

NAUTILOS

ПРОИЗВОДСТВО КОМПОЗИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ

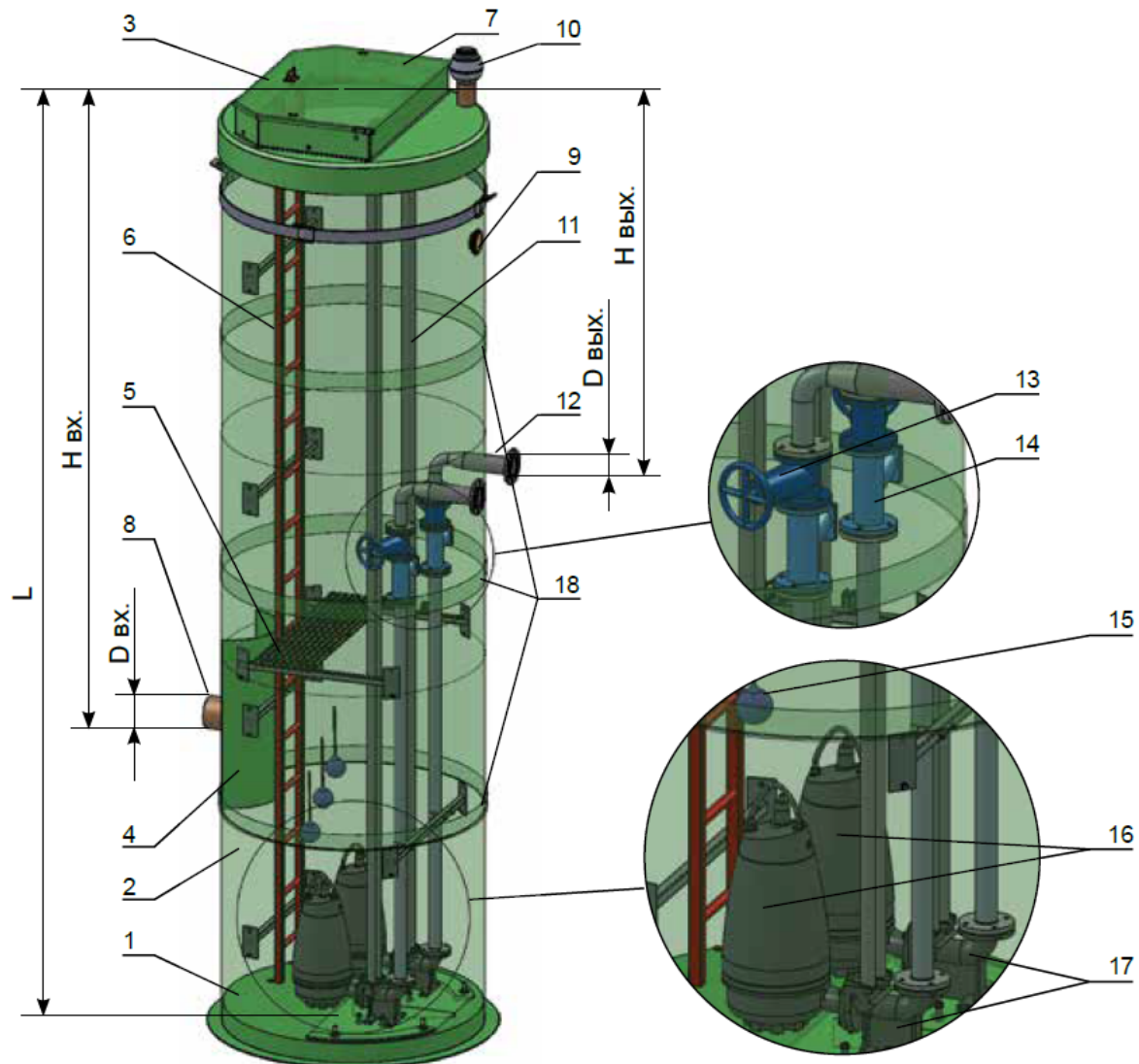
Основы расчета и проектирования канализационных насосных станций с погружными насосами.

расчет канализационной насосной станции	подбор КНС
подбор канализационной насосной станции	подбор насосов КНС
канализационная насосная станция	проектирование КНС
канализационная насосная станция	КНС
станция канализации	станция КНС
комплектная насосная станция	КНС Грундфос
вертикальная КНС	расчет КНС
комплектная канализационная насосная станция	горизонтальная КНС





Схема КНС с погружными насосами



1. Дно сферическое
2. Корпус из стеклопластика
3. Крышка КНС
4. Корзина для сбора мусора
5. Технологический настил
6. Лестница
7. Амортизатор люка КНС
8. Подводящий трубопровод
9. Патрубок ввода кабеля

10. Вентиляция
11. Направляющие насосов
12. Напорный трубопровод
13. Клиновья задвижка
14. Обратный клапан
15. Поплавковые выключатели
16. Насосы
17. Пьедестал (основания) насосов
18. Ребра жесткости

Конструкция насосной станции должна производить надежную откачку поступающих стоков, а для этого необходимо, прежде всего, обеспечивать соответствующий подвод потока к насосам, а также препятствовать скоплению в ней осадка и всплывающих веществ. Поэтому водоприемная емкость должна быть достаточно велика, чтобы создавать насосам нормальные гидравлические условия, и одновременно довольно мала, чтобы не засорять станцию.

Погружные насосы, благодаря жидкостному охлаждению электродвигателя, своей компактности, конструктивным особенностям, допускается включать гораздо чаще традиционных, в связи с чем насосные станции на «погружниках» проектируют значительно меньших размеров.

Большинство производителей погружных насосов показывают максимальное число пусков – 15 раз в час. В отдельных публикациях фирмы приводят и более высокие частоты включений по малым агрегатам (0 – 5 кВт): Grundfos – 25 [1,2], Flygt – 60 пусков в час без опасности снижения срока службы [3].

Перед написанием этой статьи были рассмотрены руководства по расчетам, рекомендации на проектирование насосных станций, оборудованных агрегатами погружной установки, и соответствующие компьютерные программы расчета ведущих насосных фирм: ITT Flygt, Grundfos-Sarlin, ABS и др. (В России подобные работы, из-за лишь недавнего появления производителей погружных канализационных насосов, не выполнялись).

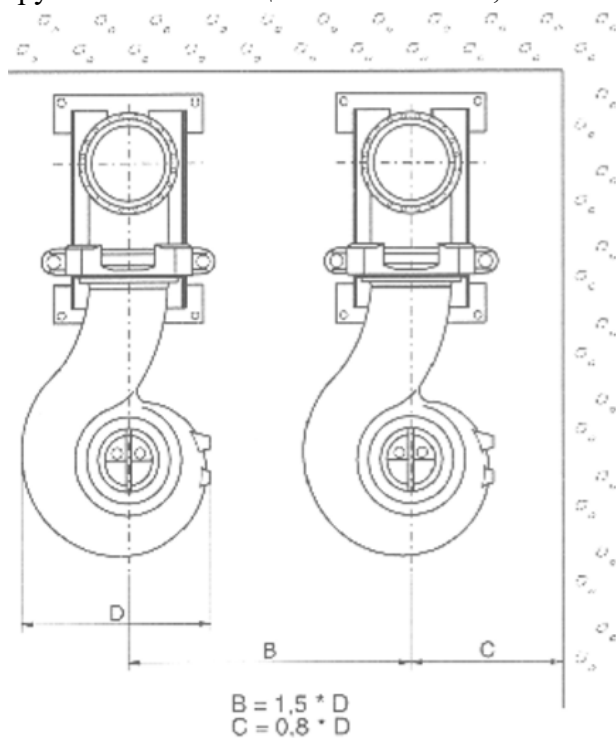


Рис.1 Рекомендуемые размеры для установки погружных насосов Grundfos.

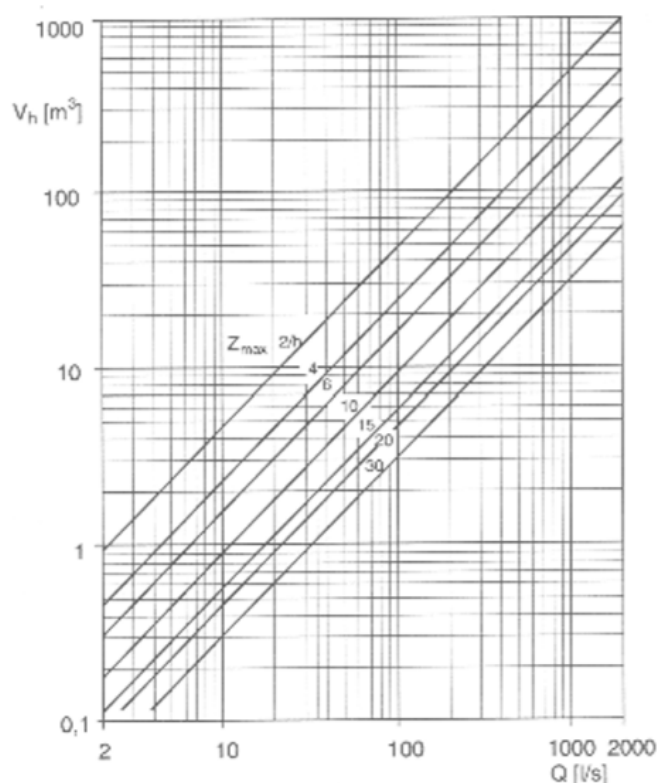


Рис.2 Номограмма для определения регулирующего объема колодца.

Рекомендации Sarlin, например, базируются [1] на выдерживании двух размеров (рис.1) в насосной станции, а также номограмме (рис.2), построенной с использованием уравнения:

$$Vh = \frac{Q}{4Z_{max}} \quad (1),$$

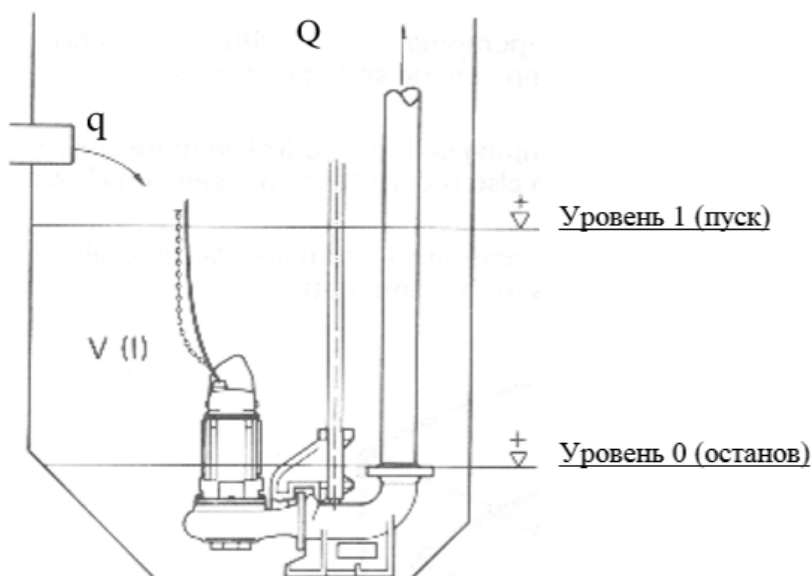
- Vh – регулирующая емкость мокрой камеры станции;
- Q - подача насоса, л/с;
- Z_{max} – максимальная частота пусков насосов в час, 1/ч.

Наиболее проработан у Grundfos-Sarlin раздел комплектных насосных станций заводского изготовления [2]. Фирма ABS основывает расчет размеров колодцев станции на формуле:

$$V_n = \frac{0,9 Q_p}{Z} \quad (2),$$

- V_n – регулирующий объем колодца, м³;
- Q_p – подача насоса, л/с;
- Z - число пусков насосов в час, 1/ч, при этом допустимая частота пусков агрегатов: $Z = 20/ч$, при мощности насосов 0-11 кВт, $Z = 15/ч$ пр мощности 11-160 кВт и $Z = 10/ч$ при >160кВт.

Весьма наглядной является программа ABS по подбору насосов и конструированию станций. Но наиболее детально, на наш взгляд, и раньше других (с 1974 года) тема расчета и проектирования станций с погружными агрегатами была исследована компанией ITT Flygt совместно с Британским технологическим университетом и Ассоциацией гидромехаников [4,5]. Эти наработки, а также собственный 15-летний опыт применения погружных насосов здесь и описываются. Два основных фактора, определяющих минимальные размеры колодца станции – гидравлика перекачки и число пусков насосных агрегатов. При 10 включениях в час, например, время цикла между пусками T составляет 6 минут. Максимальное число пусков получается в случае, когда насос половину времени работает, а оставшуюся половину времени простаивает. Таким образом, при шестиминутном цикле цикл перекачки составляет 3 минуты. При этом производительность насоса Q , с учетом указанных данных, будет вдвое превышать приток воды q , поскольку агрегат в течение 3 минут должен перекачать объем воды, поступающей за 6 минут, т.е. $q = Q/2$ Регулирующий (активный) объем, т.е. объем между уровнем при пуске и уровнем при остановке (рис.3) должен быть подобран так, чтобы он соответствовал притоку воды за 3 минуты.



Требуемый объем между пуском и остановкой - $V_{\text{треб}}$. по формуле:

$$V_{\text{треб}} = \frac{T \min \times Q}{4} \quad (3),$$

- $V_{\text{треб}}$ - требуемый объем, л
- T - время цикла, с
- Q - производительность насоса, л/с

Время цикла T определяется как сумма продолжительностей наполнения резервуара (V/q) и его откачки $V/(Q-q)$ по формуле:

$$T = \frac{V}{q} + \frac{V}{Q-q} \quad (4),$$

T – время между двумя последовательными пусками, т.е. время цикла насоса в секундах (с).

V – активная (регулирующая) емкость сборного резервуара, т.е. объем между уровнем при пуске (уровень 1) и уровнем при остановке (уровень 0) в литрах (л)

q - приток воды в насосную станцию (л/с)

Q - производительность насосов (л/с)

Данные формулы используются в расчетах размеров станций с погружными насосами. Станции с более чем одним установленным насосом могут включаться в работу и останавливаться по двум операционным схемам (последовательностям). На рисунке 4 проиллюстрировано действие станции с четырьмя насосами. Рассмотрим две операционные схемы ее работы. Схема 1. Характеризуется последовательно выполняемыми пусками при регулируемых уровнях и остановками в обратном порядке (рис.5). Обеспечивает более равномерный расход, что рекомендуется для жидкостей, перекачиваемых к очистным установкам для сточных вод. Схема 2. Пуски насосов осуществляются в регулируемой последовательности; но все насосы продолжают работать до достижения минимального уровня остановки (рис.6).

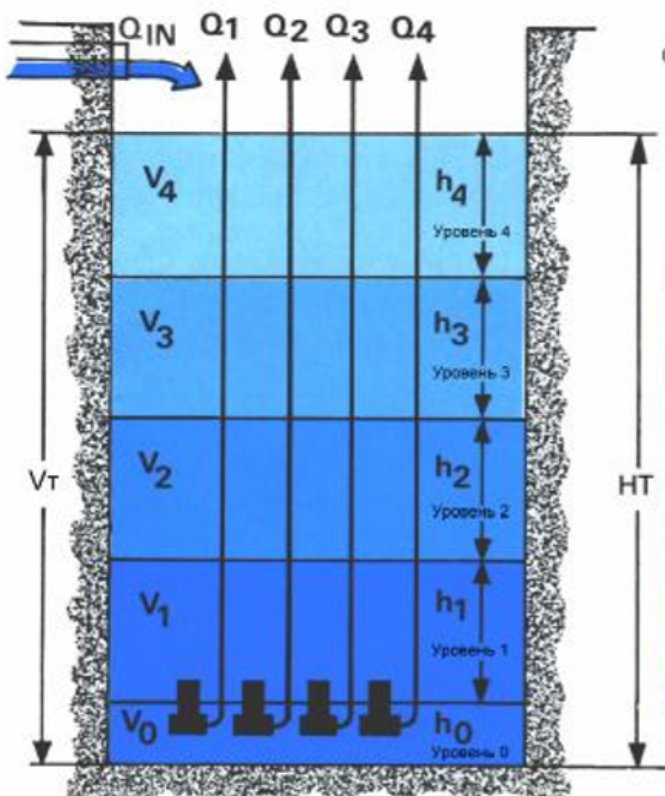


Рис.4 Функциональная схема 4-х насосной станции.

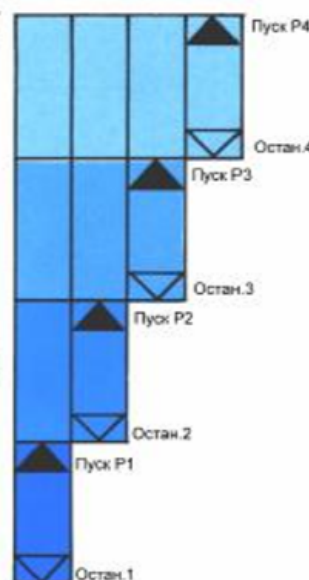


Рис.5 Операционная схема.

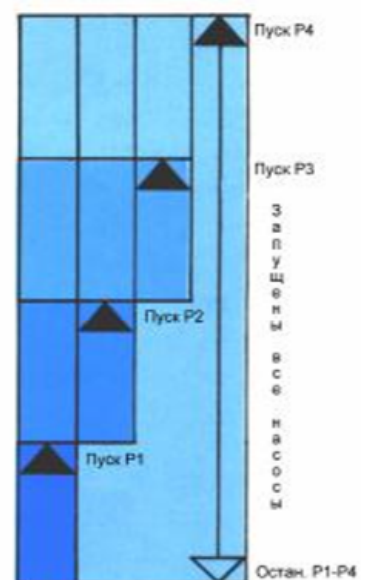


Рис.6 Операционная схема №2.

На графиках (рис.7) с помощью представленных для примера характеристик систем показана зависимость объемной подачи, от числа насосов, работающих параллельно.

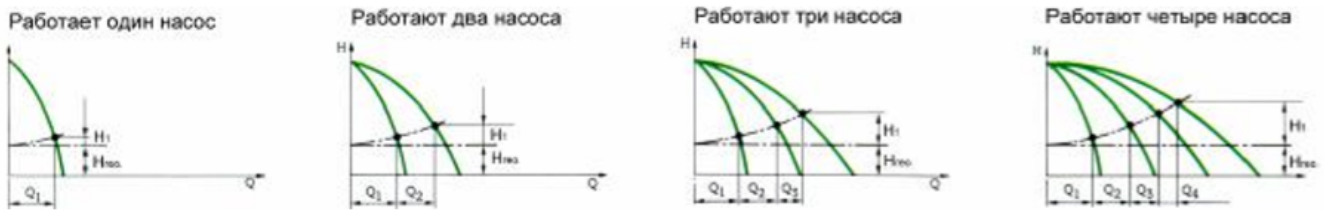


Рис.7 Построение системных зависимостей параллельно работающих насосов.

С использованием формулы (3) определены регулирующие объемы сборного резервуара в зависимости от времени цикла и от производительности насоса. Полученные данные при работе по схеме 1 представлены в виде диаграммы (рис.8). По оси ординат диаграммы отложен объем сборного резервуара в м³. Величины объемной подачи для различных систем отложены по оси абсцисс, а число пусков в час и продолжительность циклов отложены по двум осям, одна из которых параллельна оси абсцисс, а другая оси ординат.

Для определения объема приемного резервуара следует выбрать на диаграмме соответствующий расход Q в л/с и провести вертикальную линию до пересечения с диагональной прямой, представляющей число пусков в час или время цикла. От точки пересечения провести горизонтальную линию влево и определить по оси соответствующий объем.

Для определения высоты сборного резервуара, необходимо разделить его объем на площадь резервуара в плане.

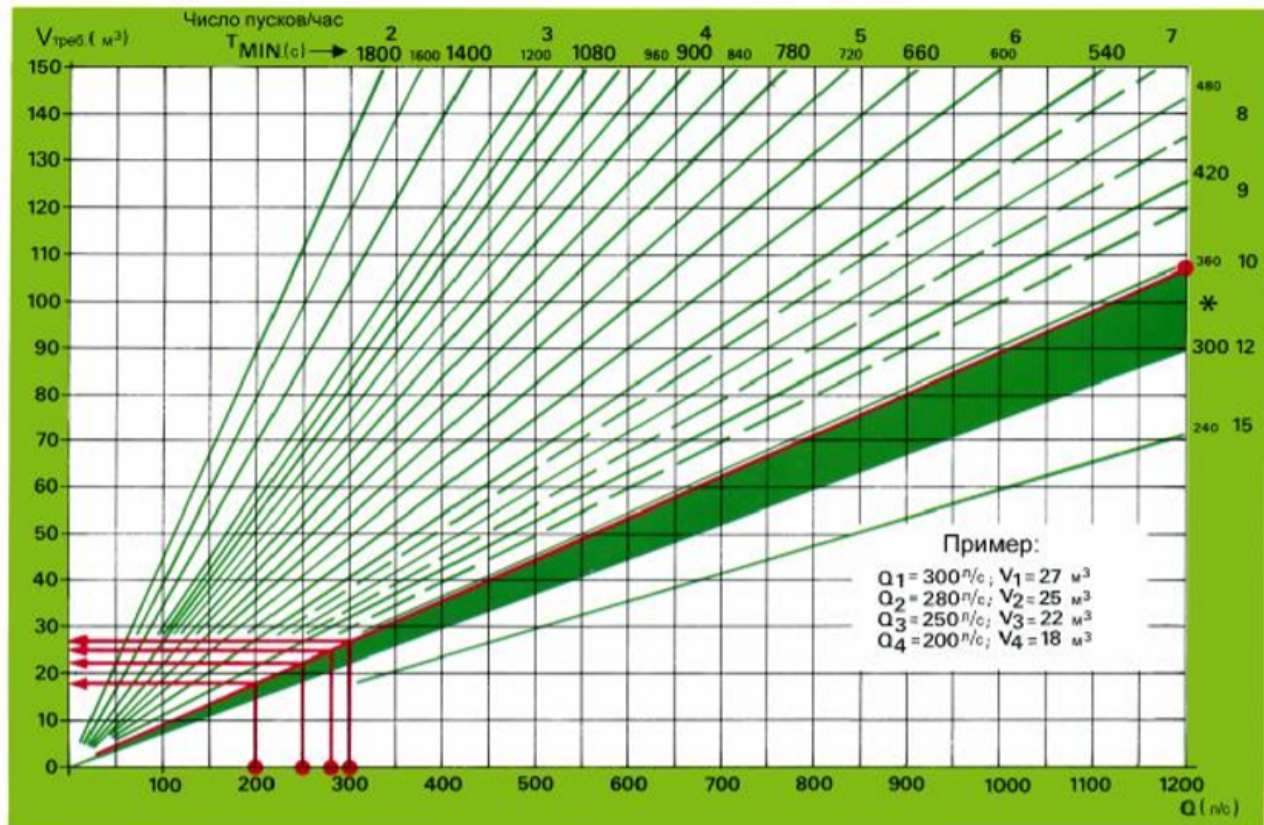


Рис.8 Диаграмма расчета объема колодца при работе насосов по схеме 1.

Пуск насосов при работе станции по операционной схеме 2 осуществляется в той же последовательности, что и в схеме 1, но здесь все насосы продолжают качать до тех пор, пока уровень воды не достигнет нижнего уровня отключения. В данном случае объемы V_2 , V_3 и V_4 сборного резервуара могут быть меньше, чем для операционной схемы 1. Объем V_1 остается тем же.

На диаграмме (рис.9) значения подач отложены по осям, параллельным осям абсцисс и ординат. По оси абсцисс отложено время циклов, а величины минимальных объемов сборного резервуара отложены по четырем осям, параллельным оси ординат.

Чтобы определить объемы V_1 , V_2 , V_3 и V_4 , нужно найти на диаграмме точку, соответствующую известной объемной подаче (согласно характеристике системы) и известному времени цикла и найденную точку спроецировать на ось ординат.

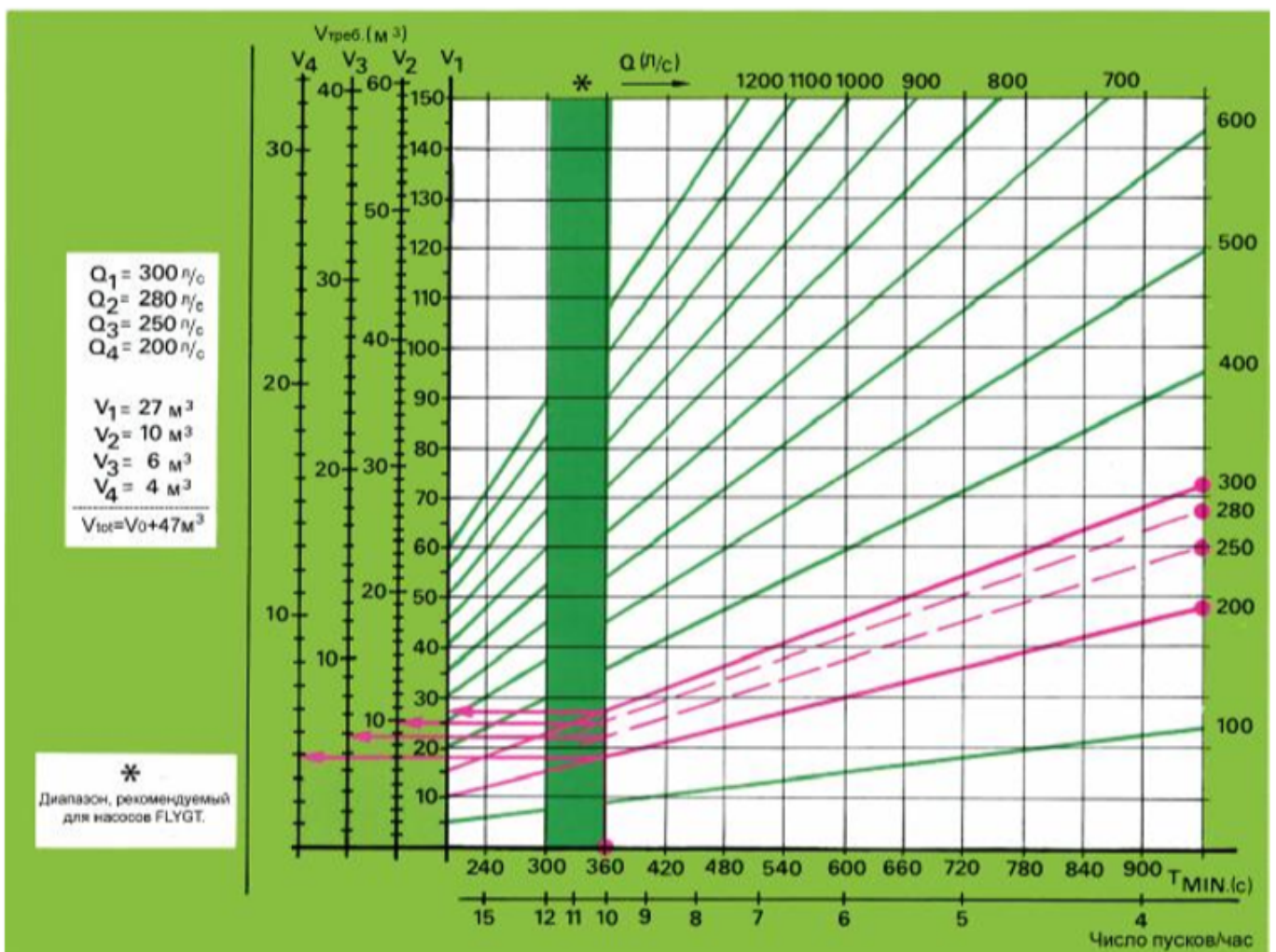


Рис.9 Диаграмма расчета колодца при последовательности включений по схеме 2.

Введением альтернативной системы управления, позволяющей обеспечить попеременное использование насосов, можно уменьшить объем сборного резервуара, а также достичь более равномерного распределения моточасов между четырьмя насосами.

Данная система может применяться для станций с любым числом насосов.

Конструкция приемного колодца насосной станции с погружными агрегатами разрабатывалась с учетом приведенных расчетов и построений, а также на основе следующих соображений.

Поток воды в любой насос должен быть однородным и установившимся, без завихрений и вовлечения воздуха в жидкость.

Нарушение однородности потока может привести к нарушению оптимальных условий работы рабочего колеса и к снижению, соответственно, гидравлического к.п.д. Неустановившийся поток вызывает неравномерность нагрузки на рабочее колесо, что может привести к появлению шума, вибраций и даже к возникновению проблем с подшипниками.

Завихрения на входе в насос могут вызвать существенное изменение рабочих условий для насоса и привести к изменениям в подаче, потреблении мощности и к.п.д. В результате этого может также произойти местное падение давления вихревого типа, что приведет к поступлению ядра воздушного вихря в насос. Это ядро воздуха и другой вовлеченный жидкостью воздух могут вызвать снижение подачи, неравномерную нагрузку рабочего колеса и местные ударные нагрузки на различные части системы, вызывая шум и вибрации и, как следствие, поломки.

Конструкция колодца должна обеспечивать не только соответствующий подвод потока к насосам, но также препятствовать образованию осадка и поверхностной пены в колодце.

Для снижения строительных расходов колодец должен иметь как можно меньшие размеры и как можно более простую конструкцию. Вместе с тем, минимальный объем колодца может определяться другими причинами: необходимостями обеспечения минимального времени нахождения жидкости в колодце или обеспечения того, чтобы число пусков насосов в час не превышало определенного числа. Исходя из этого, была разработана принципиальная схема насосного колодца (рис.10).

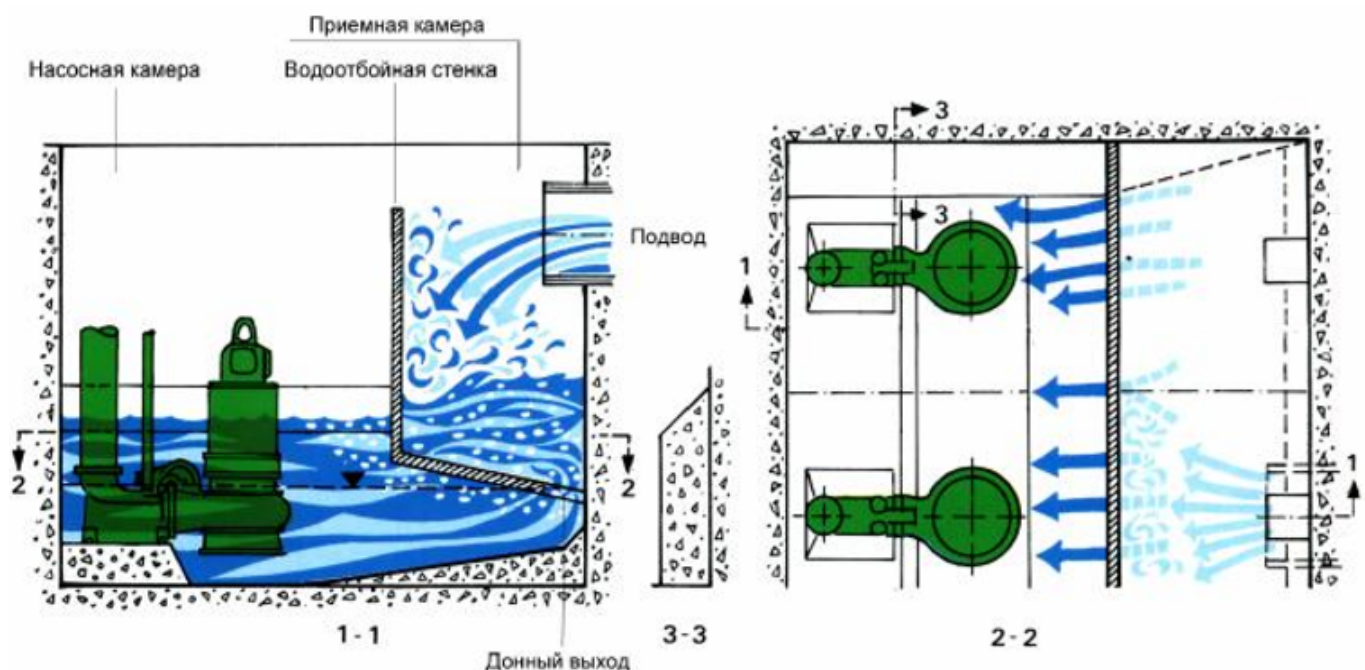


Рис.10 Принципиальная схема насосного колодца Flygt.

В данной конструкции вовлечение воздуха в жидкость, вследствие падения воды, сведено к минимуму за счет использования перегородки специальной конструкции. Поток воды из подводящего трубопровода сталкивается с перегородкой и затем стекает вниз по ней в приемный лоток. В дне приемного лотка имеются отверстия, которые в некоторой степени ограничивают движение потока, обеспечивая тем самым время для удаления воздуха.

Если некоторая часть воздуха всё же попадает в насосную камеру, то этот воздух поднимется вдоль нижней стороны наклонного дна приемного лотка и затем на поверхность. Вторичное вовлечение воздуха в воду на входе в насосную камеру предотвращается благодаря тому, что донные выходы всегда находятся ниже минимального уровня воды в насосной камере. Водоотбойная стенка прямо напротив подводящего трубопровода должна быть достаточно высокой, чтобы предотвратить перелив потока через неё.

Хотя поток в приемном лотке сильно турбулентный, здесь могут собраться различные вещества. Для их отвода и, таким образом, предотвращения накопления можно использовать боковые водосливы (рис. 11).

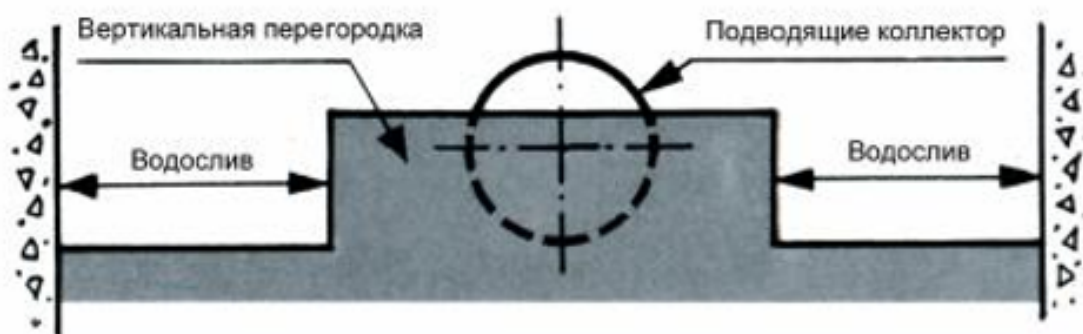


Рис.11 Водоотбойная перегородка с боковыми сливами.

Донные выходы (отверстия) приемного лотка расположены на одной оси с насосами - по одному выходу для каждого насоса. Размеры отверстий должны подбираться с условием обеспечения равномерных скоростей притока к агрегатам. Такая конструкция помогает предотвратить вихревой поток на входе в насосы.

Насос установлен на выходном патрубке, прикрепленном к плите основания. Основание создает стенку за всасом насоса, сводя таким образом к минимуму завихрения воды под насосом, которые могли бы возникнуть вследствие несимметричного движения потока.

Вертикальная напорная труба установлена вблизи базовой задней стенки колодца, для того чтобы уменьшить вероятность вращения массы жидкости и подавить тенденцию к вихреобразованию сзади насоса.

Подводящий коллектор должен выступать за пределы отверстий в наклонной перегородке лотка, чтобы предотвратить слив воды непосредственно в отверстия при малом притоке.

Вертикальная перегородка должна быть несколько выше осевой линии подводящего коллектора.

Водосливы предотвращают создание подпора в подводящем коллекторе, а также обеспечивают поступление плавучих материалов в насосную камеру и их откачку.

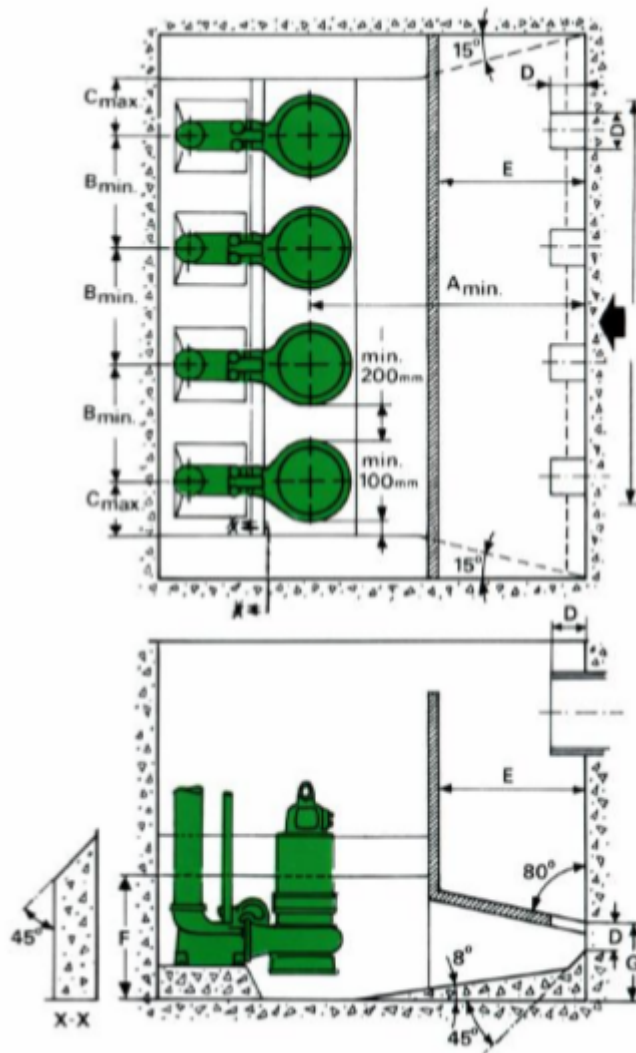


Рис.12 Модель насосного колодца Flygt

Согласно описанной схеме была изготовлена (рис.12) модель насосной станции (в масштабе 1:3 к реальной) и всесторонне протестирована. Изменяя размеры узлов станции и количество работающих насосов 1,2,3 и 4, удалось прийти к тем оптимальным, которые рекомендуются использовать для проектирования. На диаграмме (рис.13) представлены данные размеры (их шесть) в зависимости от подачи единичного насоса. Размеры станции определяются числом и габаритами агрегатов, их производительностью и числом пусков в час каждого насоса.

Конструкция насосной камеры обеспечивает поступление к насосам равномерного потока воды без завихрений и турбулентных течений. Поскольку вода во всем объеме находится в движении, риск осаждения осадка является очень небольшим (при условии, что минимальные размеры не превышены на значительную величину). Если необходимо повышение вместимости резервуара, то лучше всего это сделать за счет увеличения расстояния от приемной камеры до насосов. (размер А - вид сверху).

Данный размер не должен быть меньше минимального рекомендуемого размера, поскольку такое уменьшение вызывает повышение скорости воды и неравномерное распределение скоростей в насосной камере при большом притоке воды и работе всех насосов. Выдерживание рекомендованных размеров (а они получены с соблюдением законов гидравлики) насосной станции

важно для предотвращения скопления шлама или твердых частиц между и за насосами, облегчения установки и обслуживания насосов. Расстояние между осевыми линиями двух смежных насосов /В/ является минимальным. Однако, при проверке размерного чертежа может оказаться, что это расстояние приводит к наложению двух смежных насосов друг на друга. Поэтому для любого случая расстояние между улитками не должно быть менее 200 мм.

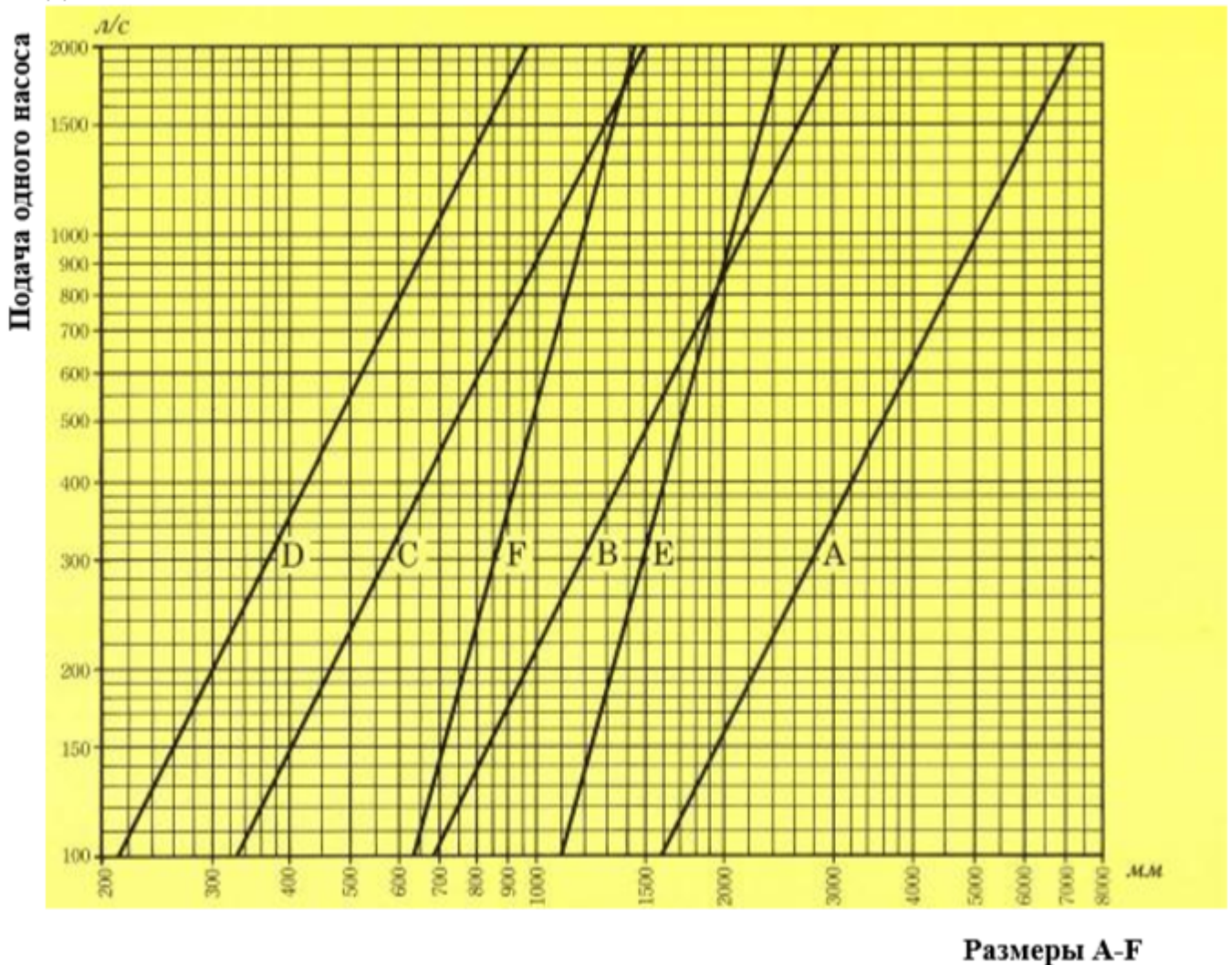


Рис.13 Диаграмма для определения размеров насосной камеры.

Результаты испытаний на моделях показали, что наличие под разделительной стенкой и дном приемной камеры какого-либо основания или опорной конструкции является нежелательным, т.к. они могут вызвать появление турбулентных течений, способных достигнуть зон всасов насосов.

Минимальный уровень воды в насосной камере должен быть достаточно высоким, с тем чтобы квадратные отверстия в наклонной перегородке приемной камеры всегда были заполнены водой (размер G), во избежание повторного вовлечения воздуха через лоток при откачке. Минимальный уровень воды может быть и увеличен, если кавитационный запас насосов потребует обеспечения соответствующего подпора. В любом случае данный уровень должен быть не ниже верха улитки агрегата.

Ширина приемного лотка /Е/ подбирается так, чтобы при высокой скорости воды в подводящем коллекторе (1,0-1,5 м/с) поступающая вода ударила о вертикальную перегородку, а

при малой скорости воды (около 0,7 м/с) струя воды ударялась о наклонную перегородку приемной камеры. Каких-либо проблем это не вызывает, т.к. вовлечение воздуха представляется более серьезным при увеличении скорости поступающей воды.

Напорное соединение насоса должно устанавливаться на приподнятом пьедестале на днище резервуара. Тем самым обеспечивается такое положение насосу, при котором расстояние от всаса насоса до дна является достаточным, чтобы предотвратить проблемы, связанные с гидравликой потока при больших расходах.

Исполнение боковой стенки колодца с выступом (сечение x-x) обеспечивает минимальное расстояние 100мм между боковой стенкой и корпусом крайнего насоса. Высота этого выступа F должна достигать середины статора агрегата, а сопряжение выступа с боковой стенкой выполняется под углом 45°.

Различные варианты стандартной конструкции колодца, испытанные на моделях и на практике, представлены на рис.12 и 14-20. Колодец с впуском на высоком уровне. В зависимости от положения подводящего канализационного коллектора, возможны два варианта с входом на высоком уровне по отношению к насосам: фронтальный впуск и боковой впуск.

Фронтальный впуск. Данная конструкция, рис. 12, требует минимального пространства и является базой для более сложных исполнений.

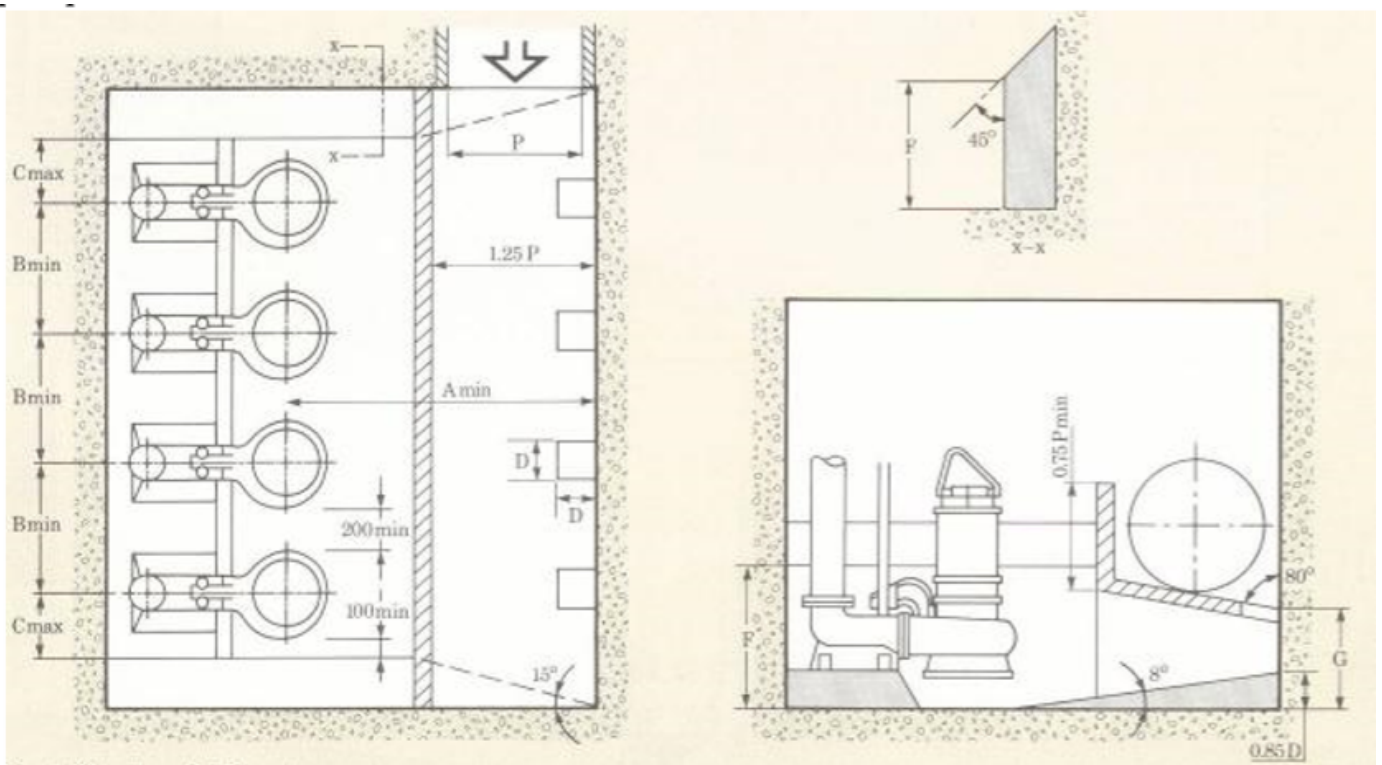


Рис.14 Насосная камера с боковым вводом на высоком уровне.

Боковой впуск. Конструкция колодца, показанная на рис. 14, предназначена для канализационного коллектора, подводимого к одной стороне колодца. Так как приемная камера должна вместить канализационный коллектор, её ширина должна быть на 25% больше диаметра коллектора. Высота водоотбойной стенки должна составлять по

меньшей мере 3/4 диаметра коллектора. Других размерности идентичны тем, что и для колодца с фронтальным вводом.

Колодец с впуском на низком уровне. В данном случае канализационный коллектор находится ниже уровня воды в колодце, или жидкость в колодец поступает по открытому лотку, сопрягающемуся с дном колодца. В связи с отсутствием падения поступающего потока какое-либо интенсивное вовлечение воздуха в воду места не имеет. Соответственно, приемная камера может быть существенно упрощена, поскольку её единственное назначение состоит в равномерном распределении потока к насосам. И здесь также можно выделить боковой (рис.15) и фронтальный впуски (рис.16). Конструкция с фронтальным впуском требует большего пространства, но она исключает турбулентность потока. Впускной лоток, при этом, расширяется по направлению к агрегатам под углом $65-75^\circ$ в плане и 80° по дну.

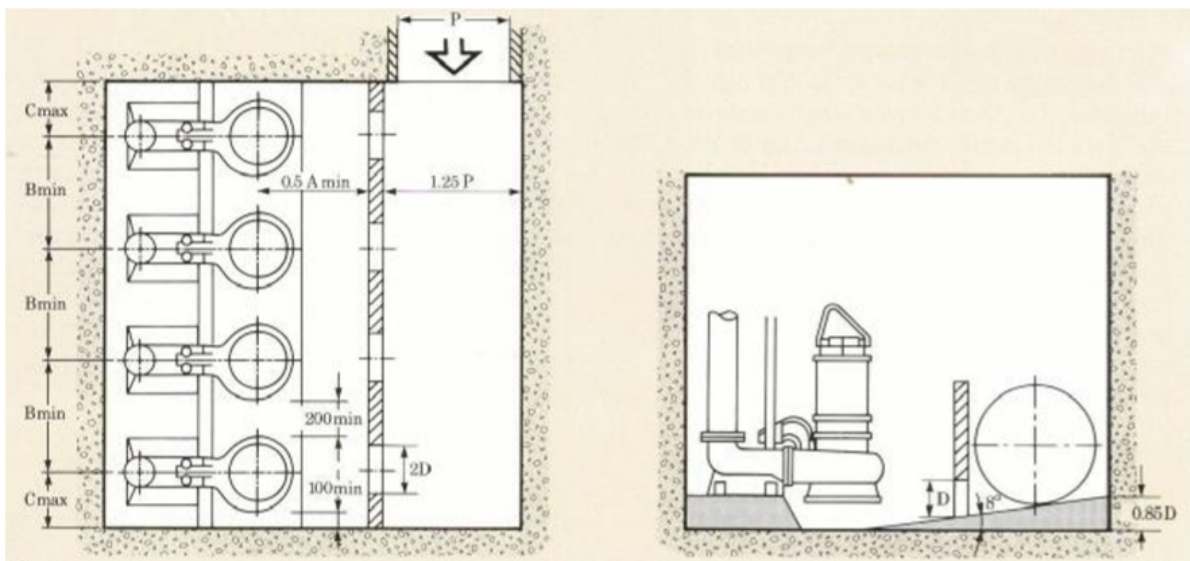


Рис.15 Насосная камера с боковым вводом на низком уровне.

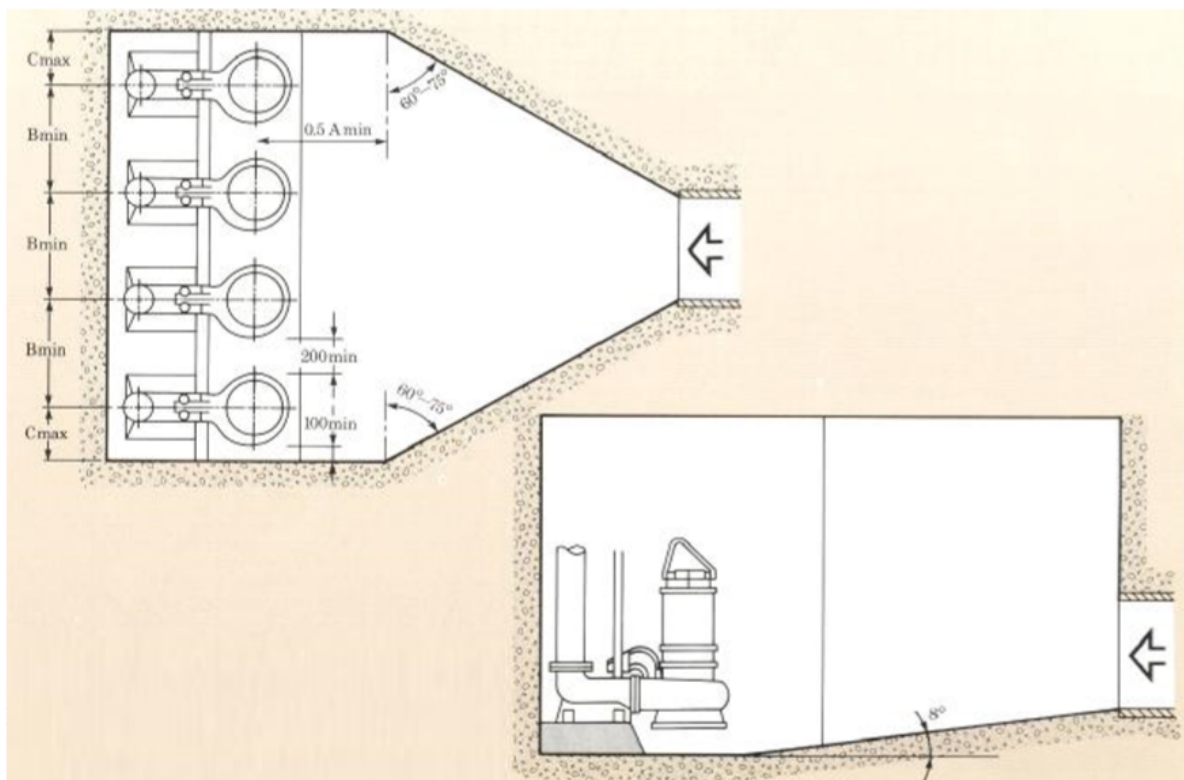


Рис. 16 Насосная камера с фронтальным придонным вводом.

Описанные принципы проектирования, относящиеся к прямоугольным в плане колодцам 1-4х насосных станций, следует использовать как для прямоугольных, с количеством агрегатов более четырех, так и круглых в плане станций.

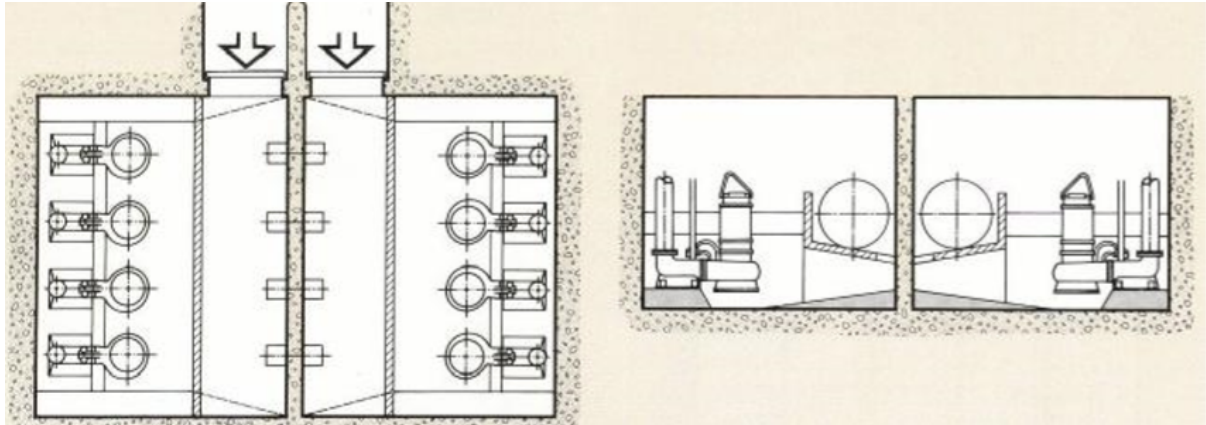


Рис.17 Двойная насосная камера.

Прямоугольная восьми насосная станция (рис.17) состоит из двух одинаковых камер, размеры которых рассчитаны по диаграмме (рис.13). Насосные станции цилиндрической формы (особенно, если они глубокие) проще опустить до нужного горизонта грунта, чем прямоугольные.

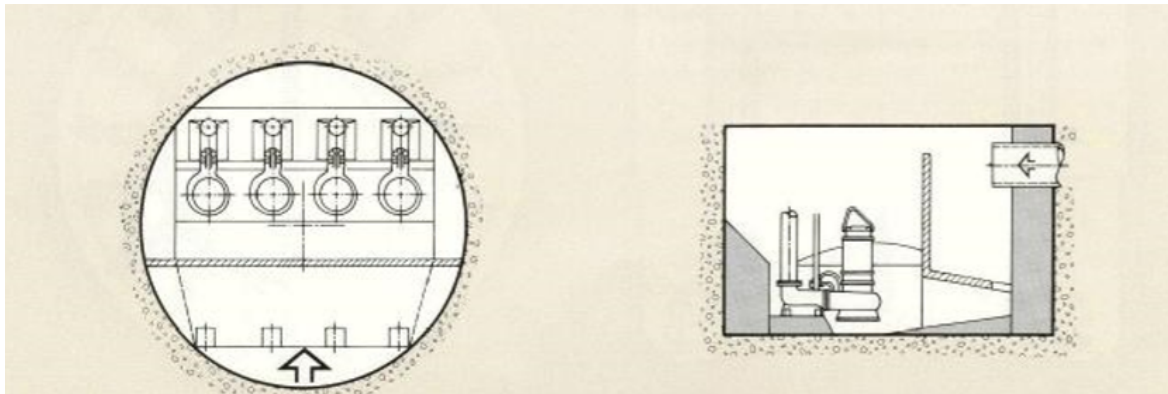


Рис.18 Насосная камера цилиндрической формы.

Размеры цилиндрической станции проектируются следующим образом. Вначале рассчитывается стандартный прямоугольный модуль по диаграмме (рис.13) с требуемым количеством насосов, затем модуль вписывают в круг подходящего диаметра (рис.18).

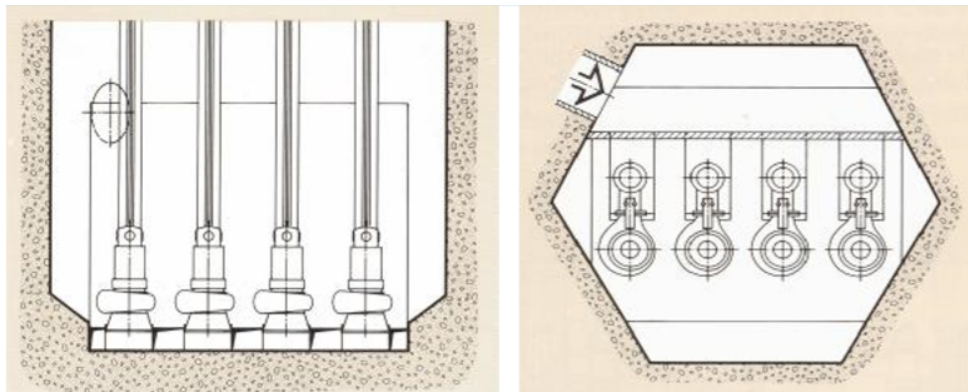


Рис. 19 Шестиугольный колодец с задним вводом по отношению к насосам.

В некоторых случаях возникает необходимость установки напорных патрубков (и труб) насосов навстречу подводящему коллектору или лотку.

Вариант такого колодца, шестиугольной формы (в качестве примера разнообразия строительного исполнения) представлен на рис. 19. Вода поступает к насосам через отверстия в перегородке, смонтированной между вводом коллектора и напорными патрубками агрегатов. Отверстия при этом располагаются между основаниями под патрубки насосов.

Развитием варианта расстановки напорных патрубков на встречу потоку может служить круглая станция с центральной приемной камерой и периферийно размещенными у базовой стены колодца насосами (рис.20). Вода к агрегатам поступает через отверстия в кольцевой перегородке приемной камеры. Эти отверстия располагаются между основаниями напорных патрубков насосов. Интересной особенностью этой станции является то, что насосы качают в верхний резервуар, откуда жидкость транспортируется далее за счет гравитации. Тем самым исключается значительное количество дорогостоящих задвижек и обратных клапанов за насосами. Автоматика в этом случае должна учитывать эффект обратного тока столба жидкости через насос.

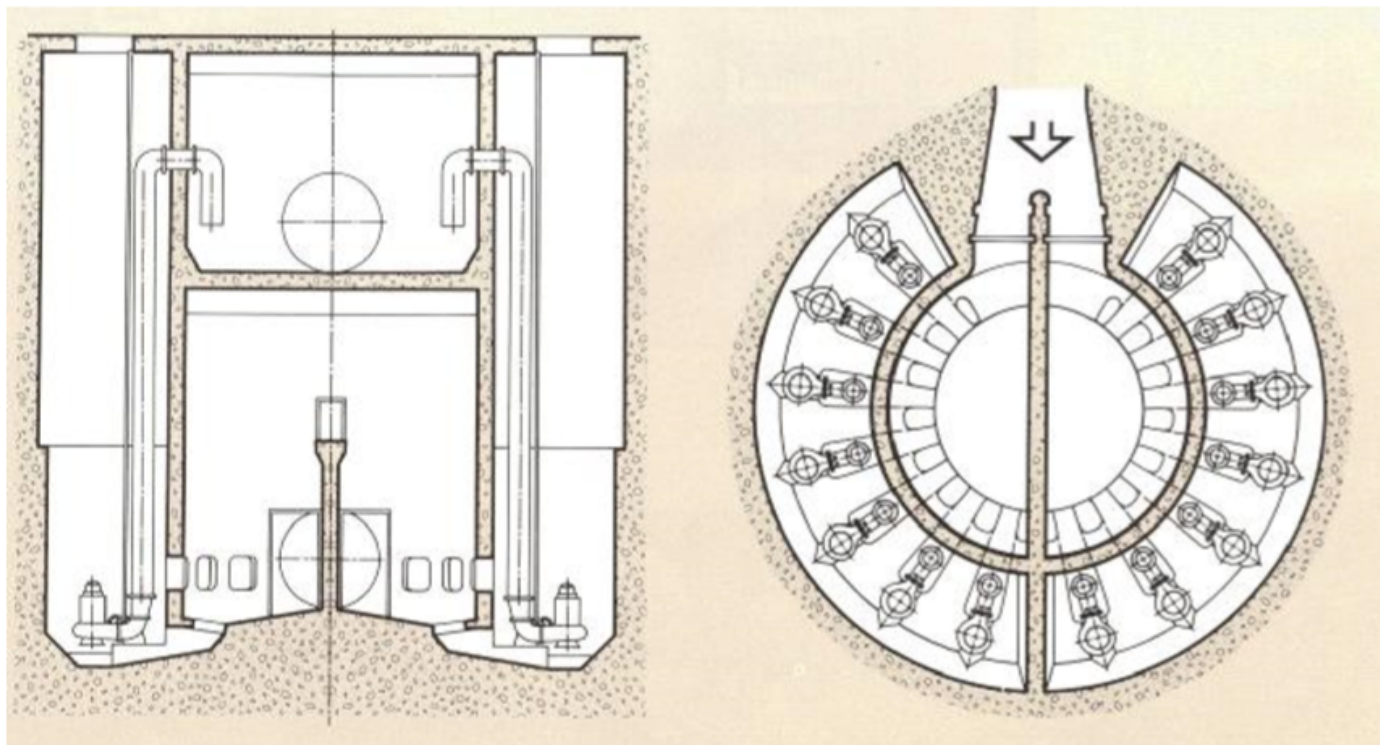


Рис.20 Цилиндрическая многонасосная станция с центральным вводом и периферийным расположением агрегатов.

Помимо собственно насосов, в станциях используется и другое оборудование: запорно-регулирующая арматура, электрощиты автоматики, датчики и т.д.

При расстановке этого оборудования необходимо придерживаться следующих общих рекомендаций, относящихся к насосам погружной установки:

- во избежание кавитации арматура на напорной трубе должна располагаться на уровне не выше 8 метров по отношению к верху улитки насоса;
- чтобы облегчить обслуживание и защитить кабель, для прокладки кабеля рекомендуется проделать в полу желоб (в соответствии с правилами ПУЭ);

- опорный кронштейн для кабеля и армированный кожух должны быть установлены таким образом, чтобы обеспечить легкий доступ к ним, т.е. в пределах досягаемости под люком;
 - когда для защиты кабеля используется труба или шланг, они не должны покрывать кабель по всей длине в панели управления, поскольку испаряющиеся взрывоопасные газы от сточных вод при попадании в шкаф могут быть вредны (см. ПУЭ);
 - газы от сточных вод могут вызвать окисление контактов реле, поэтому панель управления необходимо располагать в проветриваемой зоне;
 - датчики уровня, по которым осуществляется пуск/остановка агрегатов, должны располагаться в зонах между напорными трубами насосов и задней стенкой колодца, т.е. в наиболее спокойном его месте;
 - чтобы избежать проблем в работе поплавковых датчиков уровня от плавающего мусора, можно использовать стальную трубу для поплавка, вход в которую будет находиться ниже минимального уровня воды;
 - позади напорных патрубков может скапливаться осадок, предотвратить который можно при помощи стальной пластины закрывающей данный карман или заполнением его бетоном.
- Для инженерного проектирования и технического анализа, позволяющего предсказывать характеристики новых решений и процессов до их изготовления и внедрения, компания ИТТ Flygt разработала компьютерный анализ гидродинамики (CFD).

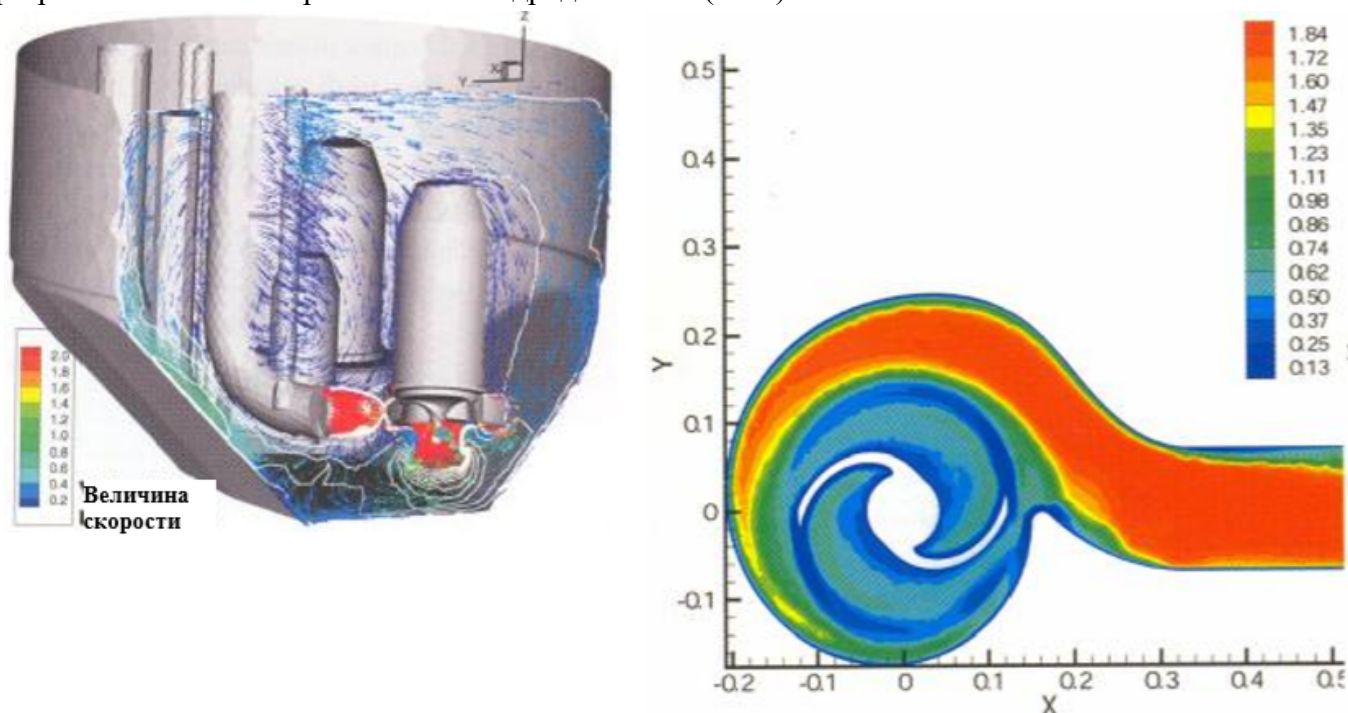


Рис.20 CFD анализ двухнасосной камеры при работе одного агрегата.

CFD предусматривает анализ жидкостных потоков, теплоперенос и использование программного обеспечения на базе численных методов расчета. CFD срабатывает при разделении областей, на большое количество ячеек или контрольных объемов. В каждой такой ячейке дифференциальные уравнения описывают жидкостные потоки (уравнение Навье-Стокса), представленные как алгебраические уравнения, связывающие давление, скорость, температуру, нагрузку и другие переменные, такие как разновидность концентрации, в зависимости от их

значений в смежных ячейках. Эти уравнения решаются численным методом и воссоздают потокораспределения (рис. 21).

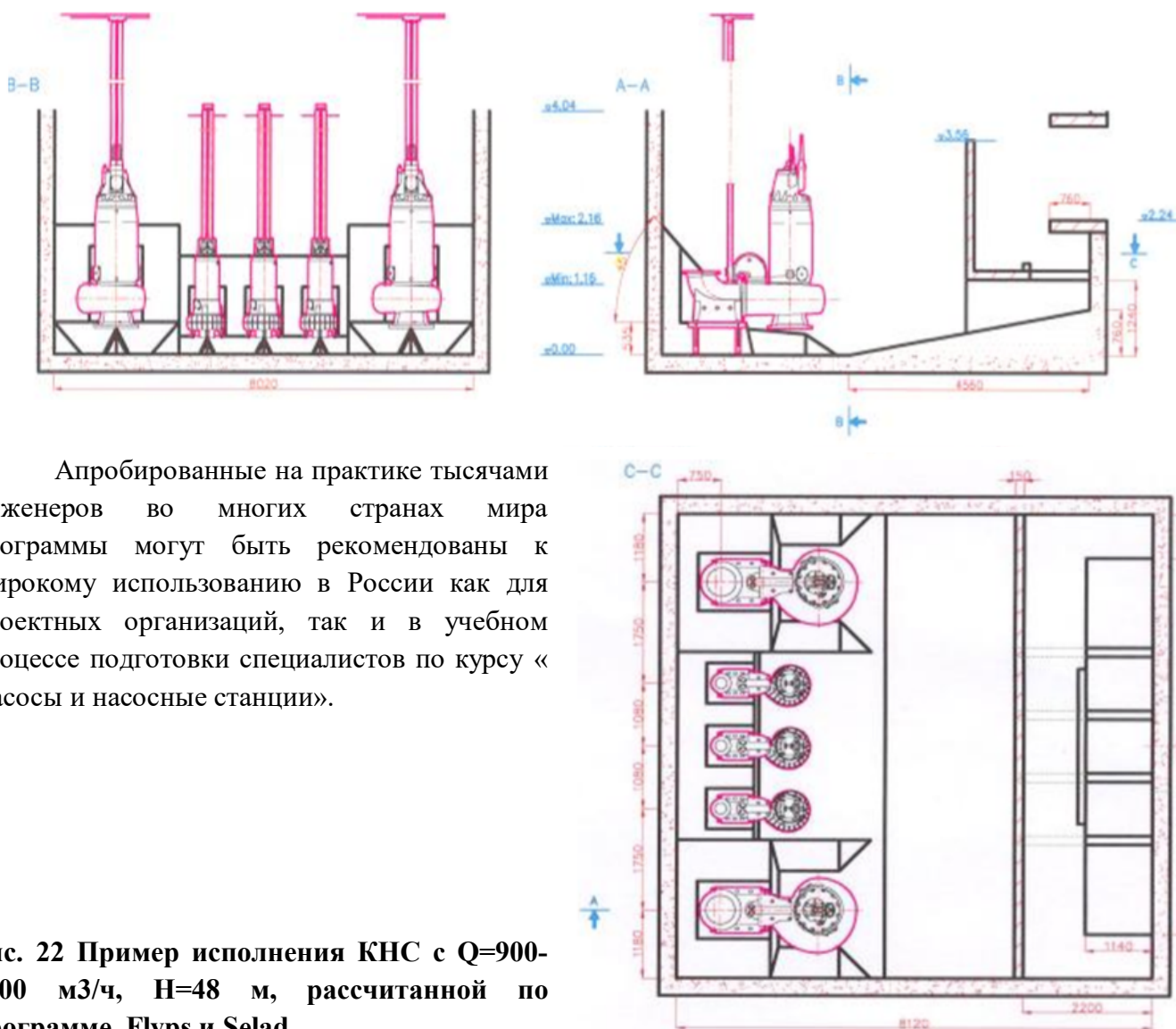
Инструмент CFD позволяет вычислять всю турбулентность внутри и вокруг насоса. Это требует применения весьма мощных компьютеров. На фирме Flygt для осуществления таких сложных расчетов и моделирования скомпонована группа из 17 компьютеров под управлением операционной системы Linux.

Основываясь на описанных здесь принципах расчетов, исследованиях, анализах, фирма ИТТ Flygt разработала компьютерные программы Flyps, Secad и другие, позволяющие быстро и просто подбирать агрегаты в привязке к напорной системе и проектировать насосные станции.

Программы позволяют, наряду с техническими, оптимизировать и экономические (ценовые, энергетические и др.) составляющие, в том числе с применением регулирующего привода.

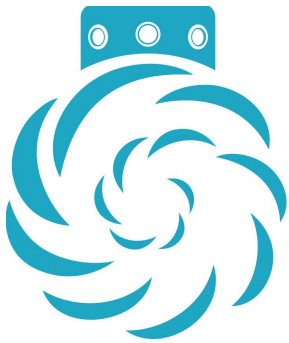
Пример того, что выдают программы, проиллюстрирован на рис. 22, где представлен вариант исполнения насосной станции с параметрами по подаче: $Q_{max} = 5700 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_{min} = 900 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $H = 48 \text{ м}$. Данная КНС может быть как прямоугольной, так и круглой и в плане $\varnothing 11,5 \text{ м}$.

На расчет и получение чертежа этой станции потребовалось несколько минут.



Апробированные на практике тысячами инженеров во многих странах мира программы могут быть рекомендованы к широкому использованию в России как для проектных организаций, так и в учебном процессе подготовки специалистов по курсу «Насосы и насосные станции».

Рис. 22 Пример исполнения КНС с $Q=900-5700 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=48 \text{ м}$, рассчитанной по программе Flyps и Selad.



NAUTILOS

ПРОИЗВОДСТВО КОМПОЗИТНЫХ ЕМКостей

Специалисты нашей компании в кратчайшие сроки ответят на все интересующие вас вопросы.

Произведут оптимальный подбор и расчет необходимого оборудования, предоставив подробное технико-коммерческое предложение.