнейшего перемещения твердых веществ/отложений. Основное правило гласит: все зоны слабого потока или застойные зоны заполняются бетоном, чтобы исключить образование отложений.

Чтобы предотвратить отложения в области с зонами слабого потока, также предлагается закрыть область между опорным коленом насоса и стеной сооружения (если смотреть со стороны притока) соответствующим образом установленными бермами (Рис. 5.4а). Однако они должны обеспечивать возможность проведения впоследствии монтажных работ с опорным коленом (монтажная доступность для выравнивания и крепления).

Облицовка бетонной поверхности помимо улучшенной способности скольжения элементов сточных вод также обеспечивает защиту стен сооружения от так называемой коррозии бетона. Несмотря на большую значимость данной темы в данной брошюре она не будет рассматриваться более подробно.

Специалисты Технического университета Берлина по поручению компании KSB провели комплексные исследования по данной теме. Результаты демонстрируют влияние угла наклона бермы с соответствующей облицовкой на характер скольжения отдельных составляющих сточных вод (Рис. 5.4 б).

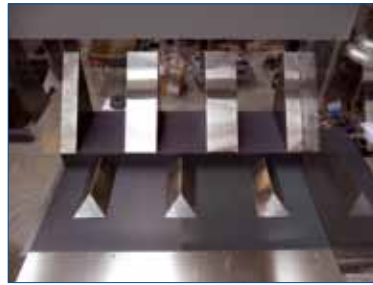


Рис. 5.4а: Конструкция модели для канализационной насосной станции с бермами и донными разделителями.

Если в данном случае, изображенном на Рис. 5.4 б, исходить из установившихся скоростей потока в насосном зумпфе, при определенных условиях угол наклона может быть уменьшен без образования отложений в области дна.

Это также повлияет на затраты на сооружение. Точный прогноз развивающейся ситуации в зумпфе насосной станции может быть например представлен в виде CFD-моделирования (см. часть

5.11 «Значение CFD-моделирования»). Влияние поверхностного разрушения (увеличение неровностей), вызываемое твердыми частицами сточных вод или повышением сопротивления скольжению (приклеивание) из-за жиров и масел, не вошло в объем исследования и оценивается с учетом конкретного состава сточных вод.

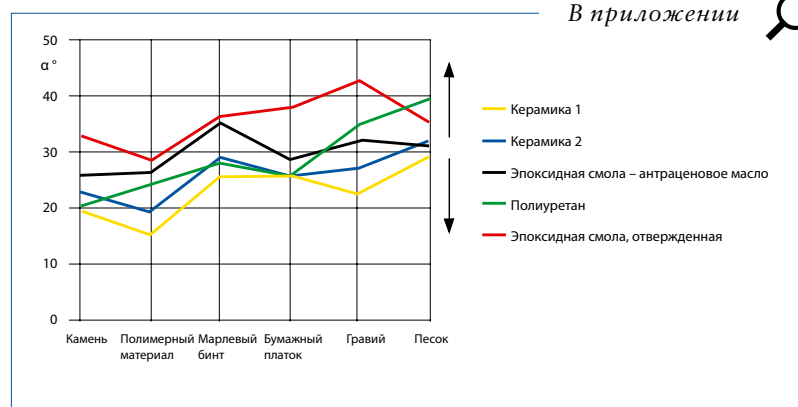


Рис. 5.4 б: Угол соскользвания различных элементов сточных вод с соответствующей облицовки (без влияния потока).

## 5.5

### Разделители для предотвращения подводного вихря

В процессе установки насосов неблагоприятные условия притока могут привести к образованию подводных вихрей, которые оказывают негативное воздействие на работу или плавность хода насосов. Чтобы учесть образование завихрений потока еще на стадии проектирования насосной станции можно активно воздействовать на них при помощи установки донных или изолирующих разделителей между насосами (Рис. 5.5 а). Донные разделители под всасыванием насоса (всасывающий патрубок) обеспечивают прямое влияние на входной поток с точки зрения отсутствия крутки. Изолирующие разделители предотвращают образование подводных вихрей между насосами; необходимые геометрические параметры могут быть выведены на основе геометрии проектируемого типоразмера насоса. Расположение донных разделителей должно быть абсолютно симметричным относительно всасывающего патрубка насоса, в противном случае несимметричный приток к рабочему колесу будет иметь отрицательные последствия.

Установленные размеры приспособляются к форме зумпфа насосной станции или удлиняются в зависимости от берм и очертаний стены. Это позволяет сократить до минимума скорости потока в непосредственной близости от насоса и одновременно препятствует образованию нежелательных отложений.

Разделители могут изготавливаться как из бетона (стандартно), так и в виде листовых конструкций (нержавеющая сталь). Преимущество листовых конструкций заключается помимо прочего в том, что монтаж может быть осуществлен после завершения всех бетонных работ и установки насоса. Условие симметрии относительно всасывающих патрубков насоса в этом случае выполнить проще.

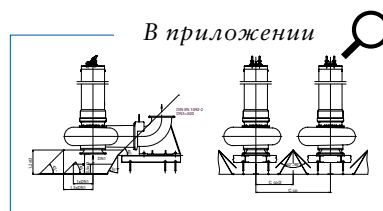


Рис. 5.5а: Геометрическое исполнение донных и изолирующих разделителей

Расположение изолирующих разделителей между насосами основывается на минимальных интервалах, которые выводятся из установ-

ленных максимальных значений подачи отдельного насоса (Рис. 5.5 б). Возникающая при этом оптическая асимметрия не имеет значения для гидравлического эффекта данных разделителей, так как является результатом перекрытия положения всасывающего патрубка спиральными очертаниями корпуса насоса.

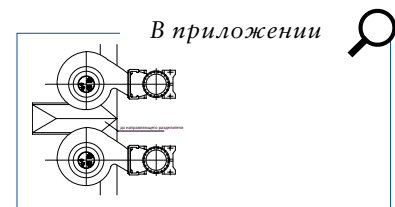


Рис. 5.5б: Горизонтальная проекция изолирующего разделителя между двумя насосами.

## 5.6

### Размеры для зумпфа и монтажа насоса

Необходимые минимальные размеры для установки насосов в зумпфе представляют собой функцию максимальной подачи отдельного насоса и максимального количества насосов в насосной станции. Подача отдельного насоса позволяет установить значения необходимого расстояния от стены, расстояния до соседнего насоса, а также положение притока (канал или труба).

Ориентирование (направление притока в зумпф насосной станции) подвода относительно уровня установки насоса и уровня (по высоте) притока является определяющим критерием для дальнейших процедур или выбора наиболее предпочтительных конструктивных решений. Общая подача насосной станции или максимальная подача насоса (насосов) также оцениваются на основе исследований на модели [ср. абзац 5.8].

С помощью таблицы 5.1 можно точно определить необходимые минимальные параметры для проектирования насосной станции. Они ориентированы на терминологию международно признанных стандартов Гидравлического института Н.И. 9.8 – 1998 г. [5.6]. Графики 5.6 а-5.6 с содержат необходимые параметры в зависимости от подачи одного насоса.

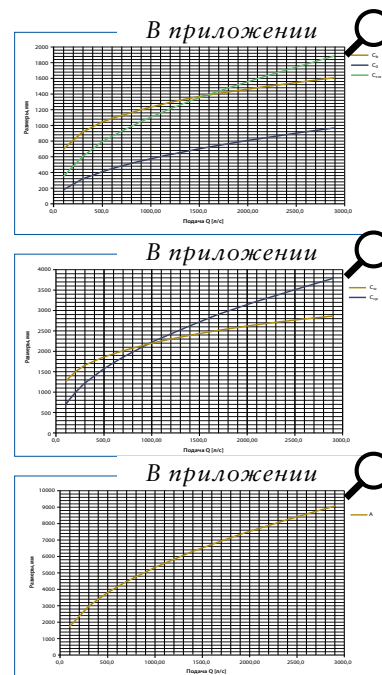


Рис. 5.6а – 5.6с: Минимальные размеры для зумпфа насосной станции

Действие графика распространяется для макс. 5-ти насосов. Если количество насосов на один зумпф превышает это число, должна быть произведена квалификация размеров зумпфа при помощи CFD-моделирования (пакет кодов моделирования динамики текучих сред) и, при не-

обходимости, испытания модели. Установка большого числа насосов (>5) рядом ведет к трудно предсказуемым воздействиям распределения в зумпфе импульса втекающей жидкости с соответствующими последствиями особенно при подаче сточных вод.

Если приток организован непосредственно в направлении расположения насосов, импульс на входе должен быть нивелирован посредством отбойной перегородки с отверстием у дна. Если разность высотных отметок между дном трубы и минимальным уровнем воды в зумпфе будет ликвидирована, этой цели можно добиться при помощи разновидности балконной конструкции. Размер живого сечения притока должен быть ориентирован на максимально допустимую скорость на входе 2,0 м/с. Сам подводящий канал должен, по

Таблица 5.1: Значение переменных и размеров.

| Обозначения переменных | Описание  |
|------------------------|---|
| A                      | Расстояние от оси всасывающего патрубка насоса до притока или до противоположной стенки |
| $C_{ср}$               | Межосевое расстояние всасывающих патрубков / соседних насосов                           |
| $C_{сw}$               | Расстояние от боковой стенки до оси всасывающего патрубка                               |
| $C_o$                  | Отверстие в отбойной стенке или балконе   |
| $C_w$                  | Ширина водобойного колодца или балкона  |
| $C_b$                  | Высота балкона над дном зумпфа  |
| Y                      | Минимальное расстояние от оси всасывающего патрубка до выхода из предвключенной решетки |
| $\alpha$               | Угол уклона дна перед областью всасывания   |

меньшей мере, иметь длину, равную 5-ти диаметрам подводящей трубы, чтобы компенсировать негативный эффект, вызванный поворотами или встроенными элементами перед зумпфом. Это же касается ориентации подачи воды параллельно линии расположения насосов (см. следующие примеры 5.6.1а, 5.6.1б, а также 5.6.2с).

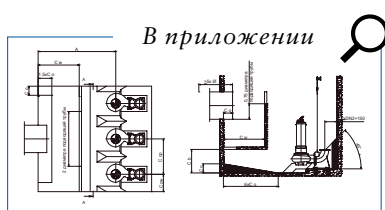


Рис. 5.6.1а: Пример KRT («мокрой» установки) с прямым натеканием и разность высотных отметок между дном трубы и зумпфа.

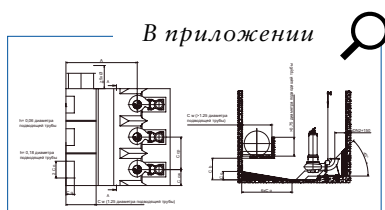


Рис. 5.6.1б: Пример KRT («мокрой» установки) с натеканием вдоль линии расположения насосов и разниця между дном трубы и зумпфа.

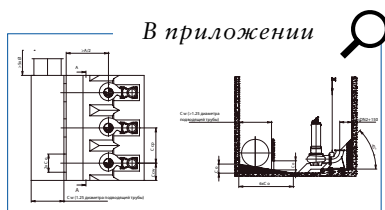


Рис. 5.6.1с: Пример насоса KRT («мокрой» установки) с притоком вдоль линии расположения насосов, без разности между дном трубы и зумпфа насоса.

### Погружной насос «мокрой» установки

При определении минимальных габаритов зумпфа важным является положение подводящего канала или же подводящей трубы. Таким образом: либо осуществится подвод на уровне дна зумпфа, либо нужно будет преодолеть дополнительную разность высот (излив с падением на свободную поверхность, связанный с опасностью дополнительного захвата воздуха перекачиваемой средой) и каким будет направления подвода на уровне расположения насоса.

### 5.7 Зумпфы с высокой загрузенностью грязевыми отложениями

Когда загрязняющих веществ в течение некоторого или даже продолжительного периода оседает больше нормы, у современных канализационных насосных станций вследствие этого не возникает особых сложностей. Однако должны соблюдаться следующие условия:

- Параметры зумпфа в отношении размера и формы заданы правильно.
- Оперативный режим работы рассчитан таким образом, что гидравлика не подвергается перегрузкам, (концентрация общей массы грязевых веществ, например, камеры ливнепуска в течение

короткой ударной нагрузки, продолжающейся несколько минут).

- Загрязняющие вещества и жидкость по своим свойствам не представляют собой экстремальных нагрузок.



Рис. 5.7: Мешалка с погружным двигателем в зумпфе

Опыты последних лет во всем мире показали, что максимум у 3 % насосных станций возникают проблемы с остающимися грязевыми отложениями, твердым веществом или осадком. Для таких случаев успешным оказалось использование небольшой мешалки с погружным двигателем.

(Рис.5.7). Временно: мешалку можно, например, включить непосредственно перед включением насоса только на короткое время, если не требуется более длительной продолжительности работы. За счет этого, общая масса загрязняющих веществ распределяется на весь объем жидкости, для того чтобы обеспечить как можно более оптимальную способность их транспортировки насосом. Таким образом, масса загрязняющих веществ выводится с самого начала, а не остается в качестве осадка.

Локально: в случаях локальных отложений можно направить ядро струи мешалки непосредственно в проблемную зону; зоны, которые вследствие формы или притока достаточное время остаются незадействованными, могут находиться в прежнем состоянии без дополнительных затрат.

Плавающий ил за счет размещения мешалки может перемешиваться и, таким образом, откачиваться. Это предполагает значительные преимущества:

- Мешалка может быть подобрана в зависимости от сложности ситуации, например, смеси жидкостей (особый состав), размера и формы зумпфа и т.д.
- Общий объем зумпфа может быть охвачен при помощи небольшой мешалки.
- Гибкость (см. выше)
- Отсутствие уменьшения подачи насоса и полной откачки без дополнительных процессов очистки.

### 5.8 Необходимость модельных испытаний

Задачей модельных испытаний является воспроизведение формирования потоков на запланированной насосной станции в уменьшенной модели определенного мас-

штаба. Таким образом, появляется возможность целенаправленно охватить проблемные случаи (вихреобразование, неравномерное распределение скоростей и т.д.) и при необходимости оказать на них положительное воздействие. Из-за хорошей прозрачности в качестве материала для моделей, как правило, используется акриловое стекло. Чтобы условия обтекания можно было перенести на оригинал, для конструирования моделей используются безразмерные параметры. Эти параметры описывают силы, действующие в потоке жидкости; они должны быть как можно более схожими для модели и оригинала. Такими силами являются, среди прочих, сила тяжести, а также силы динамической вязкости, поверхностного напряжения и инерции текущей жидкости. Используемые при этом безразмерные параметры таковы:

$$\begin{aligned} \text{Число Рейнольдса} \quad Re &= \frac{vd}{\nu} \\ \text{Число Фруда} \quad Fr &= \frac{v}{\sqrt{gl}} \\ \text{Число Вебера} \quad We &= \frac{\rho v^2 l}{\sigma} \end{aligned} \quad (22)$$

Условные обозначения:

$v$  = Скорость протекания, м/с  
 $d$  = Гидравлический диаметр, м

$\nu$  = Кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с

$g$  = Ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>

$l$  = Характерная длина (в гидравлике), м

$\sigma$  = Поверхностное напряжение, Н/мм<sup>2</sup>.

Поскольку эти параметры в свою очередь отчасти зависят друг от друга, не все они могут быть одновременно соблюдены при их переносе в масштабе на модель. Поэтому в данном отношении должен быть найден оптимальный компромисс для применения.

Исследования на модели при этом обязательны, если один или несколько из нижеследующих критериев являются верными для водозаборного сооружения или зумпфа:

- План сооружения отклоняется от проверенных моделей в отношении размеров отсеков или прокладки трубопроводов, расстояния от стен, имеются значительные изменения направления между поступлением в сооружение и притоком к насосу и т.д.
- Подача одного насоса составляет более 2,5 м<sup>3</sup>/с или на всю насосную станцию – более 6,3 м<sup>3</sup>/с.
- Приток происходит несимметрично и/или с неравномерной эпюрой скоростей.



- При меняющемся режиме работы насосов на насосной станции с несколькими насосами каждый раз возникают значительные изменения направления течения.
- Существующая насосная станция доставляет проблемы.

**5.9**  
**Макет**

Геометрия модели должна совпадать с оригиналом в соответствии с выбранным масштабом и с соблюдением описанных параметров. Это касается водоносной части корпуса сооружения и насосов. Наряду с частями сооружения также и насосы выполняются из прозрачного материала. Копию рабочего колеса можно не делать, так как целью исследования является только подвод к рабочему колесу.

Вместо рабочего колеса устанавливается ротаметр, число оборотов которого позволяет сделать вывод о вихреобразовании в подводе.

По всему сечению всасывающего патрубка модели насоса в контрольных местах измеряются скорости потока. Это происходит при помощи трубки Пито или лазера. При оценке вихреобразований обращают внимание наряду с

поверхностью жидкости также на лежащие под ней области стенок и дна. Интенсивность вихрей, действующая в предполагаемом поперечном сечении тока жидкости, становится видимой посредством цветового зонда, и ее величина измеряется на основании угла закрутки ротаметра  $\Theta$ . Для этого используются следующие обозначения:

$$\Theta = \tan^{-1} \left( \frac{\pi^\circ d_m n}{u} \right) \quad (23)$$

Условные обозначения:

$d_m$  = Диаметр трубы (зд. всасывающей трубы насоса), м  
 $n$  = Обороты ротаметра, об/с  
 $u$  = осевая скорость потока, м/с

По форме воронки поверхностные вихри делятся на 6 категорий (1 = незначительные, 6 = очень сильные, Рис. 5.9а), а подводные вихри на три категории (Рис. 5.9б).

Как видно из рисунков, эти вихревые проявления выглядят абсолютно безобидно. Однако вихревые образования в рамках исследования моделей передают впечатление от того, какие действительные условия могут создаваться на реальных установках. По сравнению с лабораториями на насосных стан-

циях редко приходится сталкиваться с чистой водой и сложно определить вихреобразование как источник проблем, особенно, если речь идет о подводных вихрях.

Критерии, действующие для методов исследования, могут незначительно отличаться в зависимости от разновидности конструкции насоса, а также исполнения и величины сооружения.

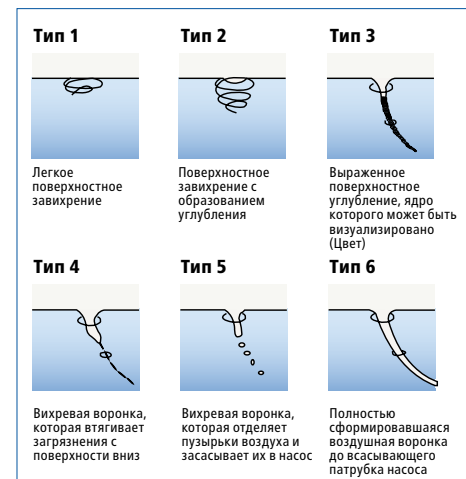


Рис. 5.9а: Классификация поверхностных вихрей по форме воронки (Типы от 1 до 6)

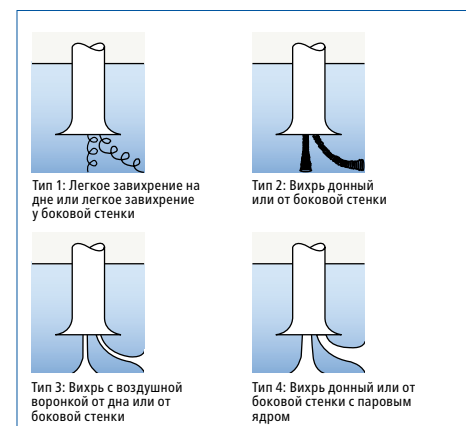


Рис. 5.9б: Классификация подводных вихрей по форме воронки (Типы от 1 до 4)



### 5.10 Оценка результатов

Результаты измерений до завершения проектирования должны быть подтверждены проектировщиками сооружения, заказчиком, изготовителем насоса и испытательным учреждением.

Основные критерии включают:

1. Средние скорости потока в установленных точках замеров на всасывании насоса не должны отличаться более, чем на 10 % от среднего значения.
2. Угол закрутки должен составлять не более 5°. Угол закрутки, равный 6°, таким образом, допустим, если он отмечается в менее, чем 10 % периода наблюдения.
3. Поверхностные вихри принимаются только до типа 2, подводные – до типа 1. В исключительных случаях их появление может допускаться в менее, чем 10 % периода наблюдения.

**Общее замечание:** Слабовыраженные в моделях эффекты в большем масштабе (оригинальном) могут проявляться гораздо сильнее!

Итогом исследований является подробный отчет по исследованным режимам работы. Наблюдаемая информация о вихрях и режимах работы (в соответствии с протестированными уровнями воды в сооружении) подлежит документированию на видеозаписи на магнитной ленте и передаче заказчику.

Компания KSB поддерживает и координирует по запросу проведение модельных исследований в рамках проектных работ.

### 5.11 Значение CFD-моделирования

Зачастую водозаборные сооружения приходится приспосабливать к соответствующим местным условиям, и поэтому они с трудом поддаются стандартизации. В связи с этим заблаговременно проводятся испытания на модели, которые могут обеспечить надежную эксплуатацию крупных сооружений. Основная задача данных исследований заключается в исключении поверхностных воздушных и подводных вихрей, а также обеспечении допустимого распределения скоростей в области входа насоса. Для потока со сво-

бодной поверхностью при масштабировании применяется закон подобия Фруда.

Целенаправленный натурный анализ гидравлических условий возможен только при помощи дорогостоящего измерения местных скоростей или с помощью цветных зондов. Часто требующаяся оценка характера осаждения твердых частиц или обзор соотношения скоростей в любой точке водозаборного сооружения обеспечиваются лишь ограниченно.

Исходя из вероятных проблем, которые могут возникнуть при использовании насосов в канализационной технике, компания KSB предлагает анализировать данные проблемы на основе надежного ПО для CFD-моделирования, чтобы сделать их предсказуемыми.

Чтобы заранее приобрести необходимый для этого опыт, были проведены собственные модельные исследования и осуществлен численный анализ их результатов. При этом можно было констатировать, что проблемы, значимые для насосов, были отражены качественно правильно. К ним относятся практически все типы подводных вихрей. Также возникающая характерная структура потока, в целом, была передана правильно. При этом следует упомянуть опасные для насосов нестационарные течения в области притока, возникновение закрутки перед насосом и анализ зон отрыва потока.

Когда последние достигают поверхности воды, то в существенной степени влияют также и на преждевременное развитие воздухоподсасывающего вихря. В то время, как возникновение и развитие данных форм вихря, сильно увеличивающихся в объеме в связи с попаданием воздуха, труднодоступны численному рассмотрению, на основе соответствующего опыта можно утверждать, что возможно сделать численный прогноз.

Хотя в процессе моделирования свободная поверхность обычно рассматривается как свободная от трения стена, здесь могут быть обнаружены причины, вызывающие вихрь с воздушным конусом. В этой связи была предпринята попытка обнаружить связь между упрощенной гипотезой и фактическим поведением воздухозасасывающего вихря.

Цель расчетов достигнута, если выводы, в том числе для экстремальных условий притока, основанные на численном анализе, согласуются с результатами опыта на модели, таким образом, может быть гарантирована надежная эксплуатация насосов. Согласно недавним испытаниям компании KSB это возможно.

Результат расчетов в связи со сложностью, в целом, отражает больше указаний по проблемным видам потока, чем моделирование. Правильная интерпретация результата расчетов играет решающую роль, позволяя отделить значимое от незначительного и дать количественную оценку факторов риска.

Контроль условий притока с помощью CFD-моделирования получил признание на сегодняшний день. Помимо прочего об этом свидетельствуют возрастающие требования клиентов о выполнении соответствующих расчетов для представленных водозаборных сооружений.

Для эффективного применения CFD-расчетов необходимо заранее обсудить с заказчиком вопросы, ответы на которые следует получить в ходе моделирования. Только когда будет установлено, какие проблемы необходимо проанализировать, станет возможным эффективное применение дорогостоящего вспомогательного средства CFD.

### Преимущества CFD-анализа

Основные преимущества CFD-анализа заключаются не в замене испытаний на модели. Вспомогательное средство CFD применяется тогда, когда это обусловлено характером ожидаемых эксплуатационных проблем. С его помощью течения нестационарного характера или процесс накопления отложений в зумпфе насоса можно проанализировать проще, чем в рамках испытаний на модели.

Поэтому при помощи логического анализа необходимо предварительно оценить потенциальные проблемы и их характер. Впоследствии необходимо определить, исключат ли модельные испытания, CFD-анализ или только оба метода вместе ожидаемые эксплуатационные проблемы.

### Применяемое программное обеспечение

Для решения общих уравнений Навье-Стокса, описывающих поток, ранее было

разработано специальное программное обеспечение. Сегодня оно имеется в продаже. Наряду с ПО провайдера ANSYS компания KSB использует эффективный инструмент, позволяющий с максимальной точностью предсказать поведение потока.



Рис. 5.11а: Формирование потока в насосной станции KRT.

Временные и капитальные затраты подобного моделирования зависят от

- размера моделируемого участка потока
- выбранного геометрического решения
- производительности компьютера
- формы обобщения данных (отчета) и объема результатов.

### Методы

Основой для математического описания потоков жидкости служат уравнения Навье-

Стокса. Они описывают процессы в каждой точке потока при помощи дифференциальных уравнений в частных производных для баланса массы, энергии и импульса (количества движения).

Расчет каждой отдельной пространственной точки потока невыполним по причине невероятной трудоемкости. Вместо этого составляется координатная сетка, и рассчитываются ее узловые точки. После соответствующей подготовки данной координатной модели выносятся утверждения для распределения давления и скоростей, либо данные параметры подвергаются численному или графическому анализу.

Чтобы обеспечить сопоставимость расчетов, используется вихревая модель, корректно передающая реальные условия, что подтверждается опытом.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (24)$$

Рис. 5.11b: Система уравнений Навье-Стокса для описания потока.

### Цели

Испытание модели особенно информативно при распознавании поверхностных вихрей и определении параметров циркуляции на входе насоса. Распределение скоростей на уровне рабочего колеса исследуется с большим трудом. Качество потока при сложной геометрии входной камеры в рамках испытания модели можно распознать только при наличии значительного опыта.

В этом заключается сильная сторона CFD-анализа: течение во всем объеме камеры может быть хорошо видимым. На основе областей с постоянными скоростями и секущими плоскостями надлежащим образом можно проанализировать качество потока.

В водозаборной камере могут встречаться следующие серьезные проблемы:

- нестационарные потоки в области насоса
- образование отложений в больших очистных станциях
- поверхностные и подводные вихри
- завихренные притоки к насосам (циркуляция на входе приводит к усиленной кавитации или изменению напора)
- попадание воздуха в насос (здесь: перемещение воздуха потоком).

Под нестационарными потоками понимаются потоки, зависящие от времени. Если качество потока изменяется со временем, ускоряющие силы производятся насосом, что в нормальных условиях приводит к колебаниям. Особому риску подвергаются в данном случае насосы с высокой удельной частотой вращения.

Образование отложений является существенной угрозой для работы устройств очистных сооружений. Разгрузка скопившихся осадков может стать причиной значительных затрат. При помощи контроля придонных скоростей камера насоса может быть проанализирована на предмет риска образования отложений.

Образующиеся в качественных камерных потоках (имеющие причину) поверхностные вихри без труда прогнозируются. Так, тангенциальный входной поток в камере с большой долей вероятности вызовет камерный вихрь, в центре которого образуется воздухосасывающий поверхностный вихрь. На рис. 5.11c представлен пример такого потока.

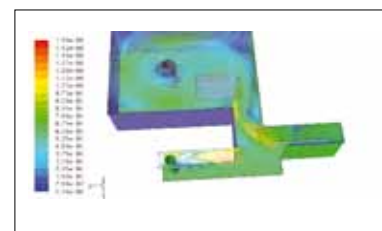


Рис. 5.11c: Готовое сооружение

Завихренные потоки влияют на напор насоса и потребление мощности. Также они изменяют кавитационную характеристику.

Вместе с тем не может быть рассчитано попадание воздуха в жидкость; перемещение попавшего воздуха потоком, тем не менее, может быть оценено на основе распределения скоростей по объему.

### Выводы

В случае вероятности возникновения проблем при эксплуатации необходимо использовать любые средства, позволяющие проанализировать данные проблемы и, таким образом, избежать связанных с ними расходов.

В качестве средства оценки потоков в водозаборном сооружении и зумпфах насосов подходит CFD-моделирование. Его применение способствует предотвращению проблем при эксплуатации в современных гидротехнических и водоочистных сооружениях. Логический анализ рассматриваемых сооружений служит основой для достижения эффективности модельных испытаний и CFD-анализа.

В компании KSB инструмент CFD-моделирования многие годы является стандартным

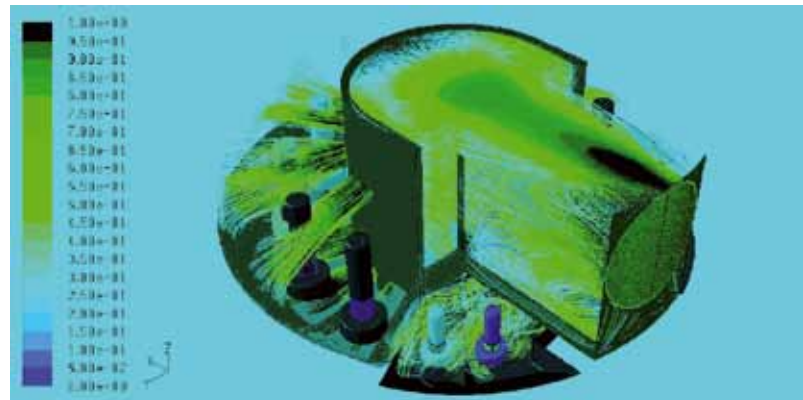


Рис. 5.11d: Моделирование насосной станции с несколькими насосами.



Рис. 5.11e: Готовая насосная станция KRT с предварительно рассчитанной конструкцией.

инструментом. Для определенных насосных станций также применяется сочетание CFD-моделирования и испытаний модели с целью оптимизации или поиска решений.

## Библиография

- [5.1] М. Дж. Проссер, «Гидравлическое проектирование насосных зумпфов и заборных устройств», ВНРА, июль 1977 г.
- [5.2] В. Х. Хагер «Канализационная гидравлика: теория и практика», изд-во Springer, ISBN 3-540-55347-9, 1994
- [5.3] И. Е. Идельчик, «Справочник по гидравлическим сопротивлениям», 3-е издание, Научно-исследовательский институт очистки газа, Москва, 1994 г., ISBN 0-8493-9908-4
- [5.4] В. Крёбер, «Проектирование шахты канализационного насоса с оптимизированными гидравлическими условиями для предотвращения образования корки плавающего ила и отложений», дипломная работа в Техническом университете Берлина, 1996 г.
- [5.5] Норма Кирххайм, «Отложения в каналах общесплавной канализации», DWA 2005 г.
- [5.6] Институт гидравлики, Американский национальный стандарт для проектирования заборного устройства насоса, ANSI / HI 9.8-1998 г.

## Авторы-составители

Часть 1 – Хан, Ральф

Часть 2 – Пенслер, Томас

Часть 3 – Куррих, Ральф

Часть 4 – Гроте, Гюнтер; Дойч, Карл-Хайнц

Часть 5 – Шпрингер, Пеер; Коте, Бернд

### Диаграмма



Рис. 1: Пример ступенчатого графика притока сточной воды для математической модели вычислений при подборе насосов

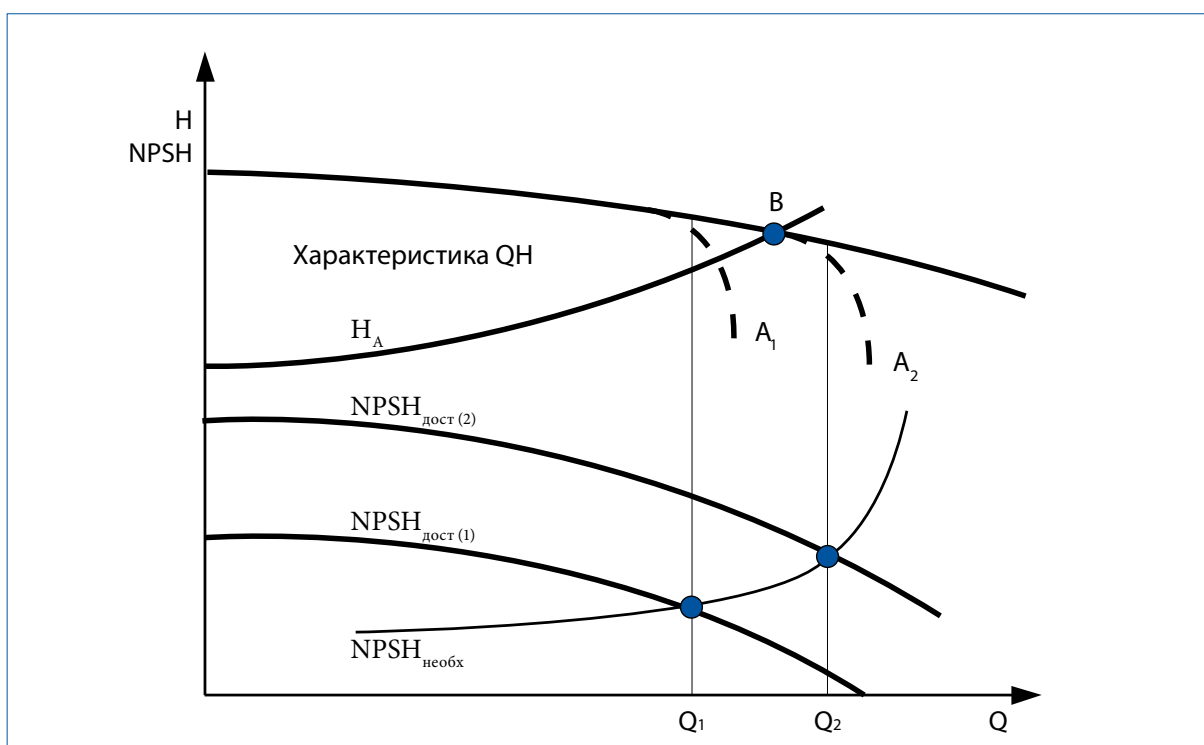


Рис. 1.4: Влияние величины  $NPSH_{дост}$  на напорную характеристику насоса (Источник: Справочник по центробежным насосам KSB).



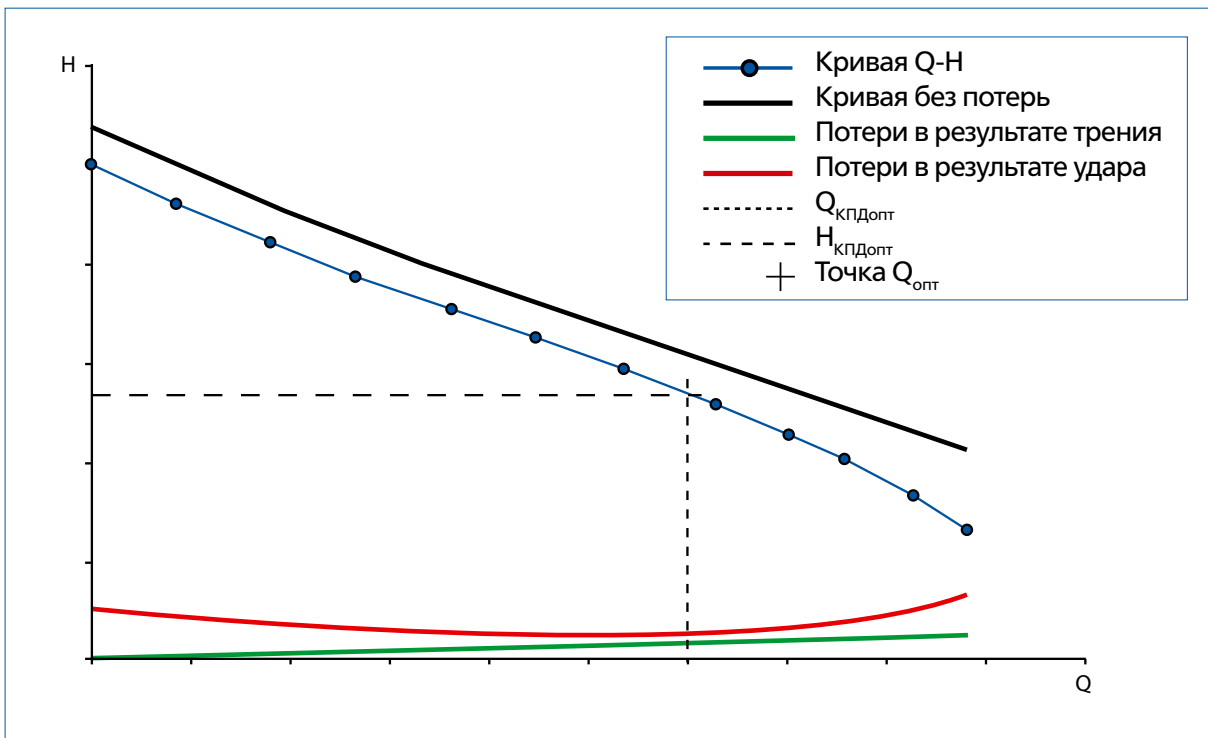


Рис. 1.9: Кривая напора и ее уменьшение в зависимости от внутренних гидравлических потерь. Изображение дано в относительных к оптимальным параметрам величинах.

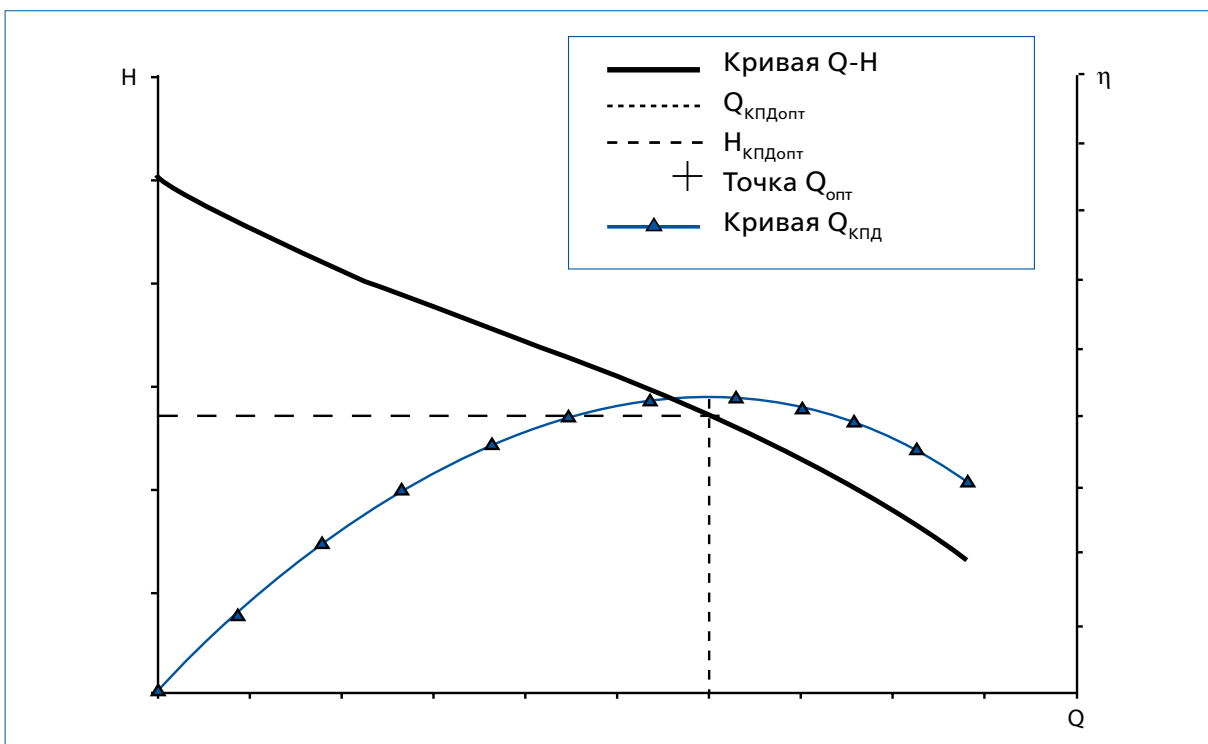


Рис. 1.10: Кривая КПД  $\eta = f(Q)$ . Изображение в относительных к оптимальным параметрам величинах.

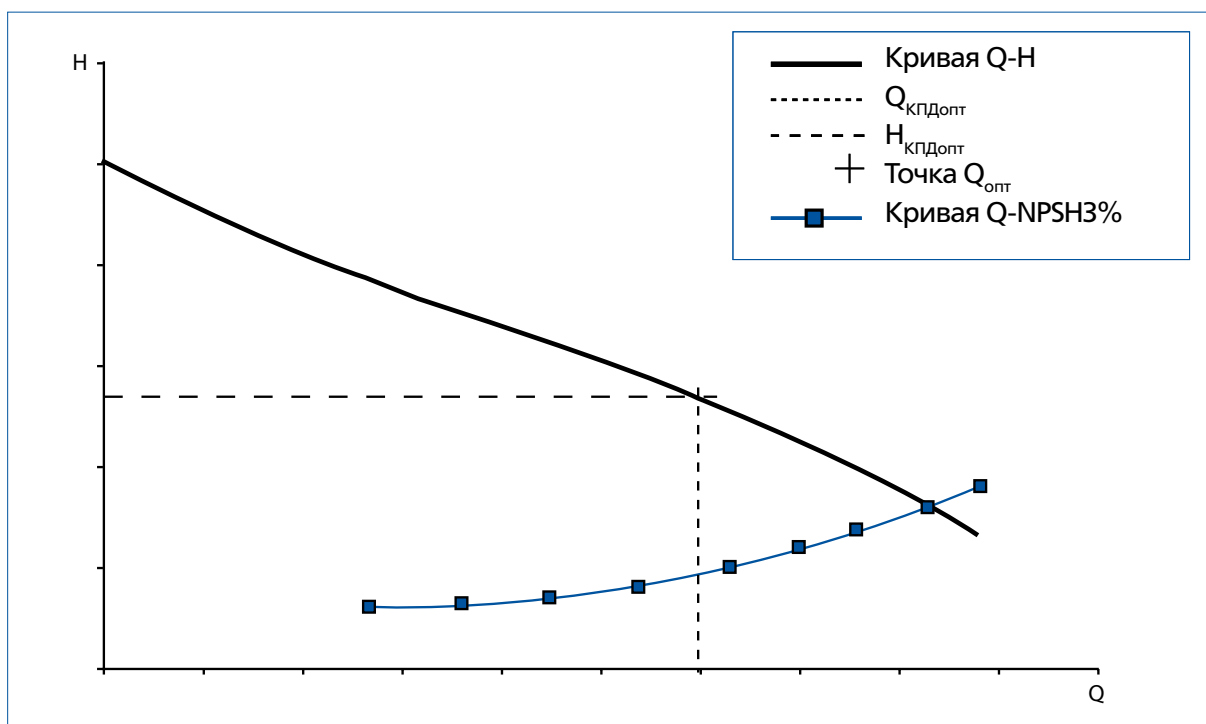


Рис. 1.11: Кривая  $NPSH_{3\%}$ ,  $NPSH_{3\%} = f(Q)$ . Изображение в относительных к оптимальным параметрам величинах.

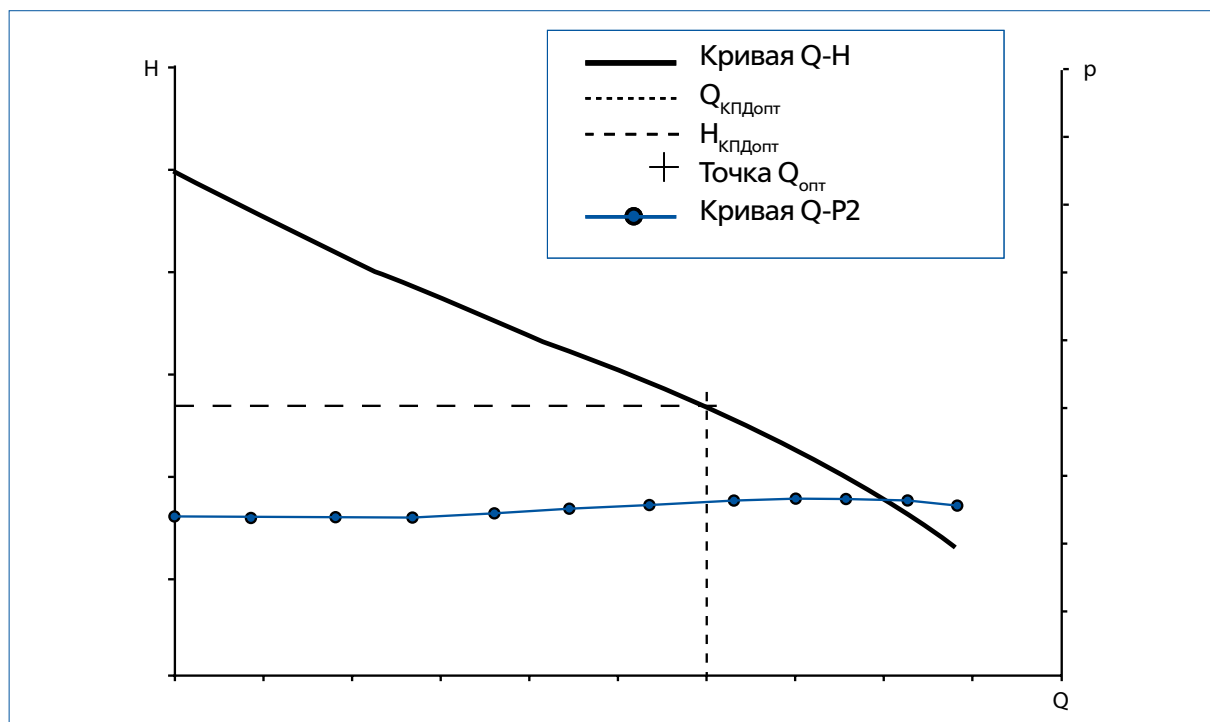


Рис. 1.12: Потребляемая электрическая мощность  $P2 = f(Q)$ . Изображение в относительных к оптимальным параметрам величинах.

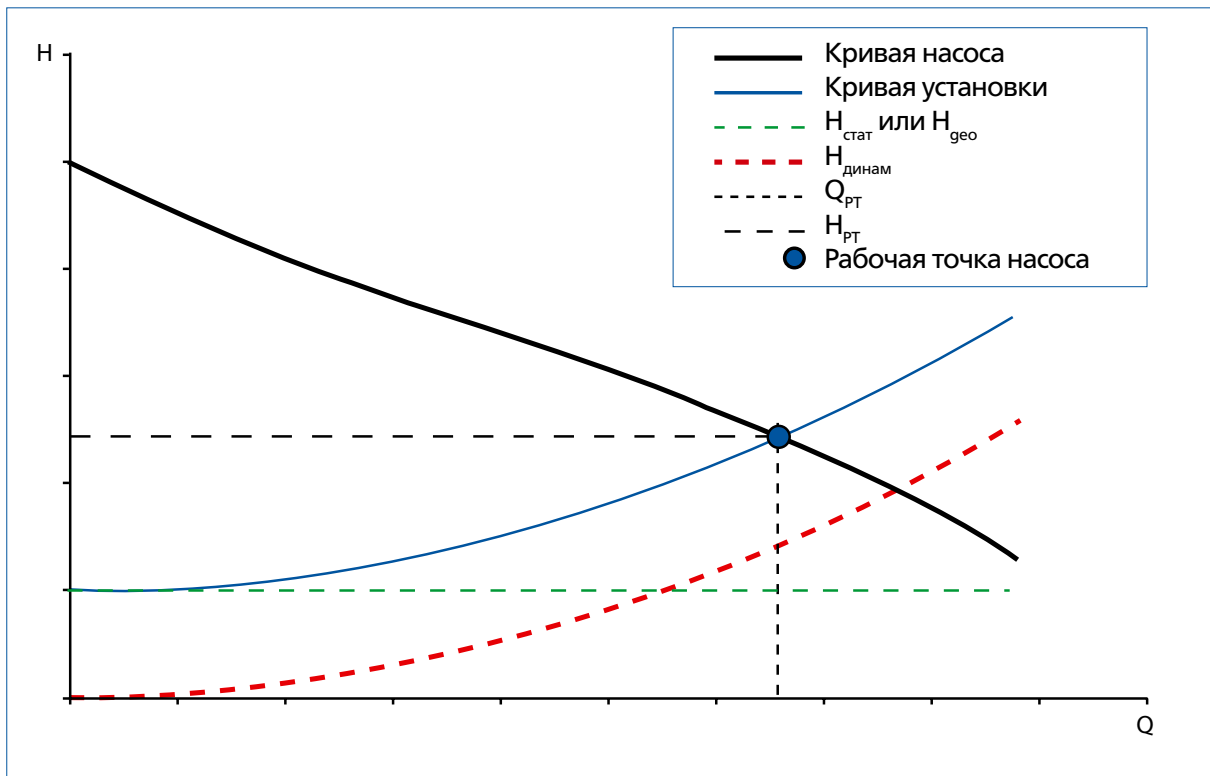


Рис.1.13: Кривая установки – сумма статической и динамической составляющих напора.

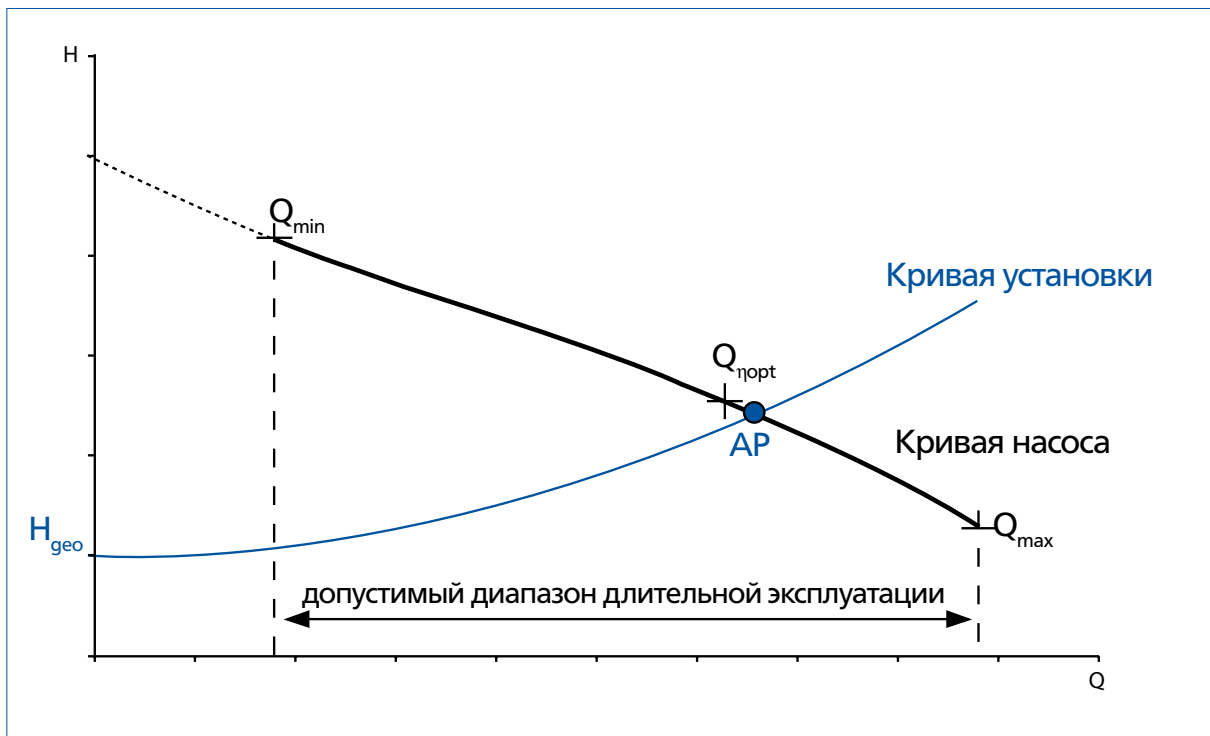


Рис. 1.14: «Границы устойчивой работы  $Q_{\text{мин}}$  и  $Q_{\text{макс}}$  – изображение допустимого диапазона длительной эксплуатации центробежного насоса ( $Q_{\text{мин}} \sim 0,3 \cdot Q_{\text{КПДопт}}$  и  $Q_{\text{макс}} \sim 1,4 \cdot Q_{\text{КПДопт}}$ )»

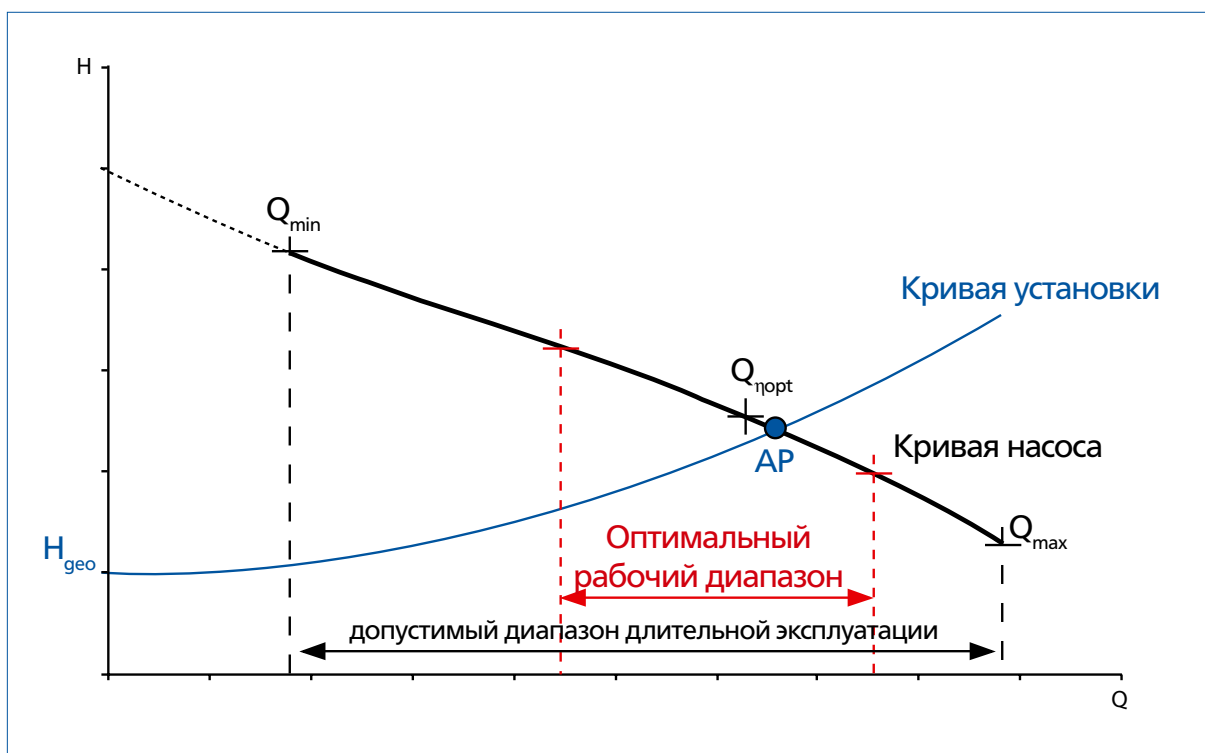


Рис. 1.15: Предпочтительный или оптимальный рабочий диапазон при перемещении сточных вод.

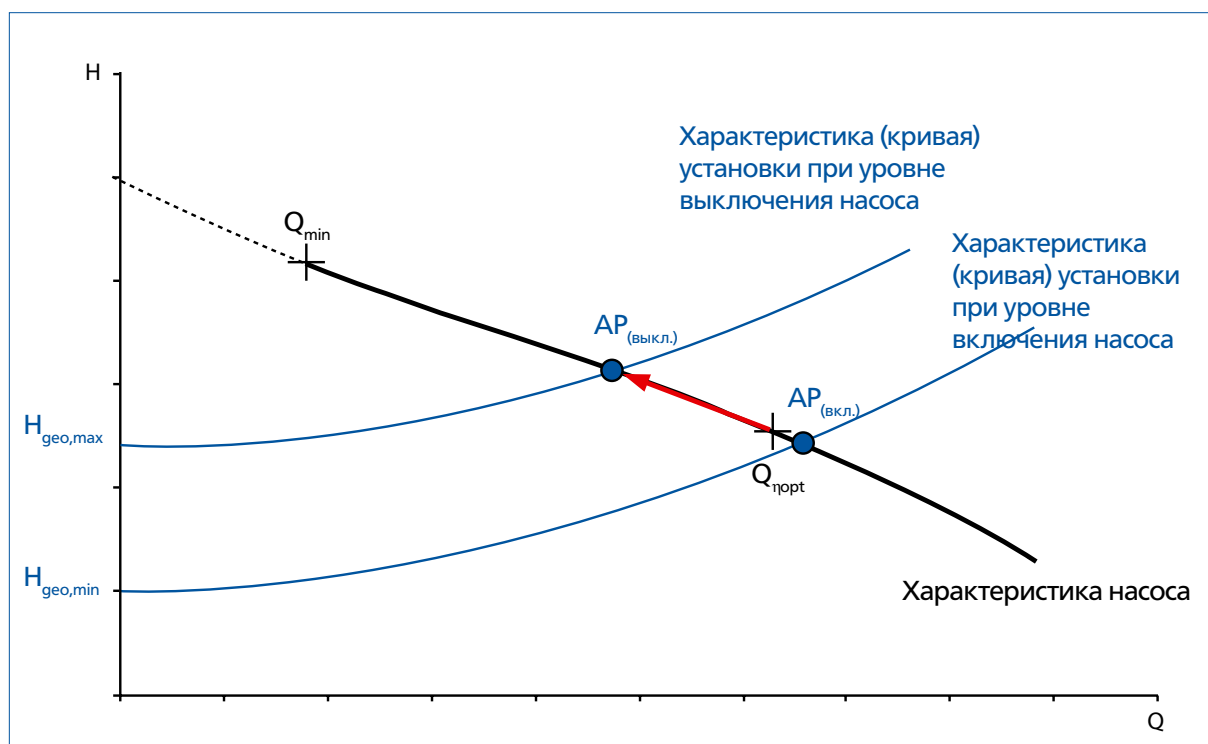


Рис. 1.16: Изменение рабочей точки насоса при фиксированной частоте вращения и изменении статического напора между положениями «включение/выключение насоса» по уровню на стороне всасывания.

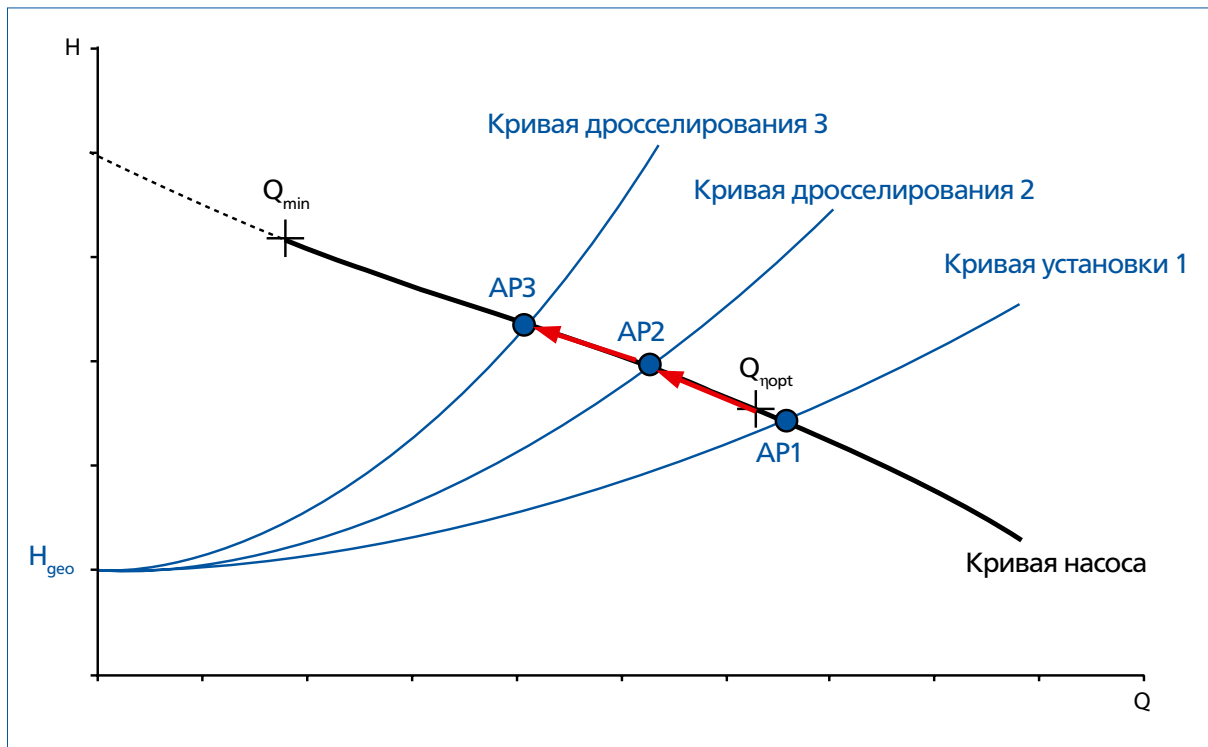


Рис. 1.17: Изменение рабочей точки насоса при изменении потерь давления в нагнетательном трубопроводе, например, в случае изменения номинального внутреннего диаметра трубопровода, изменения его пути или длины, или в случае образования отложений и корок в трубопроводе.

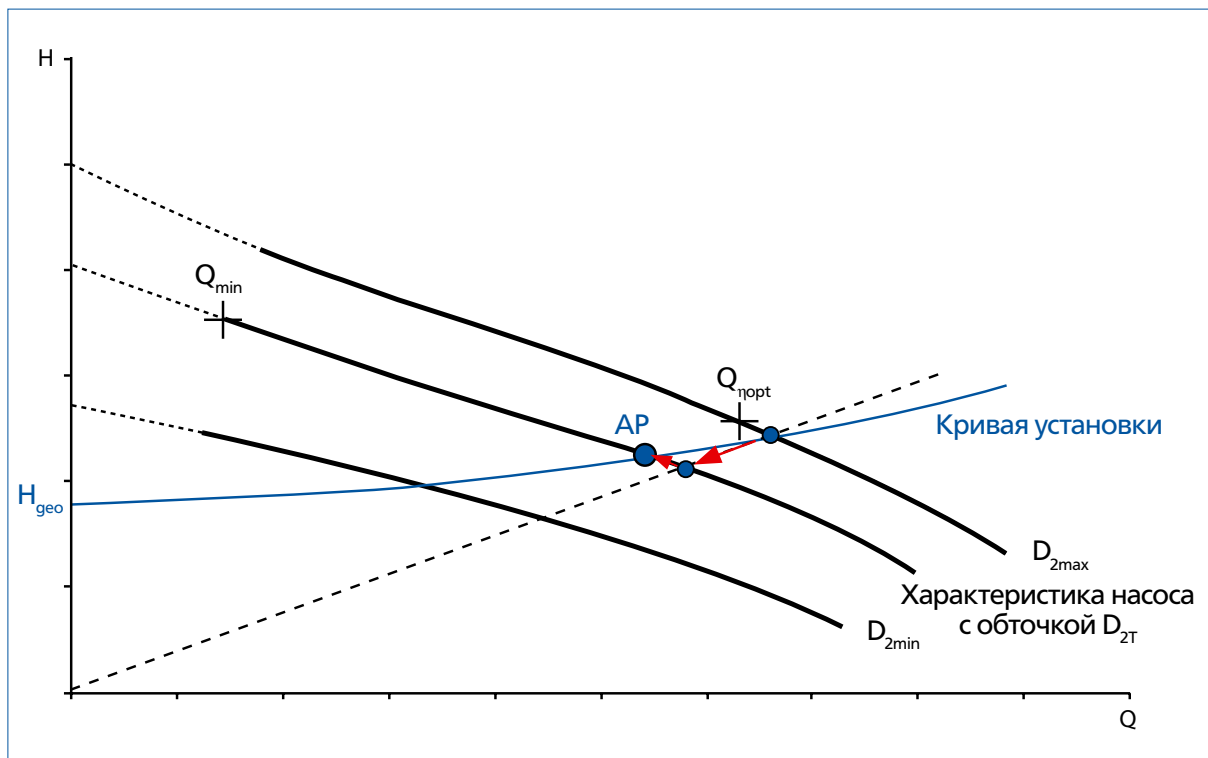


Рис. 1.18: Обточка или расточка рабочего колеса под желаемую рабочую точку насоса.

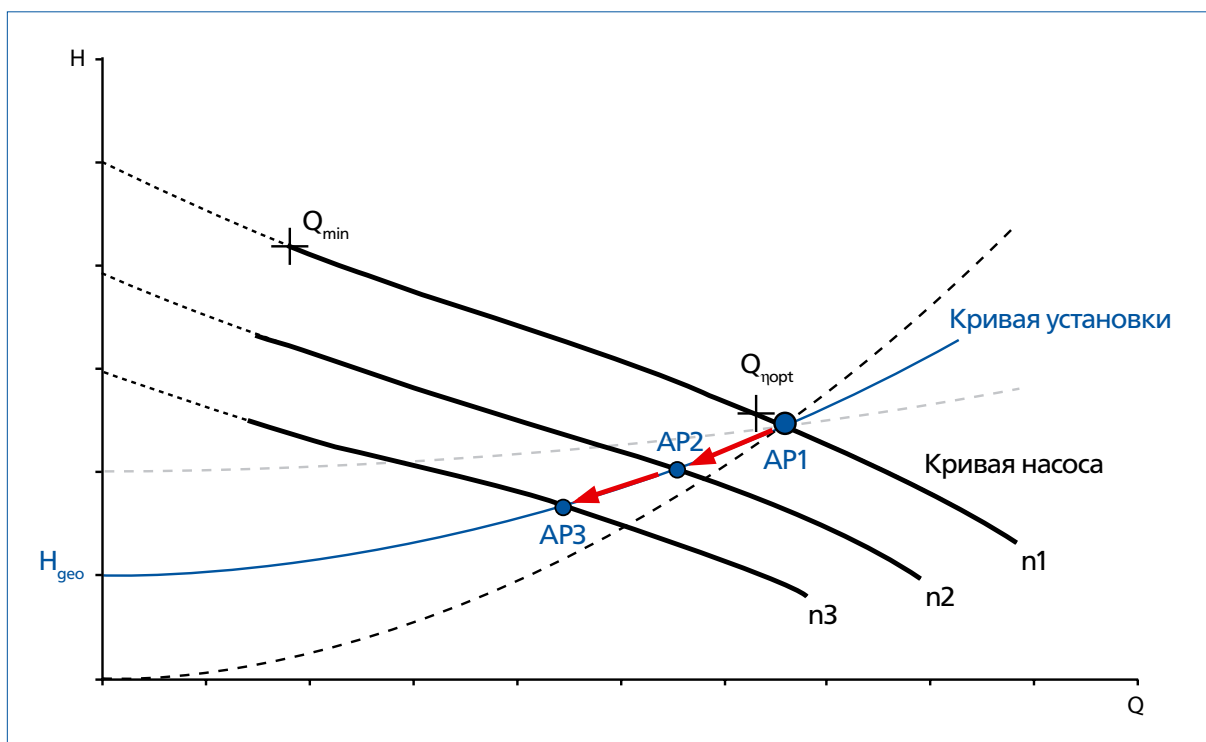


Рис. 1.19: Изменение рабочей точки центробежного насоса при изменении частоты вращения.

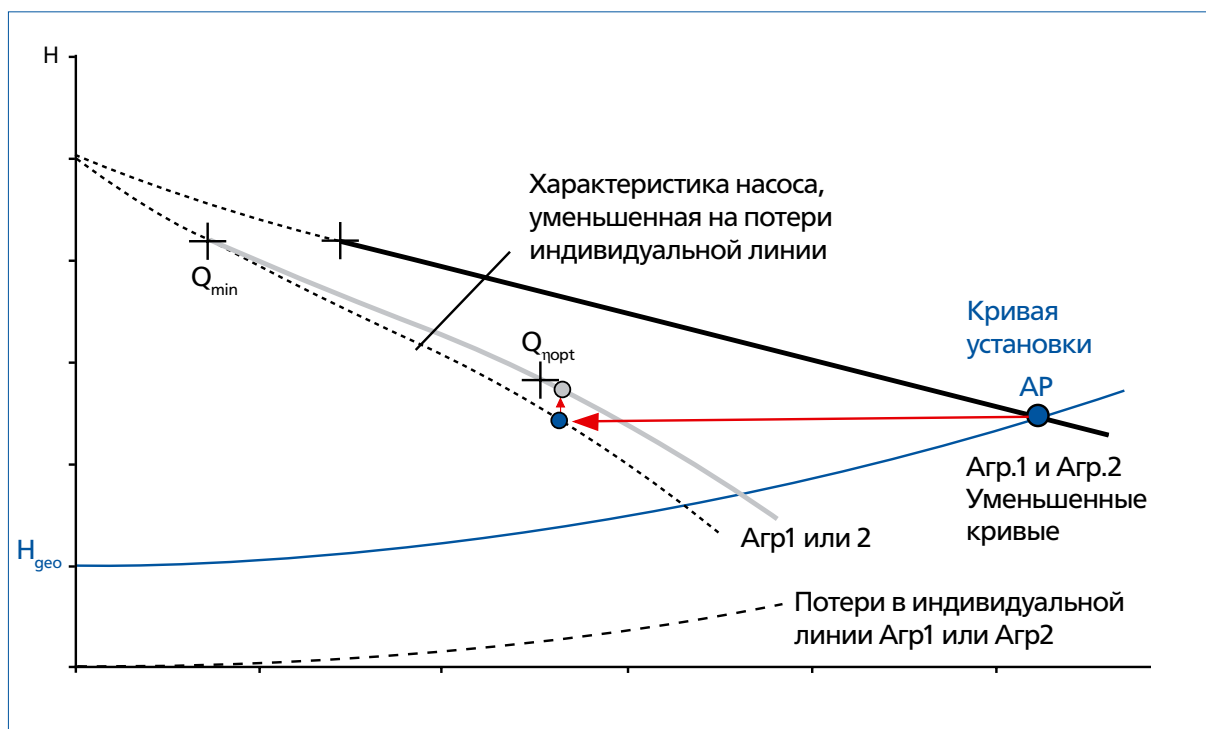


Рис. 1.20: Параллельная работа двух идентичных центробежных насосов. Потери индивидуальных линий (потери давления до интеграции в коллектор) учтены в уменьшенной характеристике насоса.





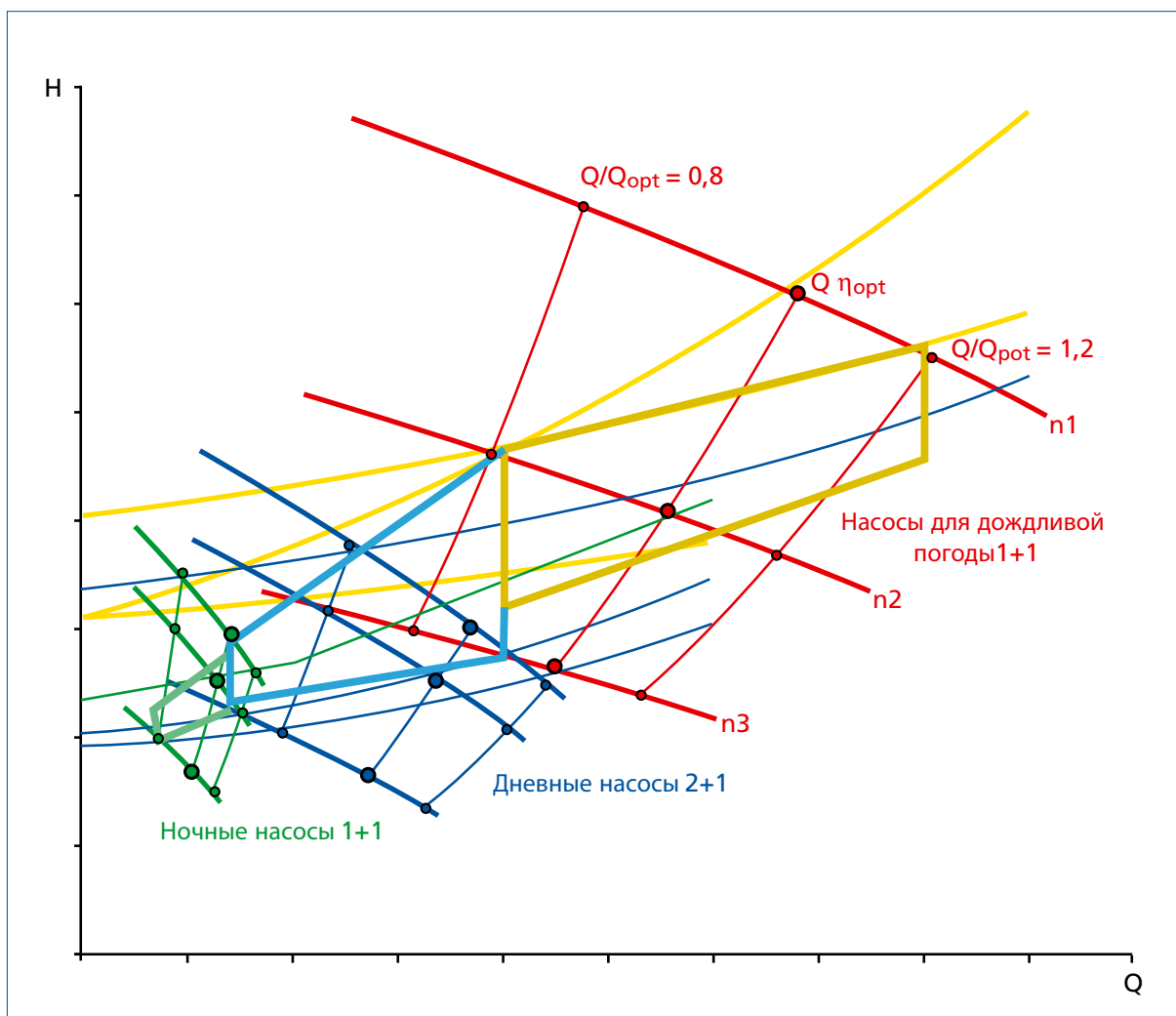


Рис. 1.23: Каскадная работа насосов для дождливой погоды, дневных и ночных, предусматривающая различные пути перемещения (трубопроводы) при различных уровнях воды и для различных условий в течение суток.

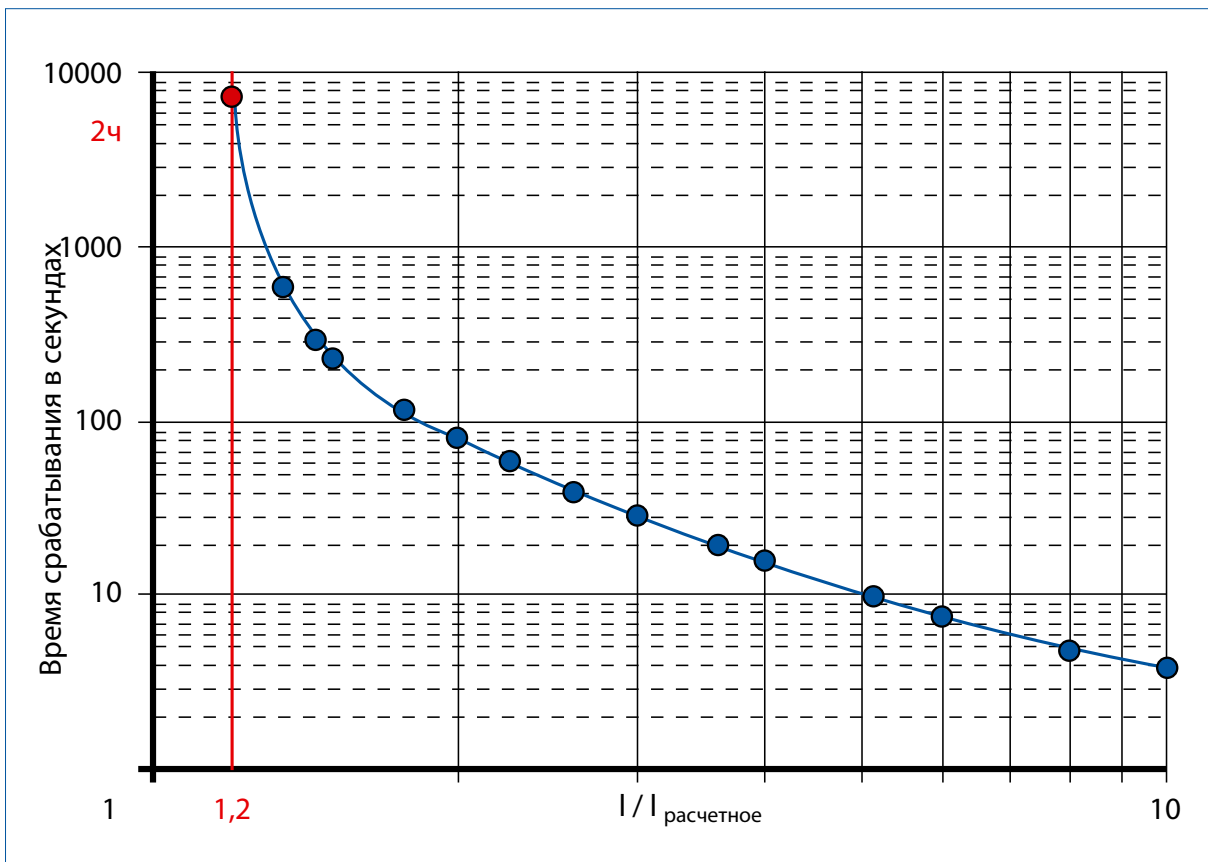
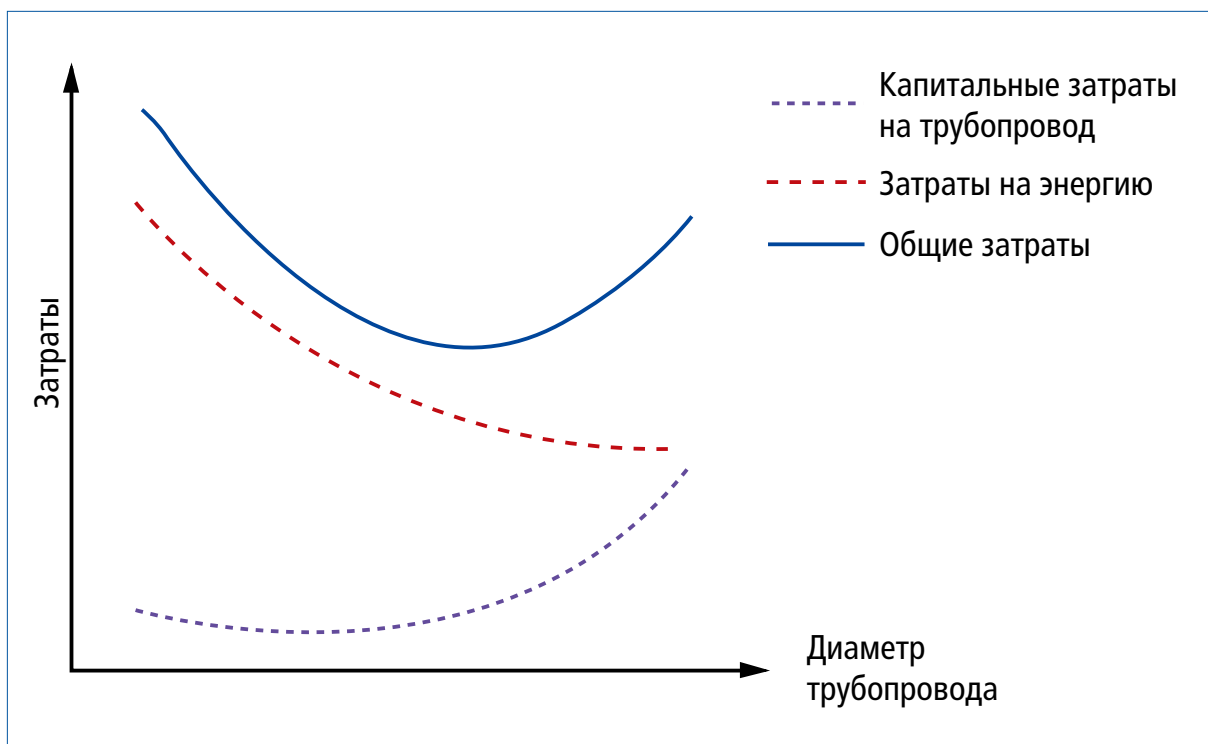
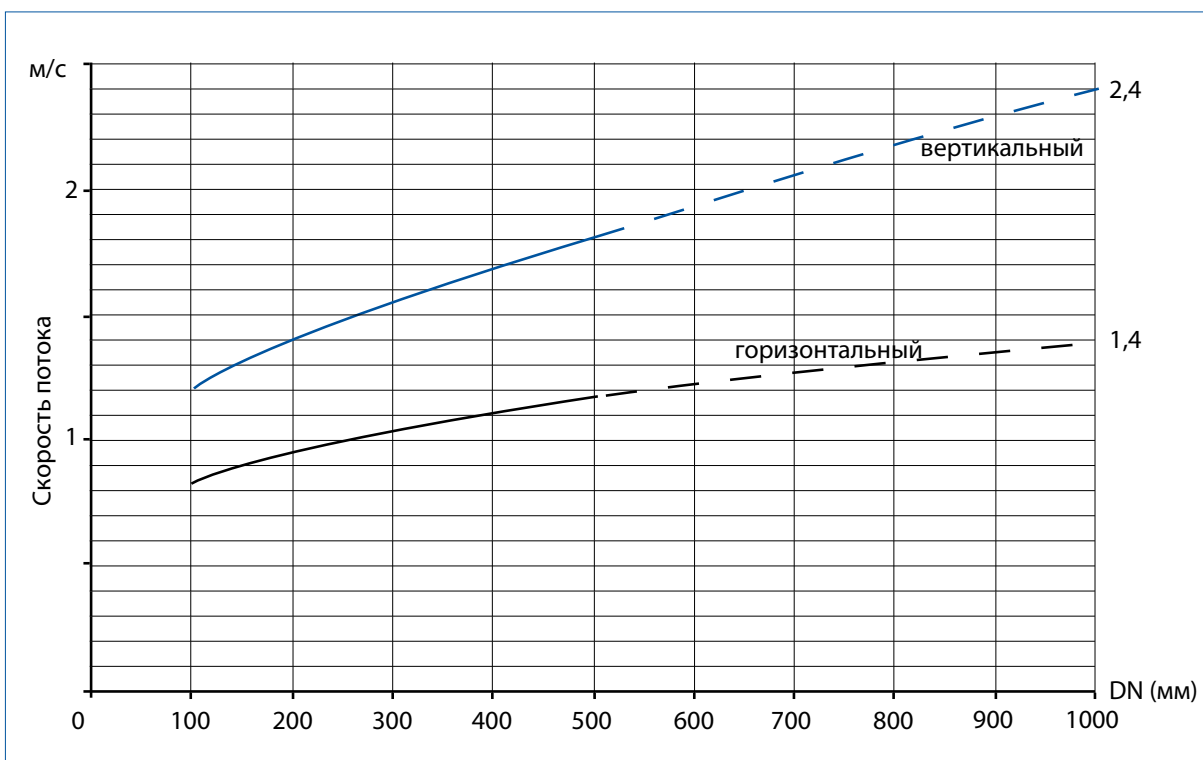


Рис. 3.5: Характеристика срабатывания для термически замедленного расцепителя максимального тока класса 10 по стандарту EN 60947-6-2



Часть 4.1.1.1а: Структура затрат на строительство и эксплуатацию трубопровода



Часть 4.1.1.1b: Минимальная скорость потока

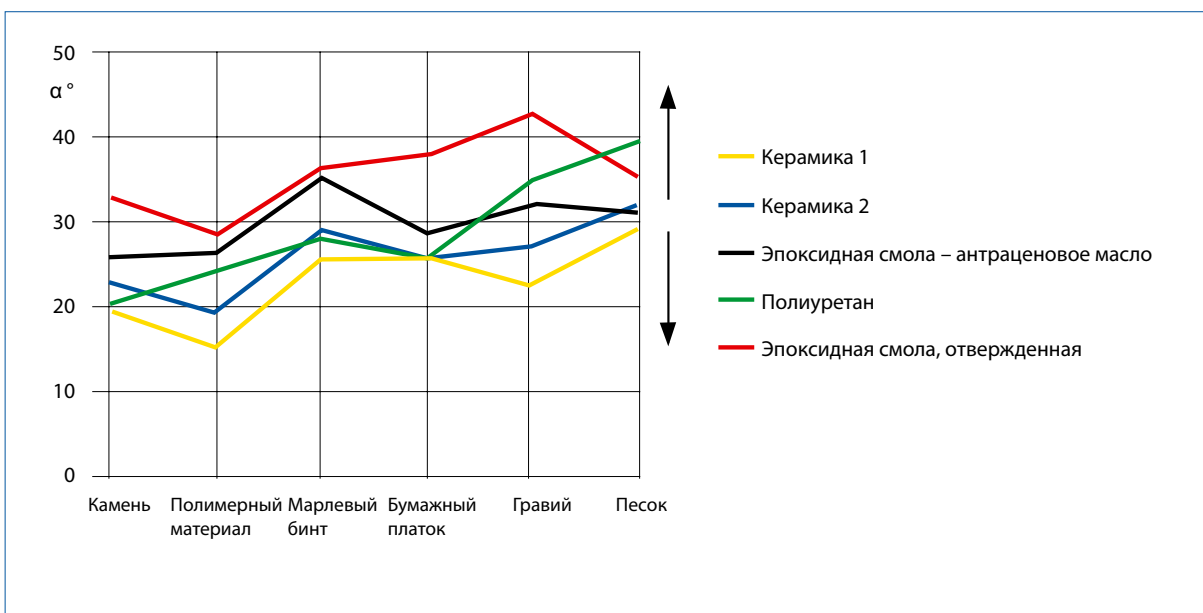


Рис. 5.4 б: Угол соскользвания различных элементов сточных вод с соответствующей облицовки (без влияния потока).

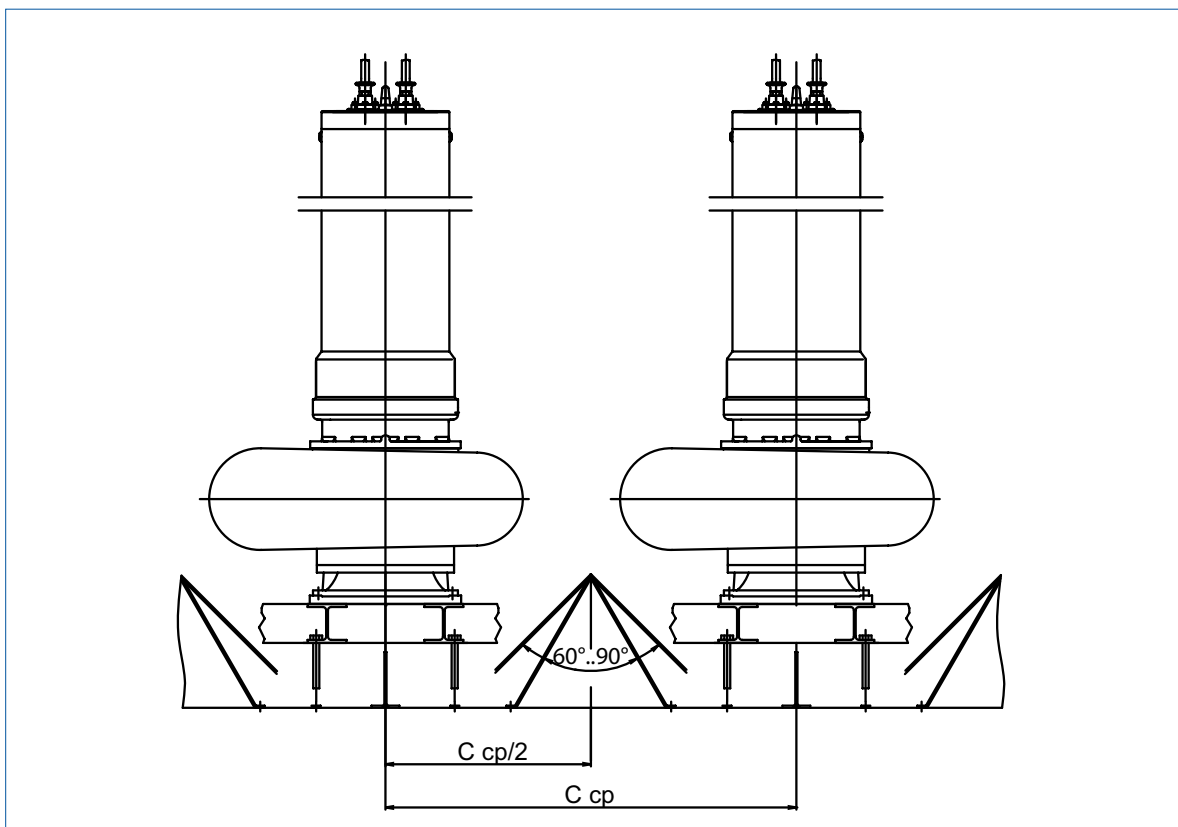
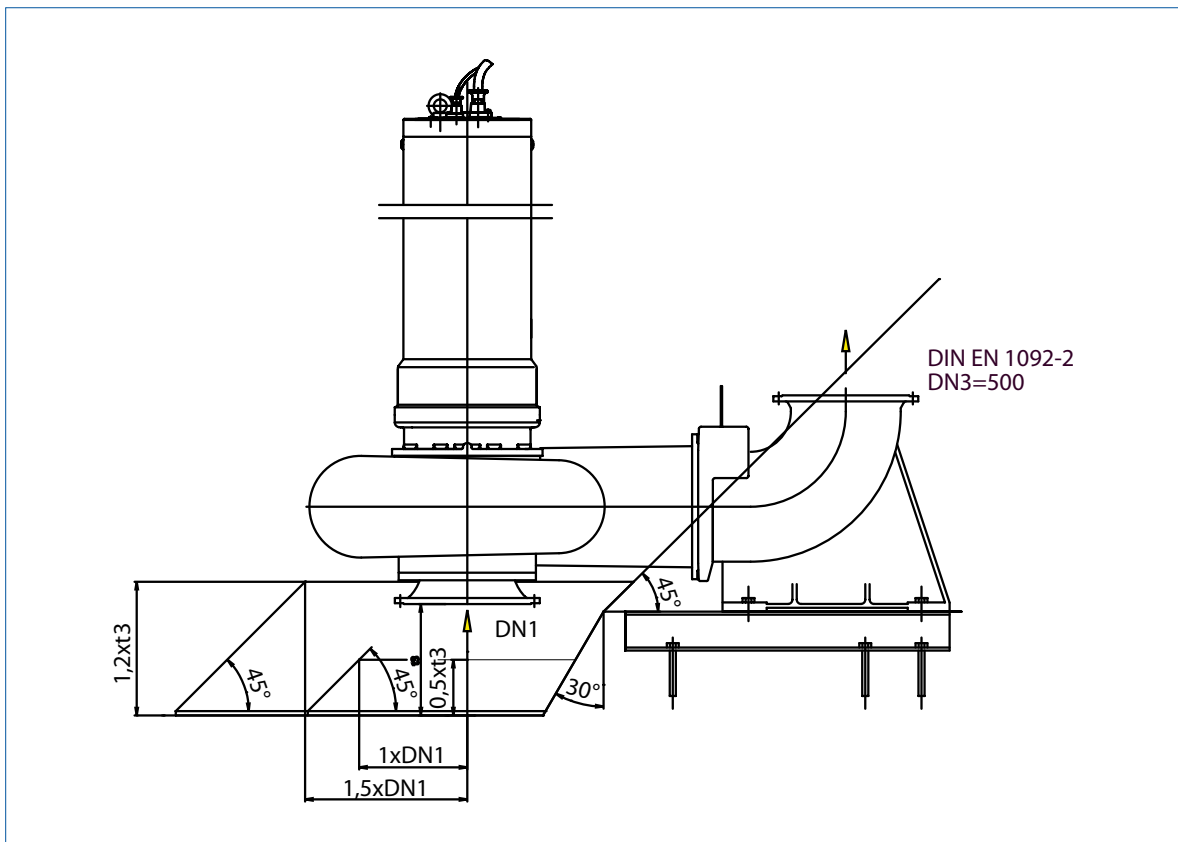


Рис. 5.5а: Геометрическое исполнение донных и изолирующих разделителей

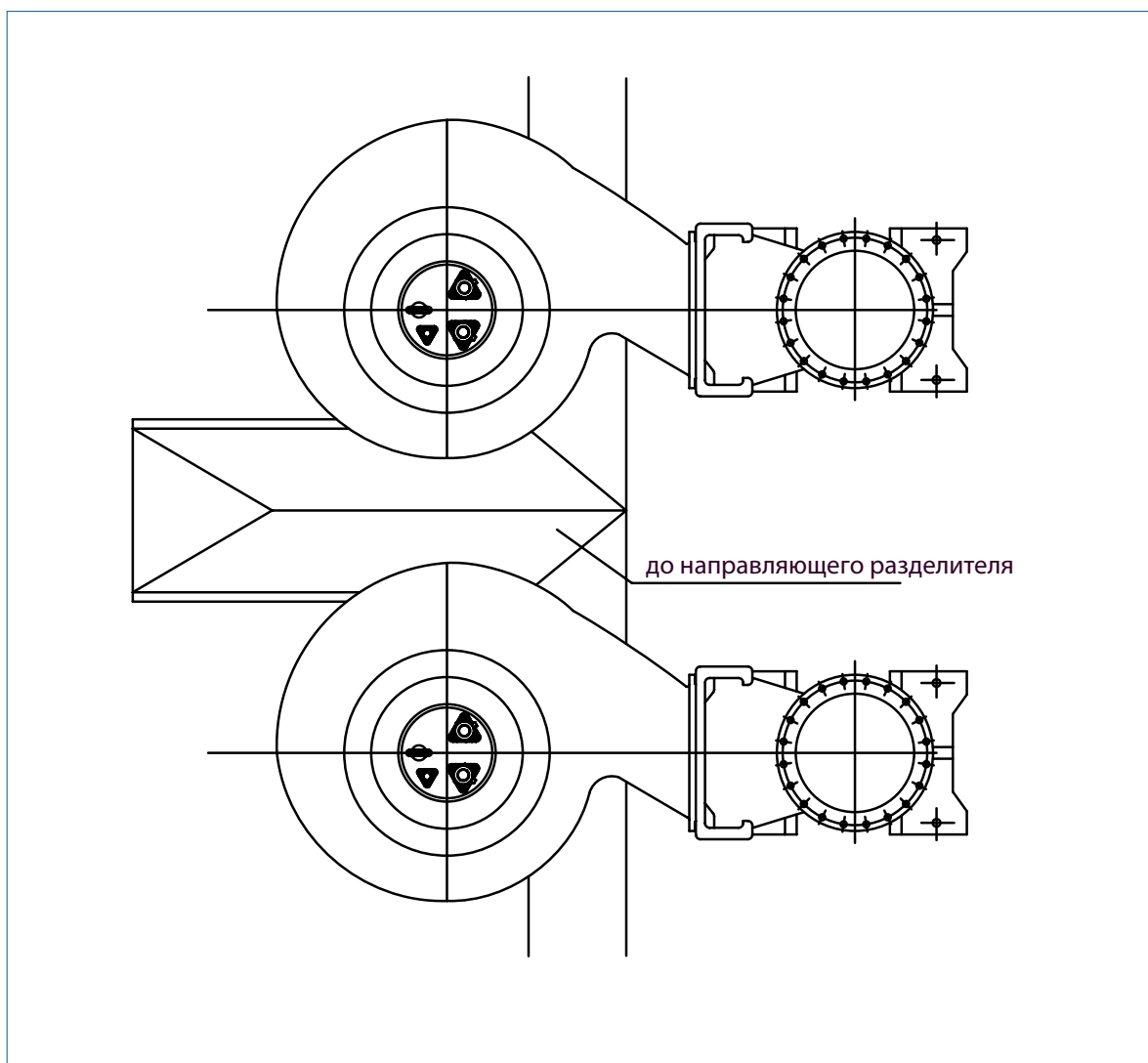


Рис. 5.5b: Горизонтальная проекция разделителя между двумя насосами.

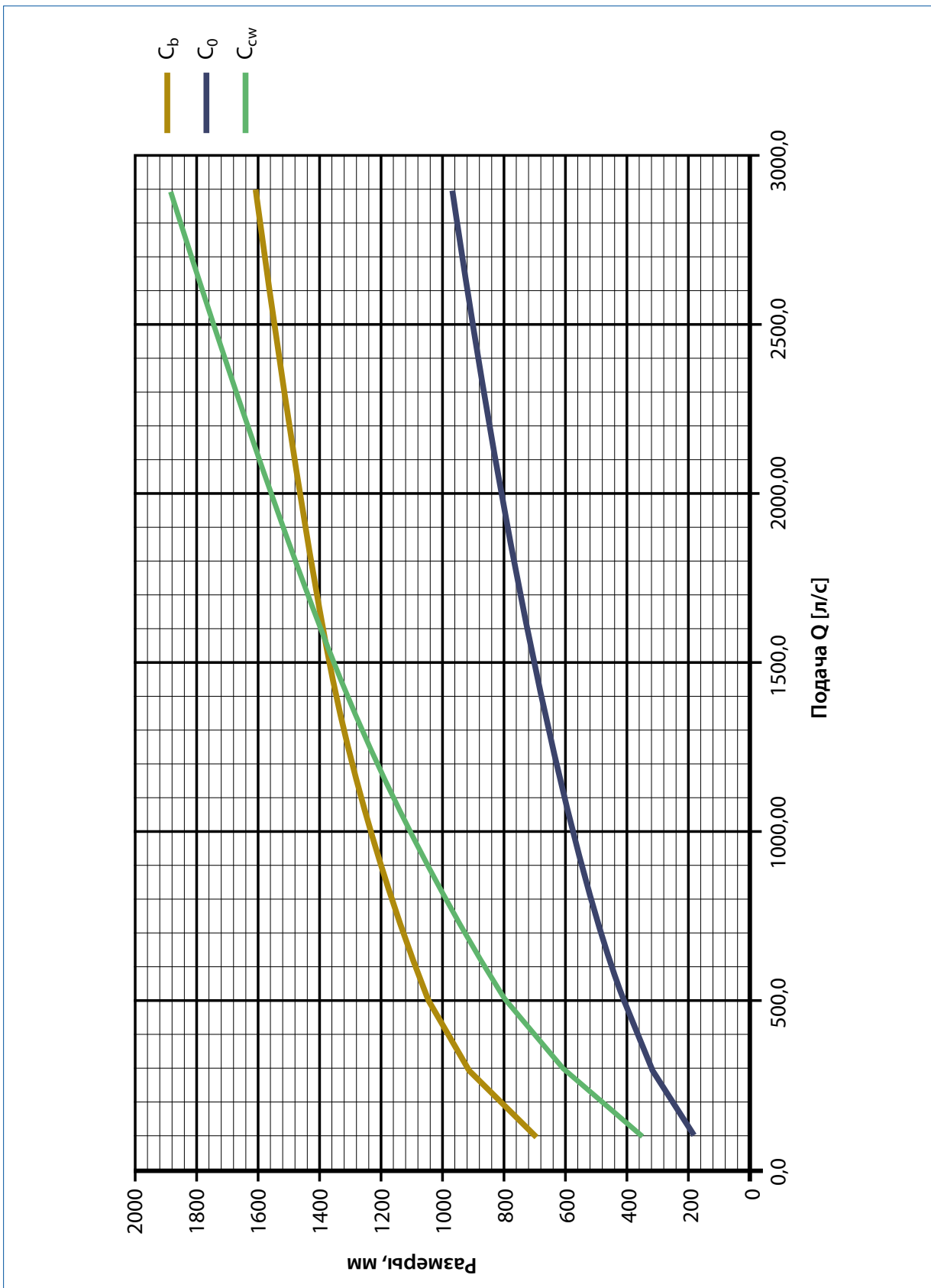
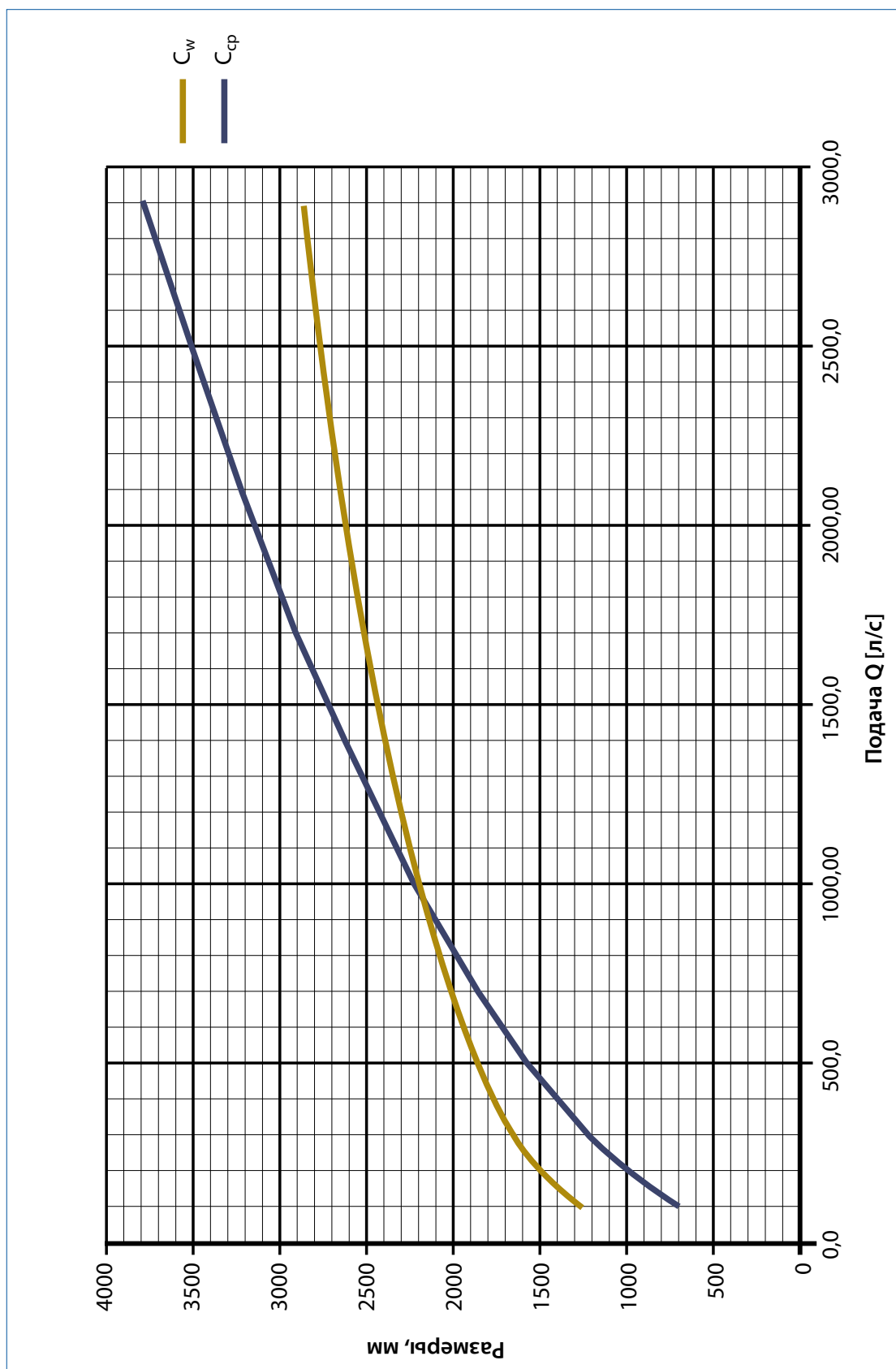


Рис. 5.6а: Минимальные размеры для зумфа насосной станции



5.6b: Минимальные размеры для зумпфа насосной станции



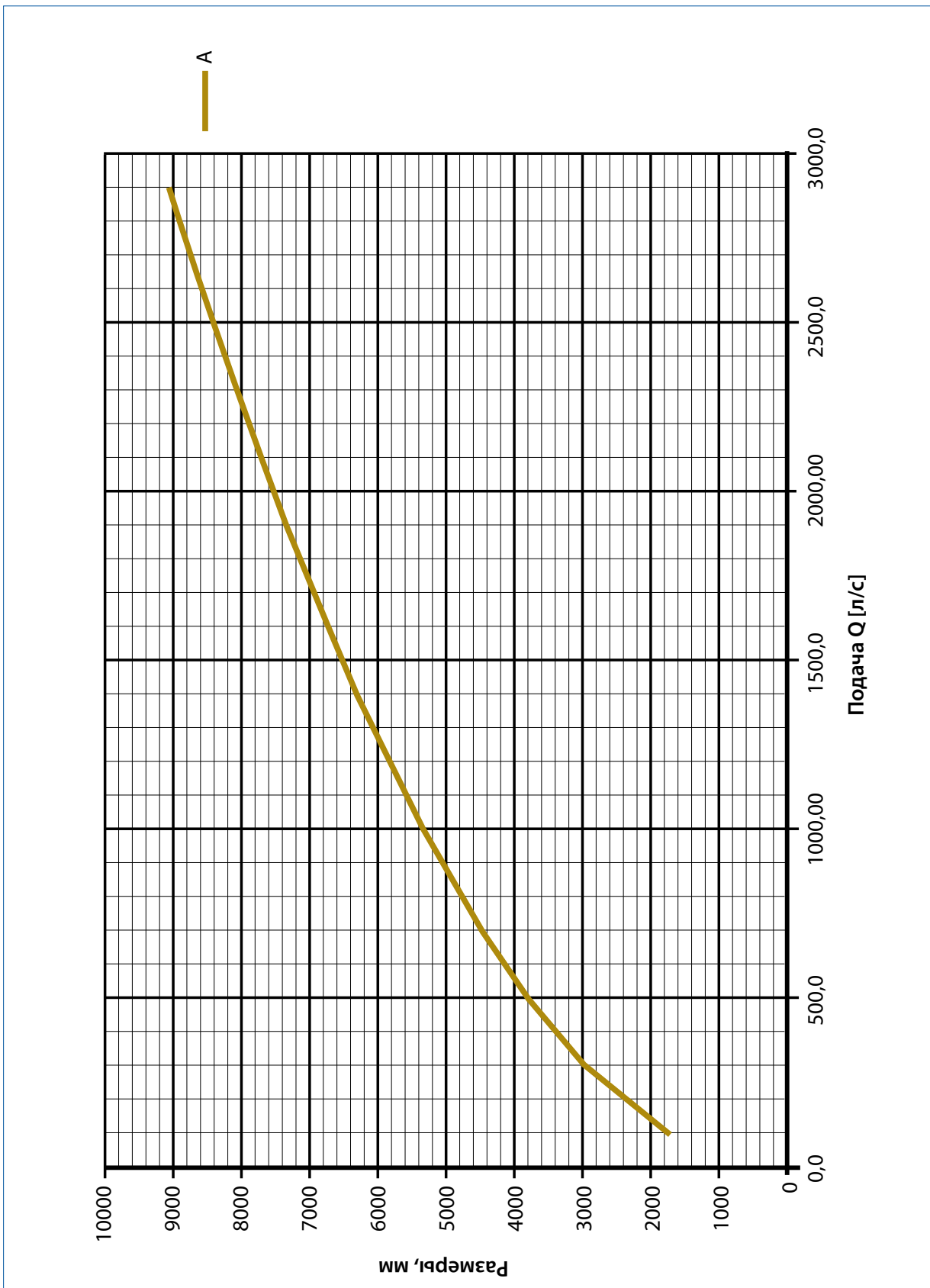


Рис. 5.6с: Минимальные размеры для зумфа насосной станции

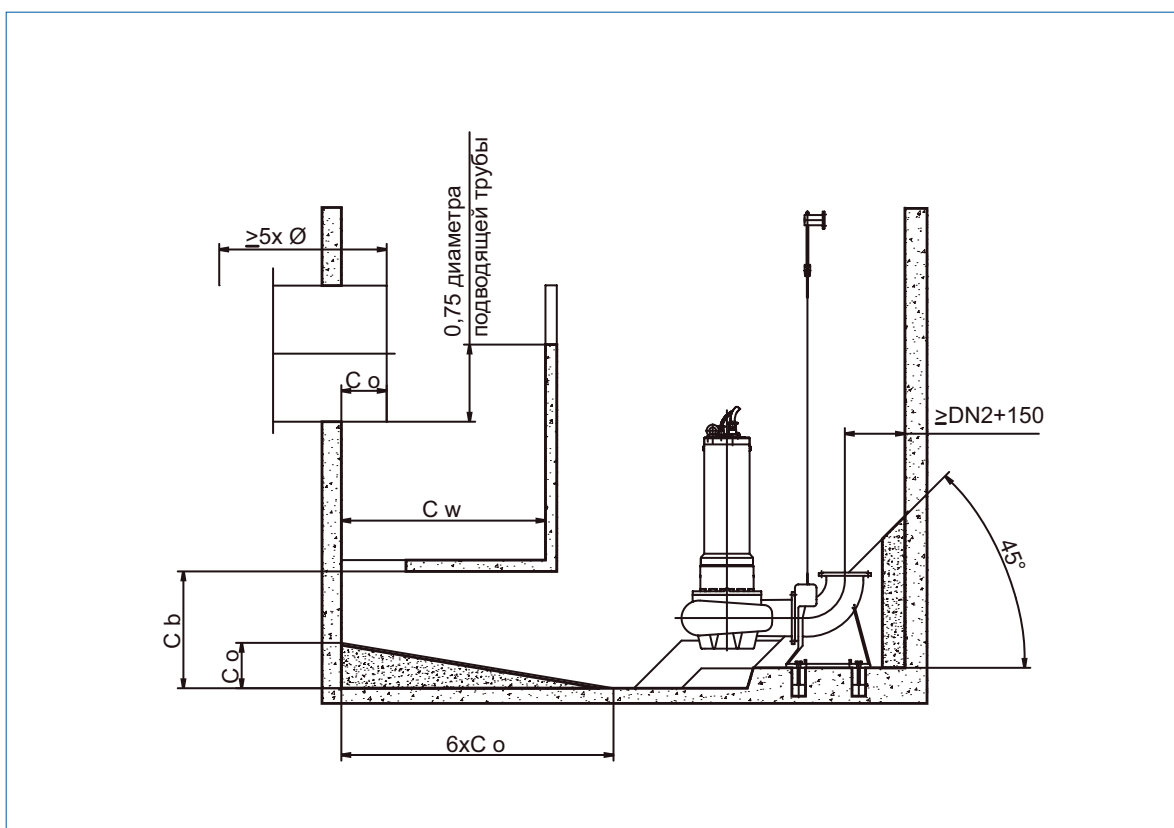
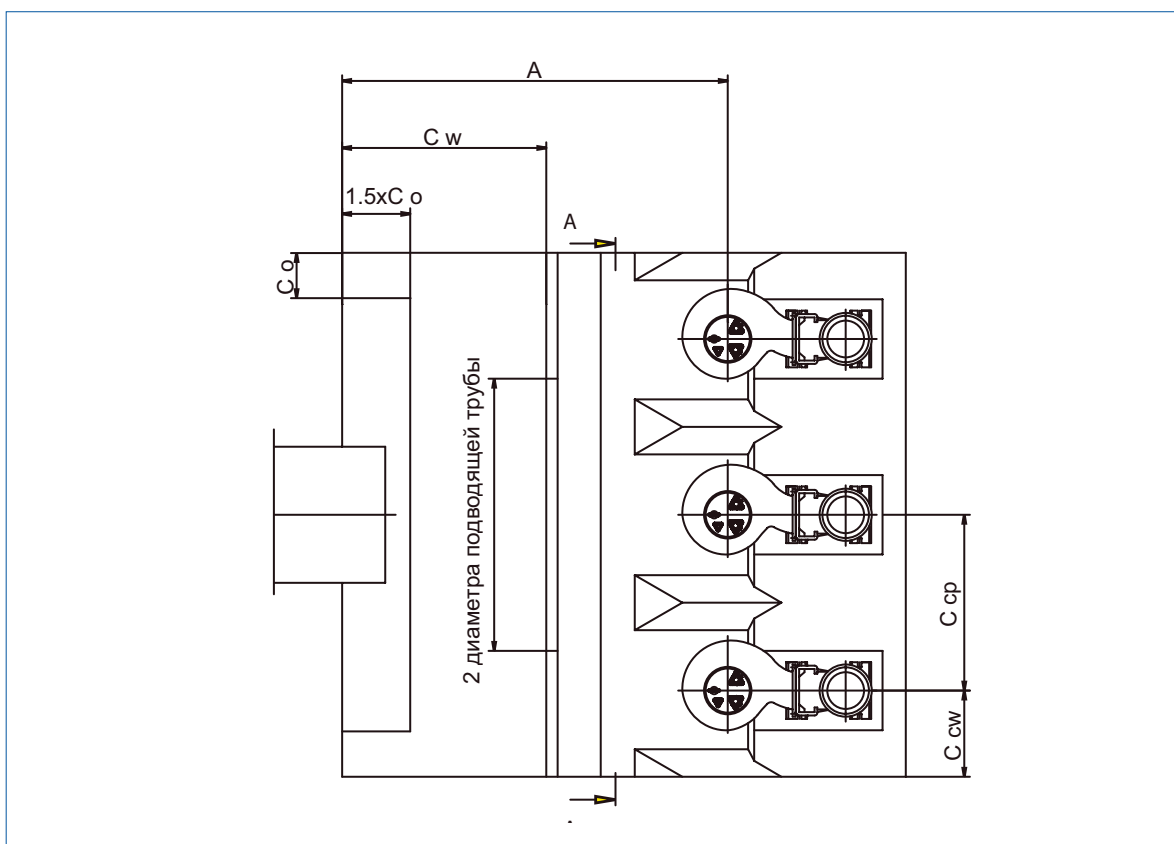


Рис. 5.6.1а: Пример КРТ («мокрой» установки) с прямым натеканием и разность высотных отметок между дном трубы и зумпфа.

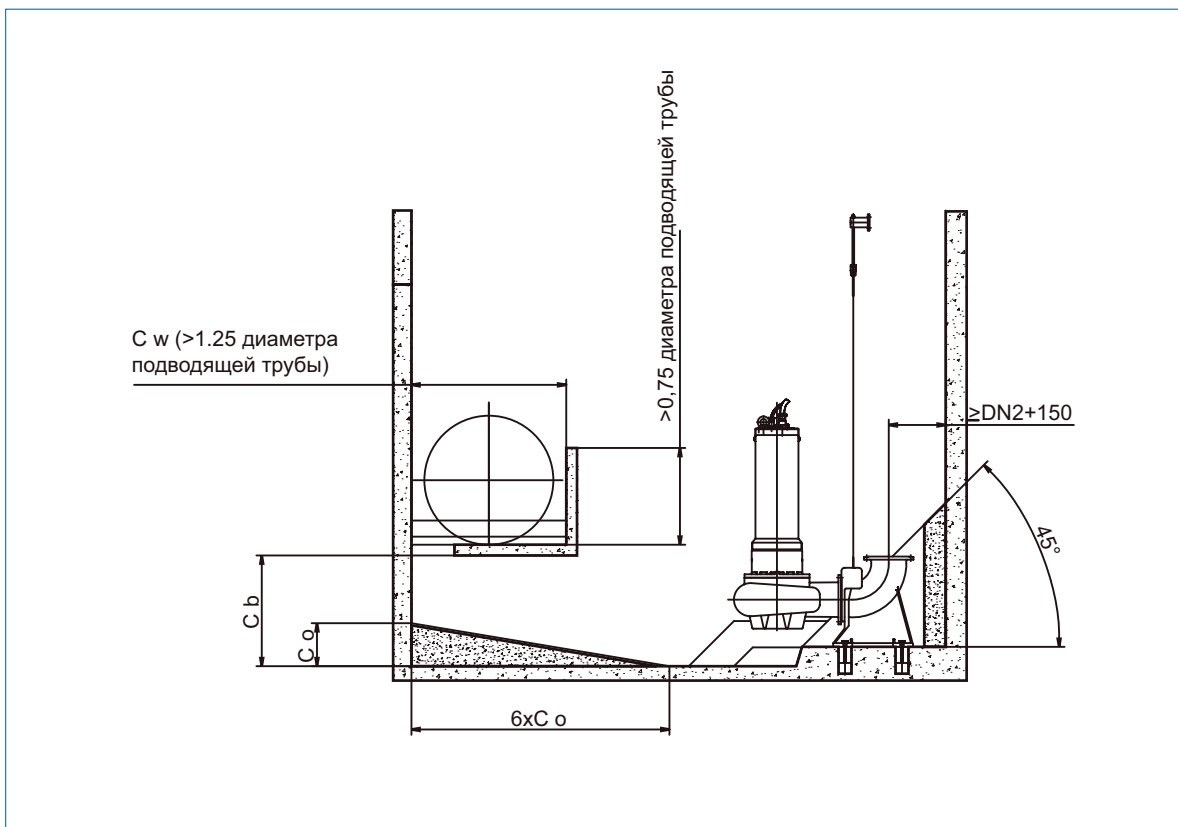
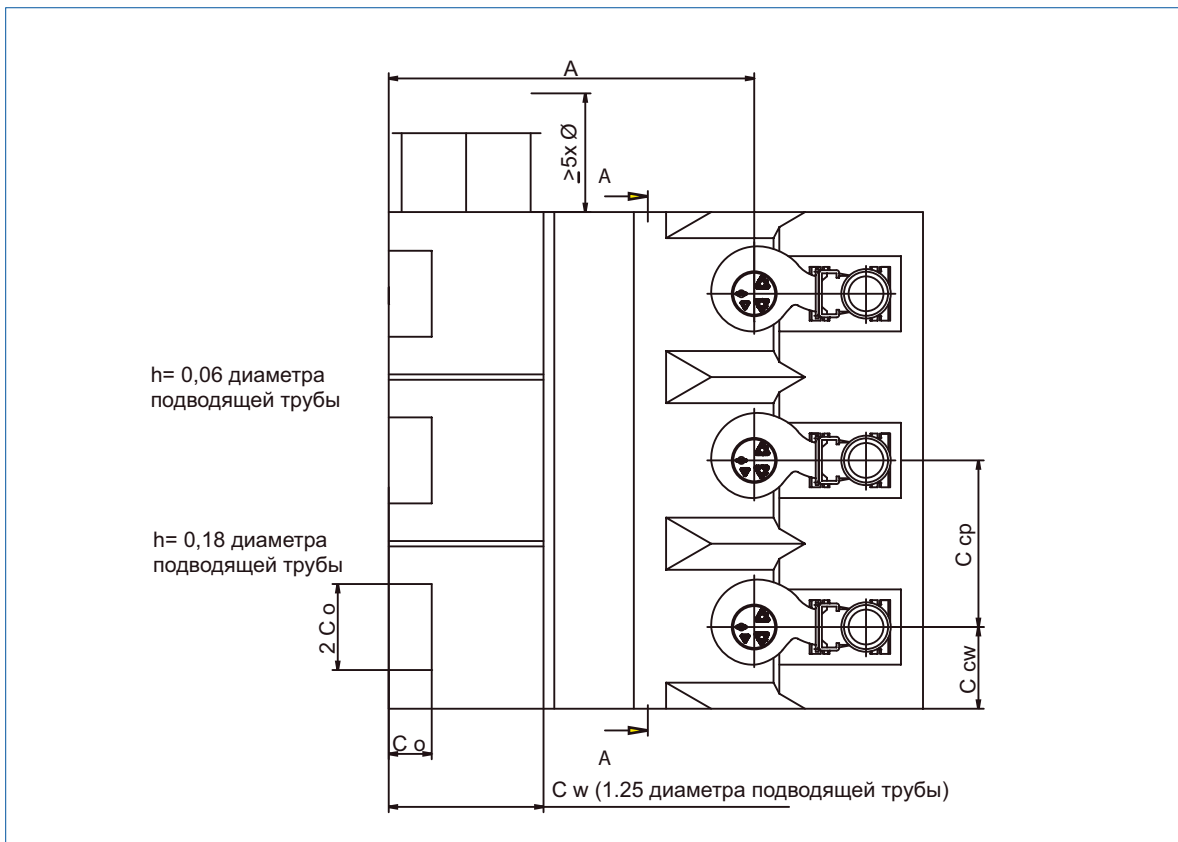


Рис. 5.6.1b: Пример KRT («мокрой» установки) с натеканием вдоль линии расположения насосов и разница между дном трубы и зумпфа.

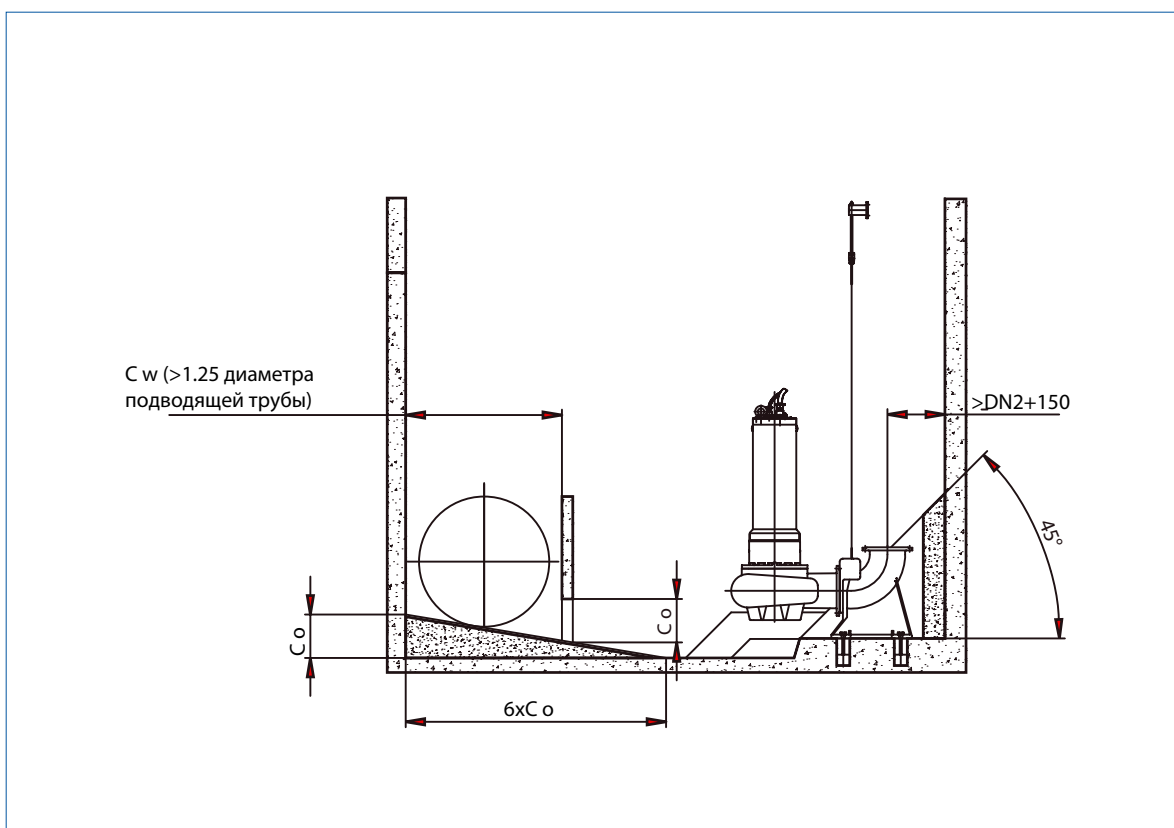
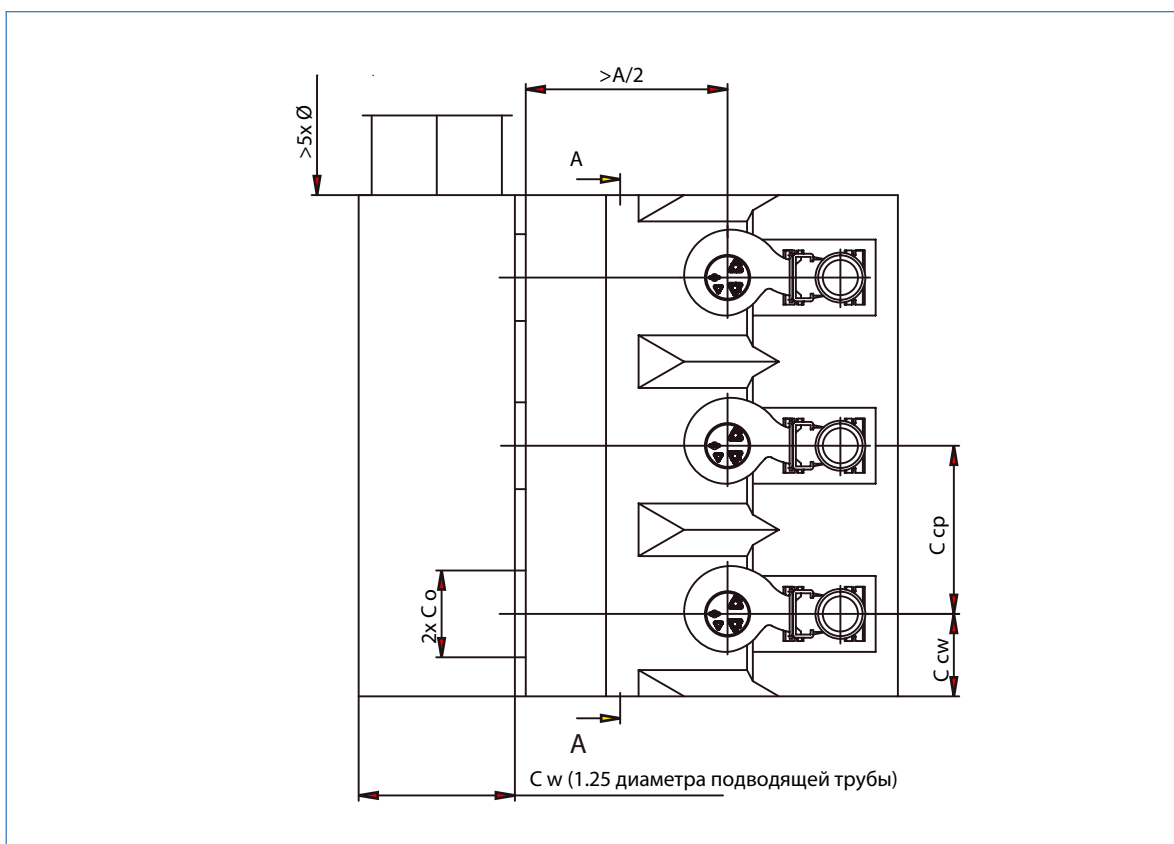


Рис. 5.6.1 с: Пример KRT («мокрой» установки) с притоком вдоль линии расположения насосов, без разности между дном трубы и зумпфа насоса.

**Москва**

123022, ул. 2-ая Звенигородская,  
д. 13, стр. 15.  
Тел.: +7 495 980 1176  
Факс: +7 495 980 1169

**Санкт-Петербург**

197101, ул. Чапаева, 15, лит. 3,  
БЦ «Сенатор», офис 423  
Тел./факс: +7 812 332 5602/01

**Ростов-на-Дону**

344018, ул. Текучева, 234,  
8 этаж, офис 9  
Тел./факс: +7 863 218 1191

**Екатеринбург**

620014, ул. Чернышевского,  
16, офис 515  
Тел./факс: +7 343 380 1576

**Самара**

443080, ул. Санфировой, 95,  
4 этаж, офис 410  
Тел.: +7 846 222 9165  
Факс: +7 846 222 9167

**Казань**

Тел./факс: +7 843 510 6294  
Моб.: +7 987 278 0781

**Красноярск**

660041, ул. Киренского, 89,  
оф. 3-07  
Тел./Факс: +7 391 290 0102  
Моб.: +7 391 253 8570  
+7 913 509 8570

**Нижний Новгород**

Моб.: +7 987 556 94 81

**Новосибирск**

630102, ул. Восход, 14/1, офис 52  
Тел.: +7 383 254 0106  
Тел./факс: +7 383 254 0115

**Иркутск**

664023, ул. Пискунова 122/1,  
офис 108  
Тел./факс: +7 3952 221321

**Хабаровск**

680000, ул. Карла-Маркса 96А,  
оф. 616, 6-й этаж, БЦ «Новый  
Квартал»  
Тел.: + 7 4212 377147

**Киев**

04070, ул. Ильинская, 12, офис 2  
Тел.: +380 44 496 2539  
Тел./факс: +380 44 490 6611

**Минск**

220123, ул. Веры Хоружей,  
д. 32А, помещ. №2, ком. №51  
Тел./факс: +375 17 334 6399  
+375 17 334 6299  
+375 17 334 6599  
Моб.: +375 29 651 3201  
+375 29 605 6299

minsk@ksb.ru

More space for solutions.

