

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

(наименование института полностью)

Центр

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему

**Проектирование повысительных водопроводных
насосных станций при реконструкции внутренних
систем водоснабжения**

Обучающийся

А.В. Швецова

(инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

руководитель

д-р. техн. наук, профессор, В.А. Селезнев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ нормативной и технической литературы по установкам повышения давления.....	7
1.1 Область применения установок повышения давления	7
1.2 Анализ рынка насосного оборудования	10
1.3 Методы расчета установок повышения давления	13
1.3.1 Определение требуемого напора в ПНУ	13
1.4 Основные критерии подбора насосных установок повышения давления	16
1.4.1 Общие принципы подбора ПНУ	16
1.4.2 Выбор подходящего типа повысительной насосной установки	20
1.5 Комплексные системы УПД	26
1.6 Обзор патентной литературы.....	29
Глава 2 Автоматизация, монтаж и эксплуатация установок повышения давления	34
2.1 Основные принципы автоматизации	34
2.2 Автоматическое управление насосной станции с целью экономии электроэнергии	39
2.3 Монтаж автоматизированного оборудования.....	46
2.4 Эксплуатация автоматизированной насосной станции	50
Глава 3 Реконструкция повысительных насосных станций холодного водоснабжения.....	55
3.1 Краткая характеристика объекта реконструкции	55
3.2 Подбор вариантов насосного оборудования ПНС	57
3.3 Диспетчеризация GRPS в насосных установках водоснабжения	59
3.4 Сравнительный анализ характеристик выбранного оборудования	61
Заключение	67
Список используемой литературы и используемых источников.....	68

Введение

Актуальность темы исследования. Инженерные коммуникации играют важную роль в технической составляющей здания любого назначения. Инженерно-технические системы необходимы для обеспечения нормальной жизнедеятельности людей в домах. Они оказывают большое влияние на уровень комфорта жильцов. Эти системы подразделяются на множество узлов разной степени ответственности. Одним из самых важных является водоснабжение.

В многоквартирных жилых домах существует множество точек водозабора, как в каждой конкретной квартире, так и в объекте в целом. То есть проектирование и наладка водоснабжения высотного дома является сложной инженерной задачей.

Особенно часто встречается такая проблема, как малый, недостаточный напор воды на верхних этажах многоэтажного здания. В таких случаях необходимо прибегать к использованию повысительных насосных станций, которые будут обеспечивать необходимое значение давления во всей системе.

Для обеспечения водоснабжения и водоотведения в наше время используются различные виды насосов и насосного оборудования. В системе водоснабжения гражданских и промышленных зданий, целых жилых районов очень важно поддерживать стабильное давление в трубопроводе. Без оборудованных насосных станций поддержание непрерывной циркуляции и давления считалось бы невозможным.

Со временем насосное оборудование устаревает, изнашивается, не соответствует требованиям нормативной документации. В таком случае необходимо прибегнуть к реконструкции и модернизации внутренних систем водоснабжения жилого фонда.

Указанная проблема рассматривается и решается в данной работе.

Актуальность диссертации заключается в том, что происходит изменение нормативно-технической базы, сводов правил, вследствие чего при

проектировании насосных станций водоснабжения необходимо применять обновленные требования. В данном случае уже нельзя основываться на старых расчетах, а находить более современные решения и эффективные способы для реализации проекта.

Также стоит отметить, что в настоящее время весьма актуальной становится тема импортозамещения. Страна находится в сложной экономической ситуации, когда большое количество комплектующих, изделий стало недоступно. Строительная отрасль особенно пострадала. Под большим ударом оказались производства сложного оборудования. Если рассматривать отрасль водоснабжения, то особенно чувствительным к новым условиям оказалось насосное оборудование.

Цель работы: разработка технологических решений повысительных насосных станций в жилых зданиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ нормативных и технических источников при проектировании повысительной насосной станции;
- выполнить анализ оборудования для повышения напора в жилых зданиях;
- разработать проектные решения повысительных насосных станций в системе внутреннего водоснабжения.

Объект исследования: Системы внутреннего водоснабжения.

Предмет исследования: Повысительные насосные установки систем внутреннего водоснабжения.

Методы исследования. В данной выпускной квалификационной работе задействованы: теоретические методы исследования. Анализ, для более подробного понятия материала и его необходимости, разбивая на мелкие части и изучения каждой. Синтез, противопоставляя анализу, для объединения бессвязных элементов в целое для получения общего представления. Моделирование, для создания подробной модели исследования.

Классификация, распределяя полученную информацию на основе сравнения и разделяя на группы. Аналогия, для нахождения сходств.

Практическая значимость работы. На практике мы сталкиваемся с тем, что в старом жилом фонде повсеместно распространена проблема недостаточного и перебойного напора по причине нехватки современных повысительных насосных станций. Модернизация систем водоснабжения в соответствии с новыми правилами поможет повысить качество жизни многих потребителей.

Достоверность научных положений и основных выводов заключается в том, что, исходя из требуемых параметров сети водоснабжения жилого дома в Москве, было подобрано и проанализировано насосное оборудование разных производителей. На основе сравнительных таблиц и графиков было выявлено наиболее подходящее оснащение, которое обеспечит бесперебойную подачу воды в квартиры жильцов.

На защиту выносятся:

- влияние рабочей характеристики насоса на показатели сети водоснабжения;
- предложения по импортозамещению при проектировании насосных станций;
- проведение реконструкции насосной станции с пошаговой работой по подбору и анализу характеристик оборудования.

Апробация работы. Основные положения приведены в двух статьях:

- реконструкция повысительных насосных установок в старом жилом фонде.
- особенности оптимизации выбора повысительных насосных установок в условиях импортозамещения.

Автор доложил результаты своей работы на:

- конференция «Дни науки ТГУ», 2023 г., Тольятти, «Особенности оптимизации выбора повысительных насосных установок в условиях импортозамещения». Швецова А.В.

– конференция «Дни науки ТГУ», Тольятти, 2024 г., «Реконструкция повысительных насосных установок в старом жилом фонде» Швецова А.В.

Личный вклад автора состоит в систематизации исходных данных системы, обосновании темы, актуальности, целей и задач, а также в приведении рекомендаций по реконструкции повысительных насосных станций в старом жилом фонде.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит 40 рисунков, 3 таблицы, 9 формул, список использованной литературы (33 источника). Основной текст работы изложен на 61 странице.

Глава 1 Анализ нормативной и технической литературы по установкам повышения давления

1.1 Область применения установок повышения давления

Насосные станции требуются для обеспечения и нормального функционирования процессов водоснабжения в жилых, общественных, промышленных зданиях посредством автоматической подачи воды под нужным напором.

Повысительные насосные станции - предназначены для повышения давления воды в трубопроводе. При подаче ее потребителю в жилые дома и на промышленные объекты применяются повысительные насосные установки, обеспечивающие заданное давление в системе. В состав комплекса установок повышения давления помимо насосного оборудования входят: запорно-регулирующая арматура, щит управления, контрольно-измерительные приборы и автоматизация [1].

Если обратиться к истории градостроительства, выясняется, что все гидравлические расчеты водоснабжения были рассчитаны только на четверть века вперед. Проектировщики водных сетей не учли, как сильно разрастутся города в будущем, и как изменятся требуемые показатели напора и давления в системе водоснабжения. Следует заметить, что жилые поселения развились не только вширь, но и ввысь, что и привело к тому, что существующие водные сети не справлялись со своей работой. В квартирах началась острая нехватка напора воды. Это серьезно повлияло на качество жизни жильцов.

«При этом следует заметить, что 20 лет назад многие водопроводные системы проектировались под равномерный график подачи воды, что оправдано только при наличии очень больших регулирующих емкостей в сети (до 50% суточной подачи) или регуляторов напора. Фактически же, объем существующих емкостей не превышает 8% от требуемой подачи. В результате, утечки в ряде городов составляют до 40% суточной подачи, возникает резкое

снижение давления в часы пик и значительное повышение давления в сетях в ночное время, что чревато авариями. Кроме того, системы с равномерной подачей воды отличаются повышенным энергопотреблением, что при постоянно растущих тарифах на электроэнергию может стать критичным для многих водоканалов» [2].

Так, Груздева Е.Н. в своей статье «Установки повышения давления (бустерные установки)» предлагает решить данную проблему применением современных установок повышения давления или бустерных установок. По ее словам, модернизация систем водоснабжения с помощью такого оборудования поможет снизить возможные протечки и энергопотребление.

«Бустерная станция домового водоснабжения должна компенсировать колебания давления в системе центрального водоснабжения и изменять свою производительность, поддерживая необходимое постоянное давление в домовой сети» [2].



Рисунок 1 – Станции повышения давления Hydro 2000

Помимо области бытового водоснабжения, установка насосов повышения давления также актуальна в системах промышленного водоснабжения, системах автополива.

На рисунках 2, 3 приведены примеры двухнасосной и четырехнасосной установок повышения серии СКЕ.



Рисунок 2 – Двухнасосная установка повышения давления серии СКЕ на базе горизонтальных многоступенчатых насосов ASPRI35 5



Рисунок 3 – Четырёхнасосная установка повышения давления серии СКЕ на базе вертикальных многоступенчатых насосов MULTI55 7

Так, в статье под названием «Энергоэффективные установки повышения давления СКЕ от ESPA» [14] представлено насосное оборудование, отвечающее требованиям всех систем: от хозяйственно-бытовых до промышленных.

«Установки от ESPA серии СКЕ характеризуются простотой монтажа, лёгкостью настройки и удобством в эксплуатации. При использовании СКЕ обеспечивается постоянное давление в системе, заданное (настроенное) потребителем, достигается значительная экономия электроэнергии, а показатели шума являются, пожалуй, самыми низкими среди установок повышения давления, имеющих на российском рынке» [14].

Так, насосные установки повышения давления находят широкое применение в следующих сферах:

- системы питьевого и технического водоснабжения на объектах ЖКХ и промышленных сооружениях;
- в системах сельского хозяйства;
- в пожаротушении;
- в установках технического водоснабжения, ирригации и орошения в сельском хозяйстве.

1.2 Анализ рынка насосного оборудования

Безусловными лидерами в таких отраслях, как строительство, водоснабжение, канализация, являются две компании - Grundfos датского происхождения и Wilo - немецкого.

Компания GRUNDFOS основалась в 1945 году. В настоящее время в мировой концерн Grundfos входит более 80 дочерних фирм в 46 государствах по всему земному шару. Суммарный годовой объем выпуска продукции концерна GRUNDFOS превысил 17 миллионов единиц насосного оборудования. Компания занимает более половины мирового рынка в производстве циркуляционных насосов, являясь лидером в данном сегменте.

На территории России первые насосы Grundfos стали появляться в период 1950-1955 годов.

Однако с недавних пор Grundfos покинула российский рынок.

Группа компаний WILO является ведущим мировым производителем насосного оборудования для бытового применения, а также для коммунальной сферы, зданий, сооружений, промышленности и водного хозяйства.

«Российское подразделение «ВИЛО РУС» вышло на отечественный рынок в 1997 году и насчитывает по России 30 филиалов, 12 региональных складов и более 130 авторизованных сервисных партнеров. В 2015 году оборот компании составил 100 миллионов евро. Сейчас в подразделении работают свыше 250 сотрудников.

28 июня 2016 в Ногинске (Московская область) состоялось официальное открытие нового завода по производству насосного оборудования» [21].

Итальянская компания Calpeda производит насосное оборудование, обладающее непревзойденной надежностью, отличающееся от конкурентов высокотехнологичностью. Насосы итальянского бренда неизменно занимают лидирующие позиции в области водонапорного оборудования.

Компания занимается изготовлением промышленных и бытовых насосов, оснащения отопительных систем и систем кондиционирования, для удовлетворения потребностей сельскохозяйственной сферы и сферы пожаротушения.

Учитывая современные тенденции ухода Европейских компаний с Российского рынка, в рамках данной работы следует рассматривать также производителей с дальнего востока, таких как CNP (Китай), а также небезызвестную компанию Stairs (Тайвань).

Китайская компания Nanfang Pump Industry - производитель насосного оборудования, основанная в 1991 году, с 2010 года именуется как компания CNP. Это первое предприятие в Китае, которое специализируется на разработке и серийном производстве центробежных насосов из нержавеющей

стали, изготовленных методом штамповки и сварки. Компания занимает более 80 тыс. квадратных метров и ежегодно выпускает 700.000 насосов.

На данный момент CNP является ведущим производителем в данной индустрии, с большой номенклатурой насосного оборудования, крупносерийным производством и налаженным сбытом продукции в мире. По объему выпускаемой продукции и качеству компания занимает первое место на внутреннем рынке Китая.

Компания занимается эффективной и масштабной деятельностью на мировом рынке, предлагая своим клиентам современное оборудование с профессиональным дизайном. Также компания сформировала эффективную систему управления производством, контролем качества и маркетингом.

Тайваньская компания Stairs Industrial Co основана в 1981 году Shih-Chung, Huang (Ши-Чун Хуанг), который начал с небольшой фабрики в Тайбэе, Тайвань, производство и распределение насосов.

В конце 1990-х годов, после того как компания стала ведущим производителем насосов в тайваньском рынке, насосы стали продаваться и на международном рынке.

Продукция Stairs относится к среднему ценовому сегменту. Насосы этой фирмы лучше по качеству продукции большинства китайских производителей, но несколько уступают грандам из Германии и Дании. Отличный ценник является залогом популярности насосов в более чем 50 странах мира.

В рамках импортозамещения безусловно необходимо рассмотреть российских производителей насосного оборудования, одними из известных являются компании «JETEX» и «Ампика».

Российская компания JETEX производит и поставляет насосы и насосные станции для промышленного и коммунального водоснабжения на территории России, оказывает услуги по проектированию насосного оборудования по техническим параметрам заказчика, а также предлагает весь спектр сервисных работ.

Насосы и насосные станции JETEX работают на водоканалах Санкт-Петербурга, Сургута, Новороссийска, Тольятти, Тюмени, Брянска, Ханты-Мансийска, Краснодара, Воронежа, Барнаула, Твери и других городов. Оборудование компании также установлено на объектах ЖКХ и крупнейших промышленных предприятиях России, в системах жизнеобеспечения объектов социального значения и спортивных сооружений. Российская компания "Ампика" является представителем более 30 насосных заводов России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Компания занимается изготовлением и поставками насосов и промышленного оборудования больше 10 лет.

Таким образом, при проектировании и подборе насосного оборудования, в том числе повысительных насосных установок водоснабжения, стоит отдать предпочтение таким компаниям, как:

- JETEX – Россия;
- Ампика – Россия;
- CNP – Китай;
- Stairs – Тайвань.

1.3 Методы расчета установок повышения давления

1.3.1 Определение требуемого напора в ПНУ

Основной целью расчета насосных установок является получение требуемых расходов и напора в сети водоснабжения.

Так, в том случае, если значение напора в городской сети не является достаточным для снабжения всех потребителей, появляется необходимость в использовании повысительных насосных установок.

Так, по формуле 1 СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» определим значение расчетного напора, развиваемого повысительной насосной установкой с учетом минимально гарантированного напора в НВС.

$$\langle H_p = H_{\text{геом}} + \sum H_{l,tot} + H_{\text{пр}} - H_{\text{гар}} \rangle \quad (1)$$

где $H_{\text{геом}}$ – геометрическая высота подачи воды от оси насоса до диктующего санитарно-технического прибора (пожарного крана), м;

$\sum H_{l,tot}$ – сумма потерь напора (давления) в сети водопровода холодной или горячей воды (в узле ввода, счетчиках, трубопроводах, арматуре) по диктующему направлению до диктующего санитарно-технического прибора (пожарного крана), м вод.ст., определяемых согласно разделам 8, 10 и 12;

$H_{\text{пр}}$ – напор (давление) перед прибором, м вод.ст., принимаемый согласно 8.21;

$H_{\text{гар}}$ – минимальный гарантированный напор (давление) в наружной водопроводной сети, м вод.ст» [15].

Сумма потерь напора определяется по формуле 2 в соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.15.200-2016:

$$\langle \sum H_{l,tot} = h_{\text{дл}} + h_{\text{м}} + h_{\text{сч}} \rangle \quad (2)$$

где $h_{\text{дл}}$ – сумма потерь напора, м;

$h_{\text{м}}$ – потери напора в местных сопротивлениях, м;

$h_{\text{сч}}$ – потери напора в водосчетчике, м.

Примечания:

- $h_{\text{дл}} = iL$; i – гидравлический уклон; L – длина расчетного участка, м;
- $h_{\text{м}} = k_{\text{м}} h_{\text{дл}}$; $k_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий потери напора в местных сопротивлениях, следует принимать;
- 0,3 – в сетях хозяйственно-питьевых водопроводов жилых и общественных зданий; 0,2 – в сетях объединенных хозяйственно-

противопожарных водопроводов; 0,1 – в сетях противопожарных водопроводов;

- $h_{сч} = Sq^2$, где S – гидравлическое сопротивление счетчика; q – расчетный расход воды. Потери напора в счетчике не должны превышать: в крыльчатых счетчиках холодной воды – 5 м, турбинных – 2,5 м, а при пожаре – 10 м» [16].

При правильном определении приведенных выше величин, подбираются насосные установки, характеристики которых будут соответствовать заявленным. На рисунке 4 приведен пример расчетной схемы для определения расчетного напора в сети.

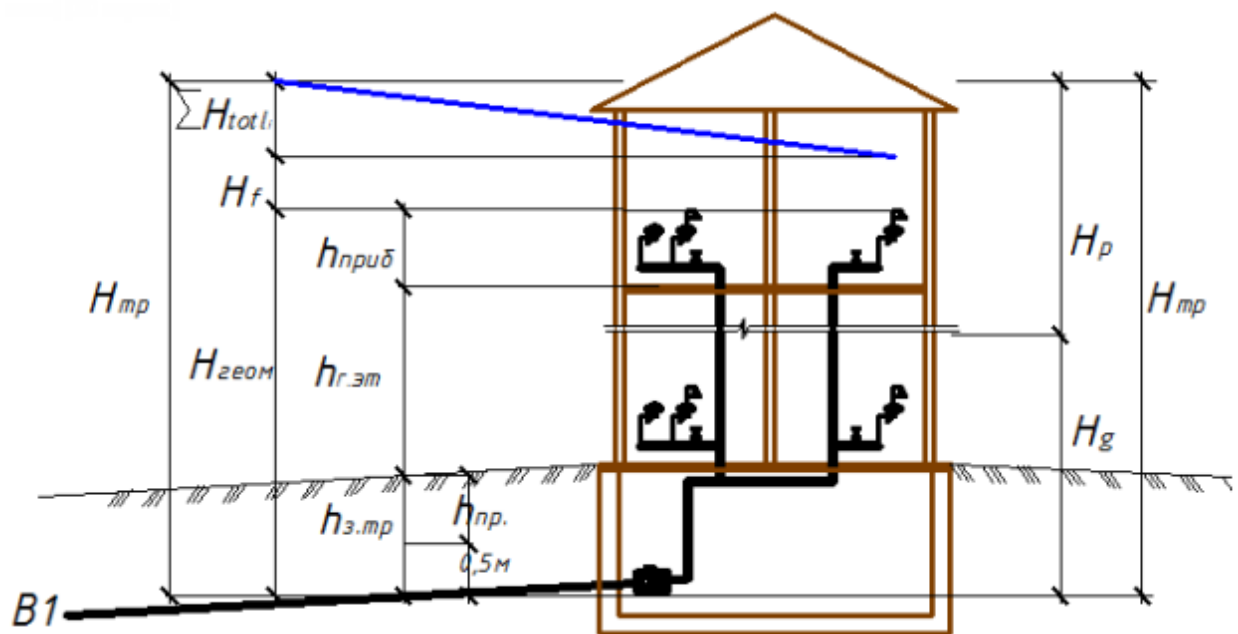


Рисунок 4 – Расчетная схема по определению требуемого напора

«В централизованных системах горячего водоснабжения при недостаточном напоре (давлении) воды в наружной сети водопровода рекомендуется установка циркуляционно-повысительных насосов, устанавливаемых на подающем трубопроводе» [6].

1.4 Основные критерии подбора насосных установок повышения давления

1.4.1 Общие принципы подбора ПНУ

Сегодня «наблюдаемый рост темпов строительства и оживление промышленного производства приводят к увеличению спроса на насосное оборудование, которое отличается простотой монтажа, легкостью настройки и удобством в эксплуатации. Особую ценность для потребителя представляют автоматизированные установки повышения давления, включающие насосы, устройства управления, контрольно-измерительные приборы, электрические подключения, трубную обвязку и монтажную раму-основание. В зависимости от принципа управления, установки повышения давления делятся на релейные и с частотным управлением» [7].

Установки повышения давления с релейным управлением.

Пример насосной установки с релейным управлением приведен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Насосная станция с релейным управлением WF PUMP-PSD 2 X LVR 10-14

«Электромеханические шкафы часто управляют реле, которые включают или выключают насосы в зависимости от сигналов от реле давления. Реле давления настроены на разные уровни в пределах выбранной точки давления для каждого насоса в установке. Это позволяет запускать насосы поочередно и отключать их в обратном порядке. Таким образом, рабочее давление в системе с релейным управлением является усредненным значением, которое зависит от текущей производительности» [7].

«Невозможность точно поддерживать значение давления, требуемое потребителю, является одним из недостатков релейных установок. Этому недостатка лишены установки повышения давления с частотным управлением, обладая возможностью программирования уровня давления, требуемого потребителю» [7].

Установки повышения давления с частотным управлением.

Установки повышения давления с частотным управлением предоставляют решение проблемы точности поддержания давления, необходимого для потребителя, за счет использования принципа частотного регулирования. Имея возможность программировать требуемый уровень давления, эти установки обеспечивают эффективное управление насосами [3].

Изменение «скорости вращения вала насоса в зависимости от потребления воды обеспечивает постоянное давление в системе, которое задается потребителем. Это приводит к существенной экономии электроэнергии, так как электродвигатель насоса потребляет только необходимую мощность из сети. График работы насоса преобразуется так, что каждая точка становится рабочей для насоса, управляемого частотным преобразователем» [7].

«Производители насосного оборудования используют разнообразные схемы для создания устройств управления. Это позволяет избежать значительных пусковых токов, присущих прямому запуску электродвигателей, и снизить уровень шума, сопровождающего работу насосов. Увеличивается срок службы насосов и трубопроводной арматуры, а

также уменьшается риск гидравлических ударов, возникающих при резкой остановке насосов» [7].

Благодаря этому отпадает необходимость устанавливать большие гидроаккумуляторы, что способствует повышению общей эффективности системы.

Таким образом, преимущество установок с частотным управлением заключается в возможности изменять скорость вращения насосов с помощью частотного преобразователя, что исключает указанный выше недостаток релейных установок.

Существуют различные типы шкафов управления для электродвигателей насосов. Некоторые из них содержат частотные преобразователи, регулирующие скорость вращения валов. Другие шкафы управления управляют встроенными частотными преобразователями насосов. Однако эти схемы имеют недостатки, которые негативно сказываются на характеристиках оборудования и его стоимости.

«Примером могут служить частотные преобразователи, установленные в шкафах управления, которые представляют собой устройства общего применения в промышленности и могут быть использованы для частотного регулирования различных электродвигателей, включая насосы» [7].

Для адаптации к работе с насосами требуется специальный интерфейс, который дает возможность настраивать параметры повышения давления. Количество таких параметров может варьироваться в зависимости от производителя, обычно их количество составляет от 10 до 20.

Приобретение оборудования с частотным преобразователем может привести к излишним расходам, поскольку потребитель использует лишь небольшую часть его функциональных возможностей. Альтернативные схемы управления насосами с встроенным преобразователем также имеют высокую стоимость, а затраты на шкаф управления сопоставимы с расходами на шкафы управления без такого преобразователя.

На «российском рынке уже доступны инновационные установки, которые не требуют шкафа управления и используют частотные преобразователи, размещенные на насосе. Один из таких преобразователей («главный») берет на себя функции контроля работы насоса и всей насосной группы, обеспечивая быстрый запуск насоса и полное соответствие принципам модульности и взаимозаменяемости. Важными характеристиками таких установок являются простота настройки и перепрограммирования, компактные размеры и невысокие затраты на их приобретение и ввод в эксплуатацию.

«В качестве примера успешного применения частотно-регулируемых насосных станций можно привести ситуацию водоканала г. Пскова, где за счет установки частотного регулируемого преобразователя на существующие насосы станций повышения напора мощностью 15-30кВт добились 20% экономии электроэнергии» [2].

Для оптимизации работы устройства, можно осуществить перенастройку системы повышения давления, переместив функцию "главного" на любой выбранный преобразователь. Для этого требуется лишь подключить датчик давления к соответствующему устройству. Настройка таких систем ограничена небольшим числом параметров, что делает процесс значительно более простым и быстрым, чем у других типов установок. Однако следует учитывать, что устройства повышения давления могут быть достаточно шумными в работе» [7].

Шумность установок повышения давления.

«Различия в уровне шума при работе установок повышения давления зависят от компаний-производителей, которые вносят свой вклад в этот процесс. Насосы и трение воды о стенки трубопроводной арматуры являются основными источниками шума. Минимальный уровень шума соответствует минимальному трению воды о стенки трубопроводов. Оптимальный диаметр коллекторов определяется скоростью потока воды, проходящей через них по формуле 3:

$$v = \frac{354Q}{D^2}, \quad (3)$$

где v – скорость потока жидкости, м/с;

D – диаметр коллектора, мм;

Q – суммарная производительность насосов, м³/ч» [18].

Производители обычно стремятся экономить на себестоимости продукции, используя более дешевые коллекторы с меньшими диаметрами, чем требуется для оптимальной скорости потока. Установки с минимальным уровнем шума обеспечиваются использованием правильного размера коллекторов. Также важно, чтобы насосы работали синхронно.

В некоторых установках насосы работают синхронно, а в других случаях используется схема каскадного режима, при которой скорость вращения вала увеличивается при увеличении водоразбора и переключении частотного преобразователя на следующий насос. Когда дополнительный насос включается, скорость вращения первого насоса снижается, а у второго - увеличивается. После выравнивания скоростей оба насоса начинают работать синхронно, что позволяет уменьшить шум в работе установки.

1.4.2 Выбор подходящего типа повысительной насосной установки

Рассмотрим некоторые критерии по работе с повысительной насосной установкой, приведенные в СТО НОСТРОЙ 2.15.200-2016.

- должно обеспечиваться постоянное значение давление в системе с использованием ПНУ;
- при дроссельном регулировании (рисунок 6) и регулировании с использованием байпаса (рисунок 7) происходит значительное снижение КПД, мощность увеличивается, энергия теряется, что требует исключения данных способов из системы водоснабжения;
- обязательное введение частотного регулирования электропривода насосов (ЧРП) для поддержания наилучшего уровня

энергоэффективности и обеспечения равномерной подачи (рисунок 8);

- исключение повышенной скорости вращения стандартных насосов в составе ПНУ (это может достигаться посредством большой частоты тока – больше 50 Гц) – рисунок 9;
- если говорить о повышении энергоэффективности повысительной насосной установки, то стоит рассмотреть возможность сочетания частотного регулирования электропривода с уменьшением значений подачи, напора одного насоса с увеличением их количества [13].

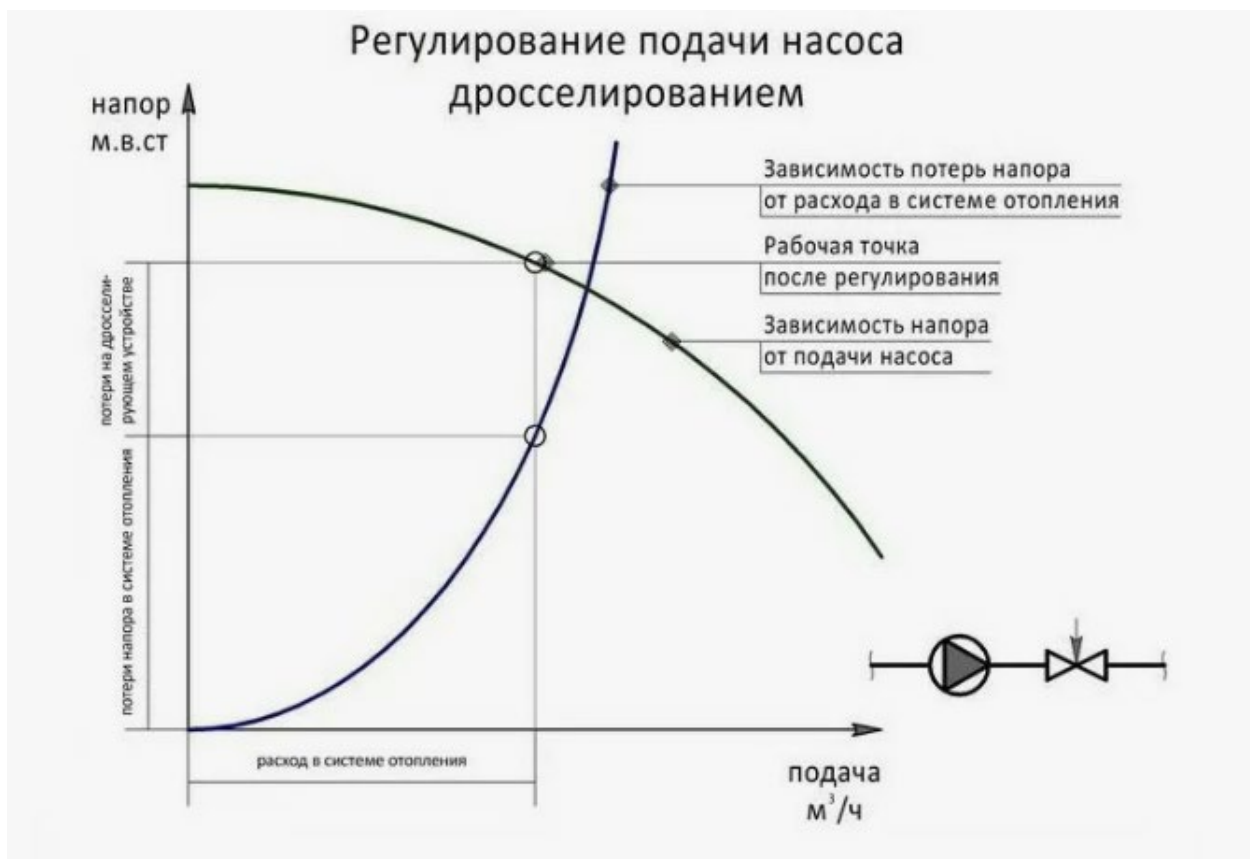


Рисунок 6 – Регулирование подачи насоса дросселированием

Важным пунктом при подборе подходящего повысительного оборудования является анализ характеристик по графикам с определением положения рабочей точки [5].

«Если текущая рабочая точка лежит за пределами характеристики одного насоса, но в пределах суммарной характеристики двух насосов, то в работе будут находиться два насоса ПНУ (МАНС), один из этих насосов будет работать в «сетевом» режиме, а второй насос будет работать под управлением ПЧТ, при этом скорость второго насоса (частота вращения рабочих колес) должна быть отрегулирована согласно текущему требованию системы по подаче» [17].

2. Регулирование байпасом

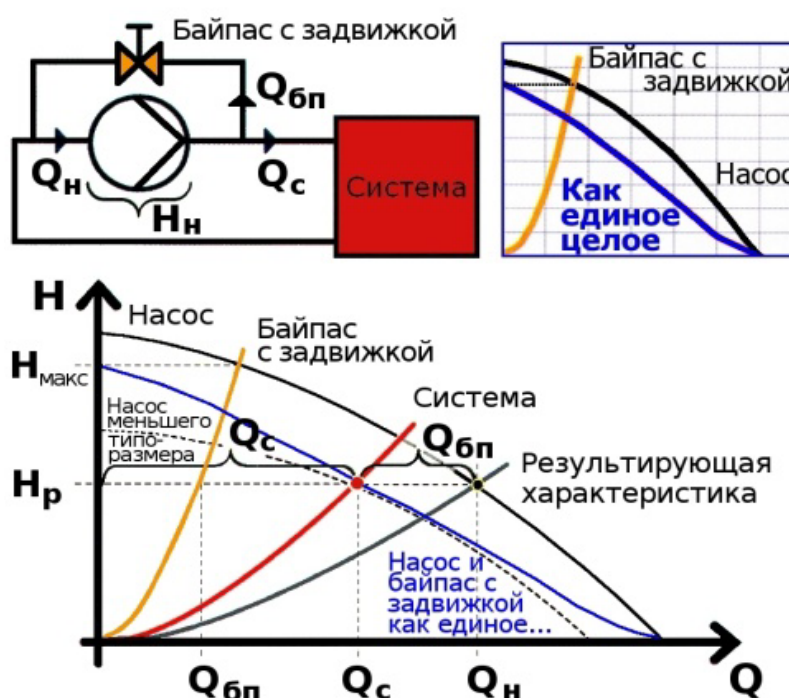


Рисунок 7 – Регулирование байпасом

Также, в случае если рабочая точка будет лежать в суммарной зоне трех насосов, но за пределами двух, то задействованы будут все три: 2 будут в «сетевом» режиме, последний – под управлением преобразователя частоты тока [11].

«Рабочая точка каждого из насосов ПНУ (МАНС), работающих в «сетевом» режиме, будет находиться на пересечении характеристики насоса и линии постоянного давления; рабочая точка регулируемого с помощью ПЧТ насоса будет непрерывно определяться при локализации текущей рабочей

точки ПНУ (МАНС) на линии контролируемого постоянного давления (напора) в месте ее пересечения с текущей характеристикой сети» [16].



Рисунок 8 – Пример частотного регулирования электропривода насосов

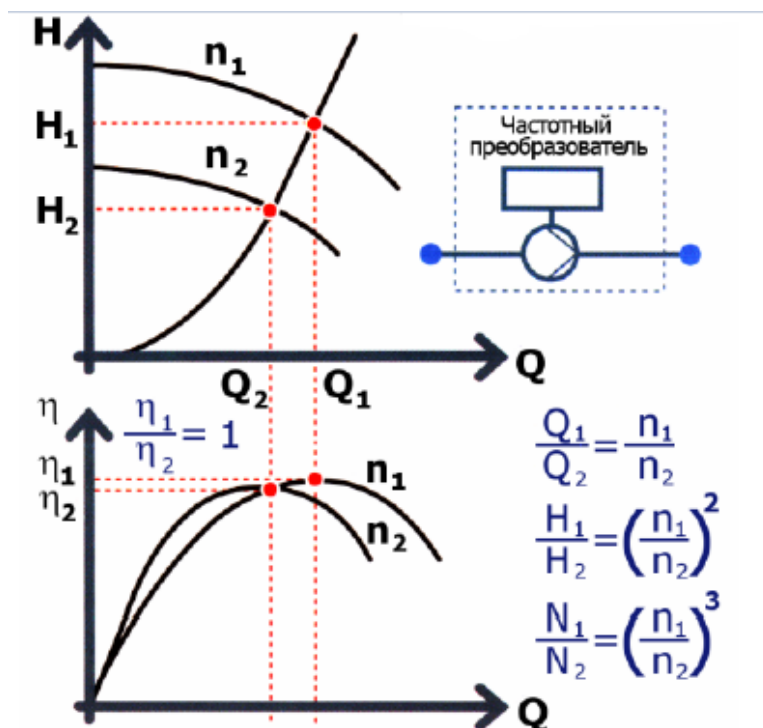


Рисунок 9 – Регулирование скорости с помощью преобразователя частоты тока

Таким образом, при проектировании системы водоснабжения и подборе ПНУ, следует ориентироваться на обеспечение максимального значения КПД в большей части рабочей зоны, а также в точке пересечения характеристики ПНУ и линии напора. На рисунке 10 показан график зависимости КПД и энергозатрат в зависимости от параметров системы.

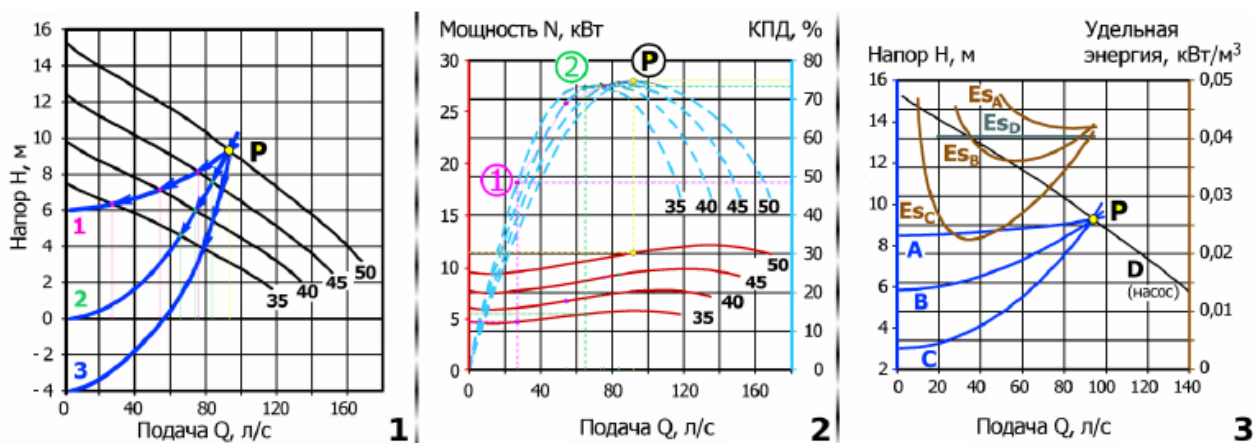


Рисунок 10 – КПД и удельные энергозатраты при регулировании скорости в зависимости от типа открытой системы, параметров ее характеристики и положения рабочей точки относительно максимума КПД

Следует стремиться к тому, чтобы пересечение кривой постоянного давления с напорной осью произошло гораздо выше линий характеристик насоса (для сниженных скоростей).

Важно отметить, что для цели повышения давления лучше отдавать предпочтение в пользу полноценной насосной установки, нежели отдельного насоса. «Кроме того, согласно существующим СНиП 2.04.01-91, в системах повышения давления необходимо предусматривать один резервный насос» [2].

Например, в научной статье «Установки повышения давления (бустерные установки)» для максимальной энергоэффективности предлагается использовать современные насосные станции повышения давления Hydro, которые состоят из целого комплекса отдельных насосов, оснащенных частотными преобразователями (рисунок 11).



Рисунок 11 – Повысительная насосная установка GRUNDFOS Hydro 2000 MF

«Обычно, такая станция состоит из 3-х (2 рабочих + 1 резервный) или 4-х насосов (3 рабочих + 1 резервный). Последний вариант наиболее предпочтителен, поскольку позволяет работать с максимальным КПД в диапазоне от 10 до 120% от требуемой максимальной производительности. За счет частотного регулирования всех насосов, станции автоматически подстраиваются даже под значительные колебания давления городской сети, что актуально практически для всех крупных городов России» [2].

Помимо этого, в данной научной статье рассматривается вопрос по созданию интеллектуальных систем зданий, где все электронные устройства будут управляться из одного диспетчерского центра. В такой «умной» структуре насосные установки повышения давления, имеющие собственные шкафы управления, станут неотъемлемой частью по созданию комфортной среды здания. Эксплуатация будет сопровождаться оптимальными затратами.

Если рассмотреть реальные примеры применения ПНУ в высотных зданиях, то это Москва-Сити. Для ХВС здесь предусмотрены 3 зоны со следующими установками:

- 1 зона – до 2 этажа УПД GRUNDFOS Hydro 2000 MF 3 CR32-2 PMU;
- 2 зона – до 16 этажа Hydro 2000 MF 3 CR8-100 PMU;
- 3 зона – до 30 этажа Hydro 2000 MF 3 CR8-140 PMU.

Помимо делового центра Москвы, интеллектуальные инженерные системы нашли свое применение в таких зданиях, как:

- жилой комплекс в Долгопрудном;
- жилой дом в Екатеринбурге;
- банк «Петрокоммерц» в Волгограде.

1.5 Комплексные системы УПД

В статье «Совмещенные установки повышения давления и противопожарного водопровода SmartStation» [10] рассматривается возможность совмещения функций водоснабжения и пожаротушения в одной системе.

Потребность в совмещении ВПВ (внутреннего противопожарного водопровода) и УПД объясняется тем, что первый зачастую выходит из строя. Авторы работы приводят следующие проблемы, возникающие с системами ВПВ:

- «ненадлежащее техническое обслуживание, которое приводит к неудовлетворительному состоянию насосных агрегатов и управляющей ими автоматики. При отсутствии должного контроля со стороны заказчика, происходит нарушение регламента технического обслуживания, как следствие, никто не замечает неисправности, пока не наступит пожар;
- применение некачественного и несертифицированного оборудования (не предназначенного для выполнения функций внутреннего противопожарного водопровода) в целях экономии и общего удешевления систем водоснабжения» [10].

При совмещении систем ХВС и ВПВ возникают следующие преимущества:

- сокращение себестоимости установки комплекса системы;
- сокращение себестоимости техобслуживания;
- повышение надежности УПД при работе в системе холодного водоснабжения, поскольку требования будут регламентироваться в соответствии с противопожарными;
- повышение надежности УПД при работе в системе внутреннего противопожарного водопровода;
- совмещение требований противопожарного водопровода и холодного водоснабжения, которые будут выполняться единой насосной системой;

Так, авторы статьи приводят в пример установку повышения давления SmartStation, которая обладает всеми приведенными выше преимуществами и совмещает системы ХВС и ВПВ.

«В целях увеличения надежности системы в шкафу управления насосной установкой применяются графическая сенсорная панель, управляющая системой ХВС, и панель управления малая (ПУМ) системы пожарной автоматики и сигнализации «Спрут-2», обеспечивающая работу установки в режиме «Пожар» и постоянный мониторинг состояния всех соединительных линий, элементов дистанционного управления и т.п.

В установке заложено три вида регулирования частоты вращения насосных агрегатов: регулирование одним частотным преобразователем на всю установку, регулирование частотным преобразователем, работающим на каждый насосный агрегат, и релейный режим работы.

В составе совмещенной установки также предусмотрены датчики положения ручного дискового затвора SmartFly, обеспечивающие выполнение пункта 13.8. СП 10.13130.2020: «Запорные устройства, устанавливаемые на входном и выходном напорных трубопроводах пожарного насоса, должны

обеспечивать автоматическую сигнализацию, идентифицирующую положение их затвора «Закрыто» - «[Открыто]» [10].

Данная установка нашла применение на следующих объектах:

- жилые комплексы «Парк Рублево», Vunin, «Циолковский»;
- Окская птицефабрика;
- пассажирский терминал «Домодедово-2»;
- эндокринологический научный центр Минздрава России;
- Алексинская бумажно-картонная фабрика;
- транспортный узел метро «Рязанская»;
- ГЭС-2;
- «Сергиево-Посадский дом-интернат слепоглухих для детей и молодых инвалидов».

На рисунке 12 показана совмещенная установка повышения давления и противопожарного водопровода SmartStation.



Рисунок 12 – Установка SmartStation

1.6 Обзор патентной литературы

Помимо упоминания о повысительных установках в научных статьях, большой вклад в развитие отрасли приносят различные патенты, в которых представлены новейшие идеи и разработки на данную тему.

Так, в патенте № 2623585 приведен проект разработки по повышению энергоэффективности насосных установок под управлением частотными преобразователями.

Идея «включает определение и контроль количества работающих насосов n , измерение тока активной нагрузки каждого работающего электродвигателя насоса I_{ai} , определение отклонения токов активной нагрузки каждого работающего электродвигателя от их среднеквадратичного значения, вычисленного по формуле 4:

$$I_a = \sqrt{(\sum I_{ai}^2)/n}, \quad (4)$$

пошаговый ввод корректирующего значения частоты управляющего сигнала в блоке управления для каждого работающего электродвигателя, равного произведению единицы младшего разряда частоты управления на масштабирующий коэффициент, до выполнения условия $I_{ai} = I_a$ [19].

На рисунке 13 приведена блок-схема, иллюстрирующая последовательность операций по увеличению общего КПД установки повышения давления в напорной магистрали потребителя.

Данная разработка позволяет в несколько раз повысить значение энергоэффективности работы установок повышения давления при помощи увеличения показателя суммарного коэффициента полезного действия в ходе контроля изменения напора в главном трубопроводе.

В комплект входят такие средства, как насосы, переключатели, преобразователи, магнитные пускатели, компьютеры и другое.

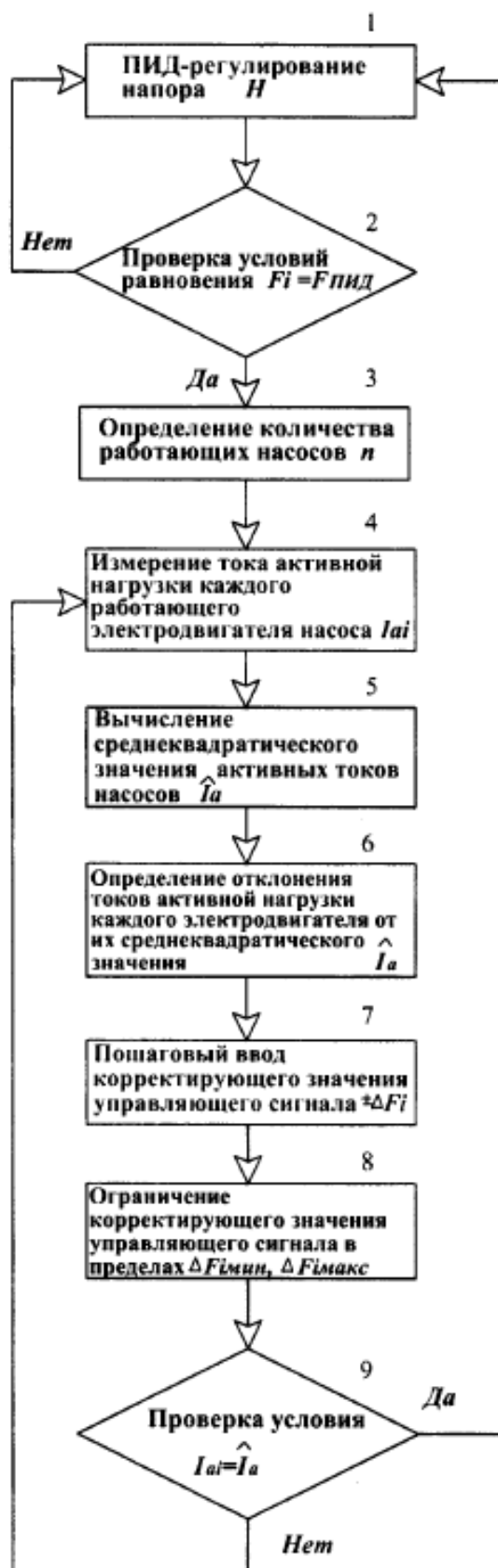


Рисунок 13 – Блок-схема осуществления способа повышения энергоэффективности насосных установок повышения давления с электроприводными насосами, управляемыми преобразователями частоты по закону ПИД-регулирования

На схеме приведены следующие обозначения:

- «ПИД-регулирование напора;
- проверка условий равновесия $F_i = F_{\text{пид}}, i \in 1, n$;
- определение количества работающих насосов n ;
- измерение тока активной нагрузки каждого работающего электродвигателя насоса I_{ai} ;
- определение отклонений токов активной нагрузки электродвигателя каждого насоса I_{ai} от их среднеквадратичного значения I_a ;
- пошаговый ввод корректирующего значения управляющего сигнала $\pm \Delta F_i$;

Заявляемый способ относится к способам повышения энергоэффективности работы установок повышения давления, состоящих из группы центробежных электроприводных насосов в количестве от 2 до 6, регулируемых преобразователями частоты» [19].

Рассмотрим другой патент № 2674842. Здесь приведен проект модернизированной установки повышения давления с контроллером, позволяющим отслеживать входные и выходные параметры насосов по отдельности или всех вместе. Установка отслеживает состояние системы в реальном времени. На рисунке 14 показана установка повышения давления в изометрии.

«Установка повышения давления воды обеспечивает подачу воды на участки при конкретных рабочих параметрах. Вода поступает во всасывающий коллектор, проходит по трубам и поступает в насосы. Насосы доводят воду до требуемого давления и/или расхода и выводят ее через трубы из нагнетательного коллектора. За одним или несколькими компонентами установки повышения давления воды во время эксплуатации ведется контроль, данные о параметрах отображаются локально и/или дистанционно» [20].

Уникальность данного изобретения в том, что у оператора есть возможность определять и настраивать параметры работы системы в реальном

времени, во время эксплуатации насосов. Помимо этого, в контроллер уже заложены все программы и алгоритмы, позволяющие управлять всеми рабочими параметрами. Поэтому операторам совсем не обязательно обладать знаниями и навыками в программировании.

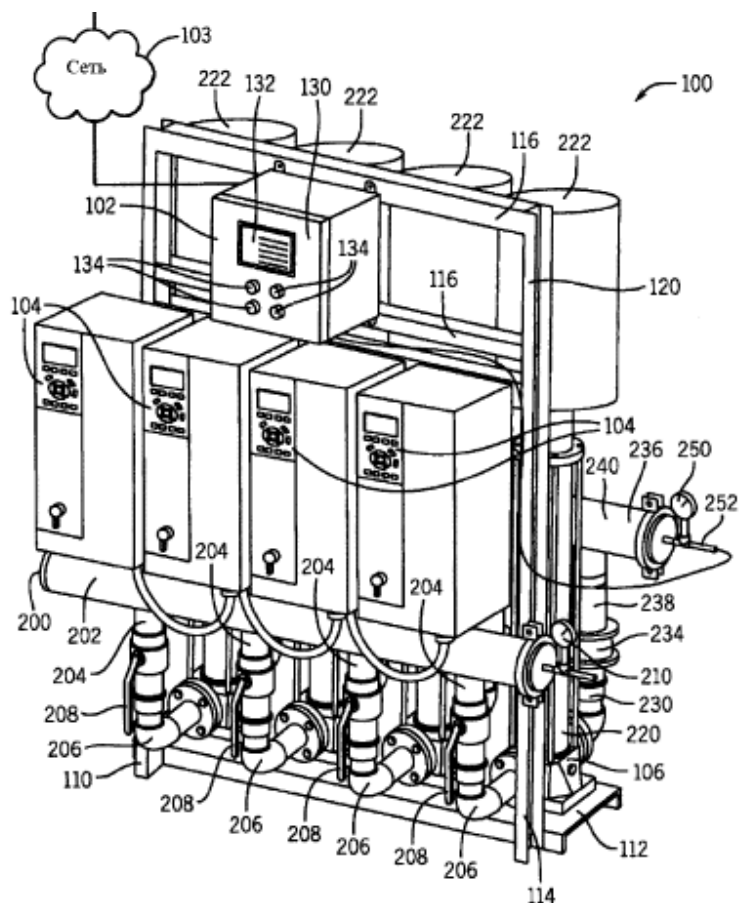


Рисунок 14 – Установка повышения давления воды в изометрии

На рисунке 15 приведена блок-схема со стадиями процесса определения параметров насосов УПД при помощи алгоритма.

Также в данной установке подразумевается возможность установки крайних значений для аварийных сигналов, они, в свою очередь, будут дистанционно отправляться оператору. «Более конкретно, при нарушении одного из пороговых значений аварийных сигналов наилучшим решением является предоставить пользователю возможность просматривать, устранять и/или менять аварийные сигналы через дистанционное устройство» [20].

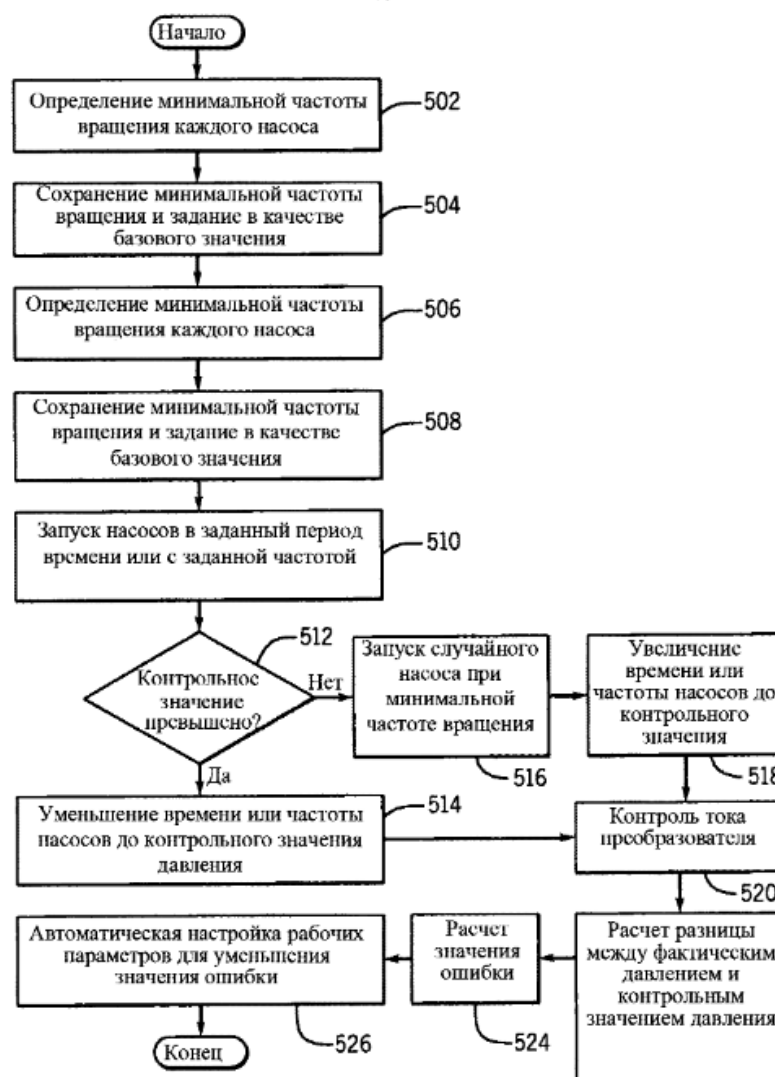


Рисунок 15 – блок-схема с несколькими стадиями процесса определения по меньшей мере одного параметра насоса с помощью алгоритма

Выводы по 1 главе.

В 1 главе магистерской диссертации рассмотрена область применения насосных установок повышения давления, произведен анализ рынка насосного оборудования с указанием наиболее подходящих компаний-производителей. Помимо этого, были разобраны основные методы расчета УПД в соответствии с СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [15], а также научными статьями различных авторов.

Выполнен анализ примеры существующих патентов на тему насосных установок повышения давления.

Глава 2 Автоматизация, монтаж и эксплуатация установок повышения давления

2.1 Основные принципы автоматизации

Автоматизация повысительных насосных станций играет важную роль в проектировании насосного оборудования. Автоматика направлена на уменьшение трудоемкости эксплуатационных процессов, внедрение простоты использования, уменьшение рисков аварий и повышение общей энергоэффективности.

Так, максимальное исключение человеческого вмешательства в работу насосного оборудования способствует увеличению эффективности его функционирования [29].

Система автоматизации насосного оборудования – это комплекс аппаратных и программных средств, которые обеспечивают бесперебойную работу всей автоматики насосного оборудования [8].

Перечень функциональных возможностей системы автоматизированного насосного оборудования, осуществляемых в процессе работы:

- поддержание фиксированного значения давления в напорных трубопроводах повысительной станции;
- автоматический запуск резервного насоса в случае неисправности основного;
- в случае падения значения давления в трубопроводах ниже критического уровня, отключение рабочего агрегата.

Автоматика ПНУ контролирует следующие рабочие параметры системы водоснабжения (рисунок 16):

- показатели давления во всасывающих и напорных коллекторах ПНС;
- показатели давления во всасывающем и напорном трубопроводах во всех агрегатах;

- показатели расхода воды на всасывающем коллекторе ПНС;
- значение температуры воздуха в ПНС;
- отслеживание значений напряжений на любом из вводов;
- количество выработанной электроэнергии;
- включение охранной сигнализации;
- затопление машинного отделения насосной станции.



Рисунок 16 – Пример автоматизации повысительной насосной станции жилого дома

Структура системы автоматизации. Автоматизированная система ПНС имеет децентрализованную многоярусную структуру (рисунок 17). Высший уровень содержит АРМ (автоматизированное рабочее место) диспетчера, которое располагается в центральной диспетчерской службе. АРМ включает в себя рабочую станцию, ПО для отображения технологического процесса SCADA Simplicity Run Time и радиомодема. Автоматизированное рабочее

место гарантирует отображение, управление, архивирование данных технологического процесса. Передача данных на АРМ осуществляется по треку радиоканала с помощью радиомодема по протоколу MODBUS RTU.

Второй уровень обеспечивает функцию центрального сбора, обработки и передачи на первый уровень данных о технологических параметрах процесса. Помимо этого, происходит контроль и управление станций управления насосов, силовых шкафов, расходомеров, датчиков давления [26].

На последнем уровне располагаются устройства передачи аналоговых и дискретных сигналов между контроллером и оборудованием АСУ ТП.



Рисунок 17 – Схема автоматизации подъема воды и объединения устройств в единую АСУ

Также структуру автоматизированных насосных станций можно охарактеризовать как совокупность основных и вспомогательных аппаратных комплектующих (рисунок 18).

Основная группа – оборудование, предназначенное для проведения единого контроля и управления. Данная группа включает в себя: емкостные датчики; струйные, уровневые и поплавковые реле; реле заливки

центробежных насосов и системы манометров для измерения каждого из параметров и показателей [12].

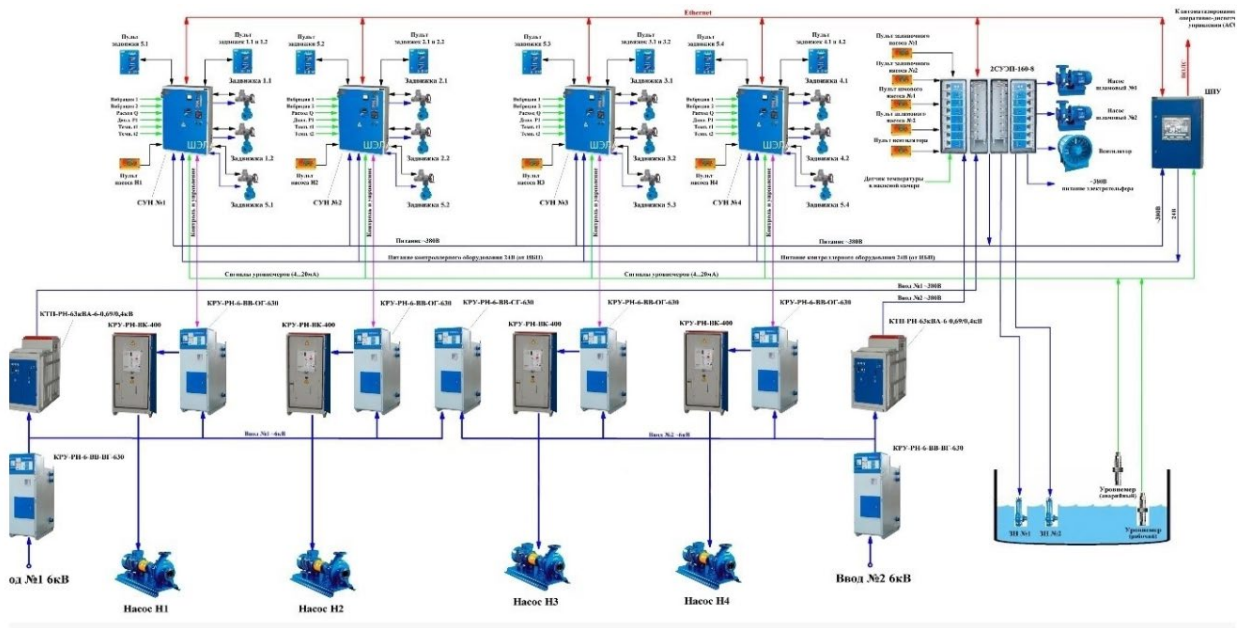


Рисунок 18 – Основная и вспомогательная аппаратура при автоматизации рабочей станции

«Вспомогательное оборудование – это приборы общего назначения (промежуточное реле, соединительные блоки (контакторы), магнитные пускатели и переключатели).

На рисунке 16 представлена основная и вспомогательная аппаратура при автоматизации рабочей станции.

Упрощенная схема автоматизации насосных станций водоснабжения. Существует также упрощенная схема автоматизации ПНС, состоящая из следующих взаимосвязанных компонентов:

- станция управления, работа которой происходит удаленным способом. Она контролирует, запускает и завершает работу различных электроустановок. Управляющий блок также регулирует все процессы и приводит в действие сигнализацию, если обнаруживаются сбои и ошибки;

- блок управления ПНС соединяет в себе все датчики контроля и индикаторы состояния системы. Его монтаж осуществляется на плате или каркасе;
- управляющая панель организует передачу командных сигналов системе;
- щит управления включает в себя все управляющие панели, которые обеспечивают нормальную работу и функционирование всей системы;
- шкаф управления – это центр всего автоматизированного блока, соединяющего все компоненты системы» [9].

На рисунке 19 представлена полная схема автоматического управления повысительной насосной станцией.

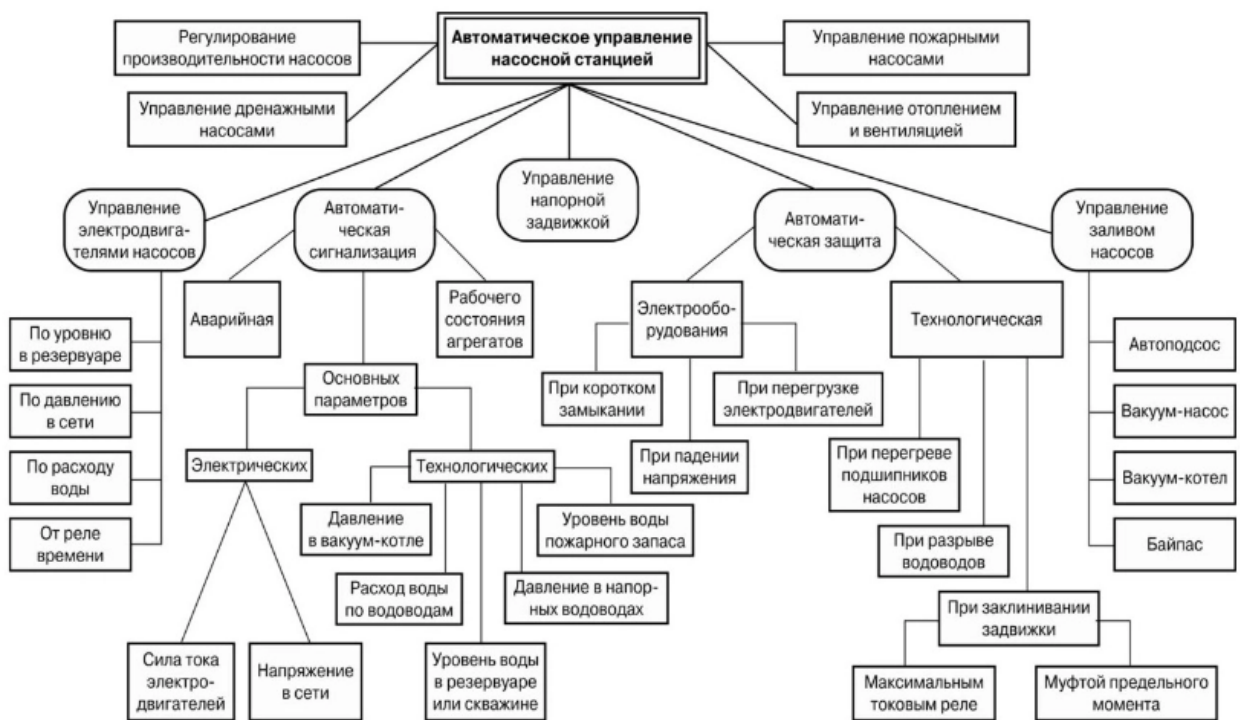


Рисунок 19 – Схема автоматического управления насосной станцией

2.2 Автоматическое управление насосной станции с целью экономии электроэнергии

Рассмотрим научную статью «Автоматическое управление группой насосных агрегатов с целью снижения затрат электроэнергии»: «Для снижения энергопотребления насосных станций необходимо уменьшить потери энергии в водопроводной сети путем поддержания оптимального давления на выходе насосной станции. После определения необходимого уровня давления предлагается использовать алгоритмы управления для оптимизации работы насосов» [4].

«В качестве критерия эффективности работы насосной станции использовали ее гидравлический КПД, который определяли по формуле 5:

$$\eta = \frac{P_{\text{гидр}}}{P_{\text{элект}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{гидр}}$ – гидравлическая мощность, развиваемая насосной станцией, т.е. мощность, передаваемая жидкости насосом;

$P_{\text{элект}}$ – суммарная электрическая мощность, потребляемая приводами регулируемых насосных агрегатов и приводами насосов, работающих от сети. Электрическая мощность является измеряемым параметром, гидравлическая (полезная мощность) определяется формулой 6:

$$P_{\text{гидр}} = Q\rho gH, \quad (6)$$

где Q – подача насосной станции, м³/с;

ρ – плотность жидкости кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – полный напор насоса, м.

Полный напор насоса определяется по формуле 7:

$$H=Z_2 - Z_1 + \frac{p_2-p_1}{\rho g} + \frac{u_2^2-u_1^2}{2g}, \quad (7)$$

где Z – высота центра поперечного сечения трубопровода над эталонной плоскостью;

p – манометрическое давление, отнесенное к центру поперечного сечения;

u – средняя осевая скорость, определяемая отношением объемной подачи к площади поперечного сечения трубы» [4].

Необходимо постоянно оценивать эффективность функционирования насосных установок и принимать меры по их отключению в зависимости от динамики изменения этой эффективности.

«Типовой график КПД повысительной насосной станции, состоящей из пяти насосных агрегатов Wilo Helix V1603, представлен на рисунке 20. Данные на графике приведены за одну неделю» [4].

Номинальный КПД насосной станции по графику равен 55%.



Рисунок 20 – График изменения коэффициента полезного действия повысительной насосной станции

С помощью изменения напора и мощности при регулировании частоты вращения вала насоса для центробежных насосных агрегатов можно получить уравнения, которые приведены ниже.

«Напорная характеристика насоса определяется по формуле 8:

$$H = A_2 n^2 + B_2 Q n + C_2 Q^2, \quad (8)$$

где A_2 , B_2 , C_2 – коэффициенты, определяемые характеристиками насосного агрегата;

n – частота вращения рабочего колеса;

Q – расход, развиваемый насосным агрегатом.

$$\eta_{\text{гидр}} = \frac{(\rho g (A_2 n^2 + B_2 Q^2 n + C_2 Q^3)) \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пч}}}{A n^2 Q - B Q^2 n + D n^3}, \quad (9)$$

где A , B , D – коэффициенты, определяемые характеристиками насосного агрегата;

$\eta_{\text{дв}}$, $\eta_{\text{пч}}$ – КПД электродвигателя и преобразователя частоты.

Анализ уравнения (9) показывает, что характеристика КПД имеет один максимум, который и определяет зону оптимального использования насоса.

Напорные характеристики (уравнение (8)) и графики полного КПД насосного агрегата Wilo Helix V1603 (уравнение (9)) при различных частотах вращения его рабочего колеса показаны на рисунке 21» [4].

«Поэтому эффективность насосного агрегата будет низкой, если он длительное время работает в левой части своей рабочей зоны: с малым расходом и высоким давлением. Анализ результатов измерений показал, что насос мог находиться в этой зоне, если:

- работает один в сети со значительной статической составляющей, а требуемое давление превышает его номинальное давление;

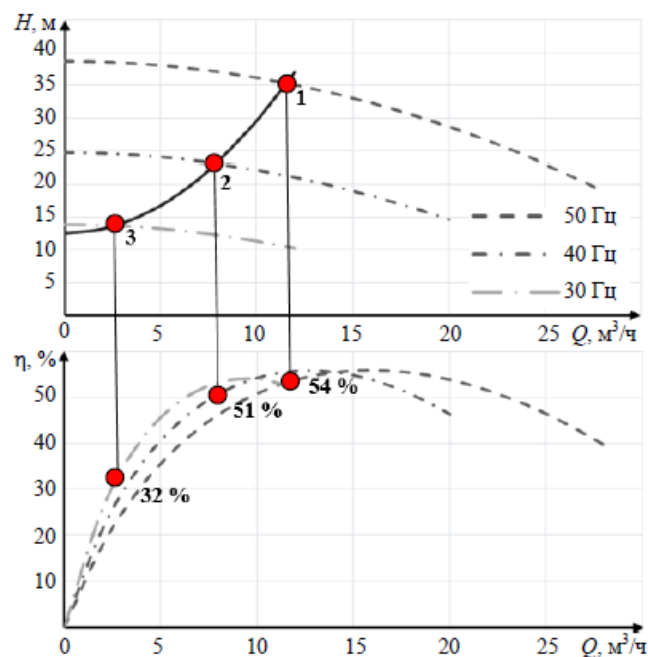


Рисунок 21 – Изменение коэффициента полезного действия регулируемого насосного агрегата

- одновременно на станции работают несколько насосных агрегатов в общем водопроводе, некоторые из них. работает напрямую от сети, а некоторые управляются с помощью преобразователей частоты.

Из-за взаимного воздействия насосов, регулируемых насосами, регуляторы могут работать в крайне неблагоприятных режимах. В результате этого некоторые насосы в группе могут работать с крайне низкими показателями КПД. Это приводит к значительному уменьшению КПД на насосном оборудовании» [4].

Для исключения неэффективных режимов работы регулируемого насосного агрегата предлагается определить мгновенный уровень его эффективности и приостановить работу, если она ниже порога заданной величины. Измеряется эффективность каждого насоса, исходя из его производительности и напоров. Напорная характеристика насоса определяется исходя из его паспортных напорных характеристик, а также текущей частоты оборотов его рабочей части.

Мы посмотрим, как изменяются КПД и давление насоса, если его отключить.

«В нижней части рисунка 22 горизонтальными полосами показаны периоды работы насосных агрегатов, в верхней части отображаются графики основных параметров работы насосной станции. Всего за сутки отключение насосов происходило три раза, в эти моменты проведены вертикальные прямые, фиксирующие параметры графиков. При этом ни при одном из отключений выходное давление станции не снижалось» [4].

Продолжительность пребывания насосных агрегатов, работающих на станции в неэффективных режимах, может изменяться во времени в очень широких пределах. Это зависит от многих факторов:

- изменения характеристик водопроводной сети;
- изменения в системе водопользования (водопользование на станции);
- состав группы активных насосных агрегатов и их характеристики.

Типичная циклограмма работы насосной станции представлена на рисунке 23. Если до улучшения на станции работали два-три насоса, то после улучшения часть времени работает только один насос. Да и общее время работы двух и трёх насосов существенно изменилось [30].

«КПД работы повысительной насосной станции, оснащенной группой насосных агрегатов, изменяется в зависимости от режима водопотребления и может быть значительно меньше паспортных значений. Это вызвано тем, что регулируемые насосные агрегаты выходят за пределы своей рабочей области и работают с крайне малыми расходами.

Если насосный агрегат работает с низким КПД, его влияние на уровень выходного давления станции минимально. При его отключении нагрузка перераспределяется между оставшимися насосными агрегатами и существенного падения давления на выходе насосной станции не происходит.



Рисунок 22 – Изменение коэффициента полезного действия насосной станции при отключении неэффективного насосного агрегата: 1 – заданное выходное давление; 2 – фактическое выходное давление; 3 – КПД насосной станции; 4 – частота регулируемого насоса

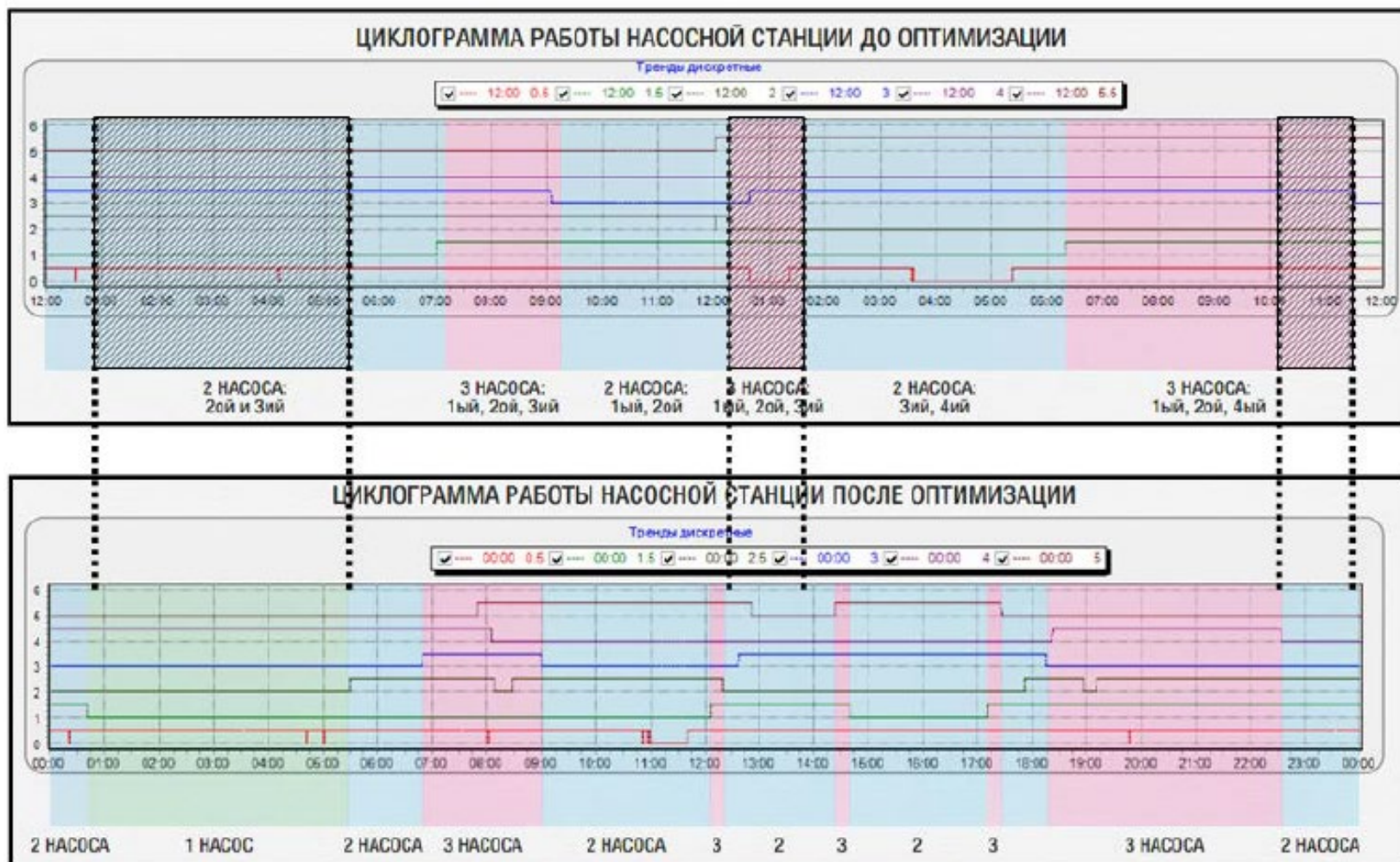


Рисунок 23 – Изменение коэффициента полезного действия насосной станции при отключении неэффективного насосного агрегата: 1 – заданное выходное давление; 2 – фактическое выходное давление; 3 – КПД насосной станции; 4 – частота регулируемого насоса

При исключении неэффективных режимов работы насосных агрегатов с использованием автоматизированных систем управления общее энергопотребление насосной станции снижается в среднем на 8–10 %. В процессе управления можно производить анализ правильности подбора насосных агрегатов под фактические режимы работы насосной станции, а также оценивать целесообразность замены насосных агрегатов на новые» [4].

2.3 Монтаж автоматизированного оборудования

В соответствии с нормативным документом СТО НОСТРОЙ 2.15.200-2016 работы по монтажу модульных автоматических насосных станций (МАНС) включают следующие пункты:

- проведение работ по подготовке основания под МАНС;
- установка модульной станции на пол;
- работа по присоединению МАНС к соответствующим трубопроводам.

«Помещение для установки МАНС должно иметь вентиляцию, обеспечивающую необходимое охлаждение электродвигателей насосов. Спереди и сбоку от места установки МАНС необходимо обеспечить свободное расстояние – один метр.

МАНС следует монтировать на ровной и твердой поверхности (бетонный пол или основание). Для снижения вибраций, обусловленных работой насосных агрегатов, движением воды в трубопроводах МАНС, вес бетонного основания должен превышать вес МАНС более чем в полтора раза [28].

Необходимо исключить возможность подтопления МАНС. Завершение монтажа МАНС на основание или фундамент следует оформлять актом и соответствующей записью в общем журнале производства работ.

Договором на монтаж МАНС может быть предусмотрена подготовка пола (основания) до монтажа МАНС за пределами обязательств подрядной организации, выполняющей монтаж МАНС. В этом случае монтажная

организация, обеспечивающая монтаж МАНС, должна провести приемку пола (основания) при приемке площадки (помещения) для производства работ с отражением результатов в акте готовности объекта к производству работ по монтажу МАНС.

Размещение МАНС на пол (основание) в месте монтажа следует осуществлять с учетом направления течения жидкости через насосы в составе МАНС исходя из положения подающих (подводящих) и принимающих (напорных) трубопроводов и их фактического положения, и содержания рабочей документации» [14].

Также указывается, что оборудование следует подключать через фланцевое соединение с устройством компенсирующих вставок.

На рисунке 24 показан пример подключения мобильного повышающего насоса к водопроводу.



Рисунок 24 – Подключение небольшого повышающего насоса к системе водоснабжения

Диаметры трубопроводов должны быть равны диаметрам патрубков модульной станции. В случае больших скоростей – больше 5 м/с, требуется установка компенсирующих вставок с большим диаметром.

Не допускается возникновение внутренних деформаций в коллекторе и трубопроводе.

На рисунке 25 показана схема подключения насоса повышения давления к существующей системе водоснабжения.

На рисунке 26 приведен пример комплекта поставки модульной автоматической насосной станции.

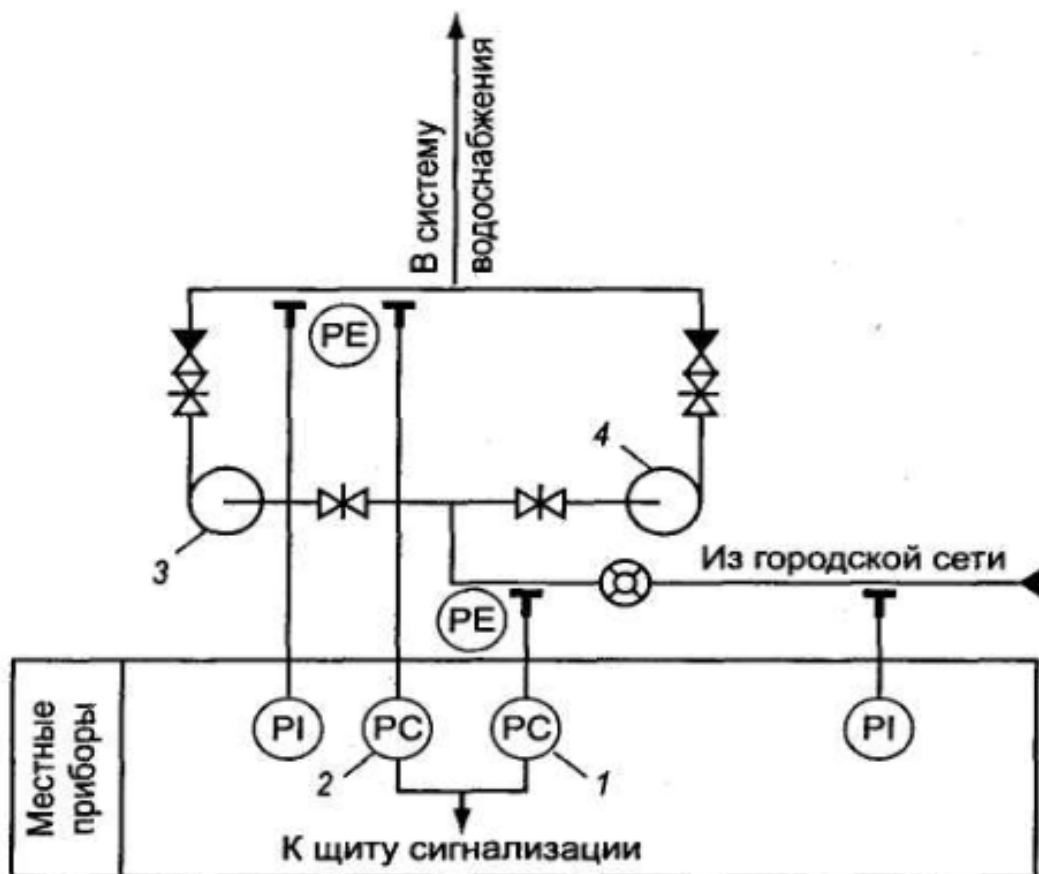
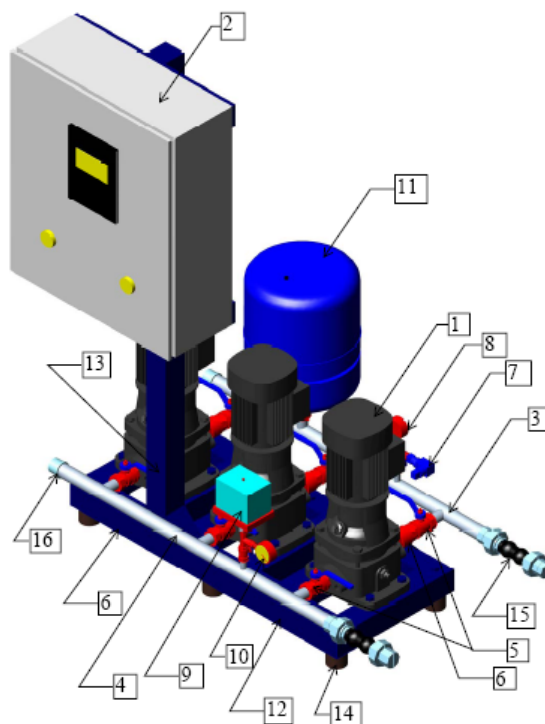


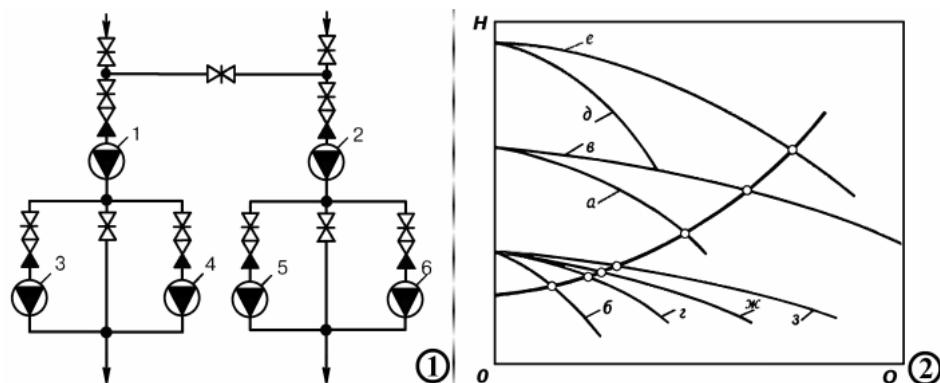
Рисунок 25 – Схема подключения повысительного насоса к системе водоснабжения



1 – насосы; 2 – щит управления ЩУ; 3 – напорный коллектор; 4 – всасывающий коллектор; 5 – запорная арматура; 6 – обратные клапаны; 7 – датчик давления; 8 – манометр; 9 – датчик давления; 10 – мановакуумметр; 11 – мембранный гидробак; 12 – станция-основание; 13 – стойка щита управления; 14 – виброопоры; 15 – резиновые компенсаторы; 16 – заглушки

Рисунок 26 – Стандартная поставка МАНС с вертикальными многоступенчатыми насосами

Большое значение имеет компоновка насосных установок между собой. Они могут быть как параллельно соединены между собой, так и последовательно (рисунок 27). Важно обеспечить большое количество рабочих точек во всем диапазоне напоров и подач.



1 – схема соединения насосов; 2 – график совместной работы насосов и водовода;

Рисунок 27 – Последовательно-параллельное соединение насосов

Контроль результатов монтажных работ. Контроль результатов осуществляется по окончании проведения работ. Он включает в себя:

- «предъявление результатов монтажных работ на объекте, контроль качества их исполнения и соответствия требованиям проектной и рабочей документации, а также требованиям инструкции (руководства) завода-изготовителя по монтажу и эксплуатации МАНС;
- оформление и передачу исполнительной документации;
- при предъявлении результатов работ по монтажу МАНС должно быть проверено соответствие результатов работ требованиям проектной и рабочей документации, а также требованиям завода-изготовителя» [14].

2.4 Эксплуатация автоматизированной насосной станции

При работе с насосной станцией большое значение имеет возможность своевременно реагировать на возникающие ошибки, нарушения в деятельности насосных агрегатов. Также важно в реальном времени иметь полное представление о состоянии системы водоснабжения, режиме работы насосного оборудования. Все эти вопросы решает применение диспетчеризации и автоматизации насосных станций [27].

Так, если рассматривать большую территорию, с расположенным на ней многочисленным оборудованием, то вариант с ручным управлением агрегатов и механизмов со стороны работников станций не будет отвечать вопросам безопасности, надежности и экономичности в вопросе обеспечения потребителей водой.

Рациональное управление крупными и сложными водопроводными установками предполагает централизованное управление из диспетчерских пунктов, где весь персонал подчинен единому руководству. Эффективное функционирование такой системы требует внедрения новых технических

средств, позволяющих автоматически контролировать и управлять оборудованием на расстоянии, обеспечивать его защиту, фиксировать важные параметры и проводить непрерывные измерения различных величин.

По способу управления насосные станции могут быть выполнены или полностью автоматизированными, или полуавтоматическими с дистанционным управлением насосных агрегатов и задвижек в насосных станциях и в распределительной сети [31].

В качестве иллюстрации рассмотрим систему водоснабжения крупного промышленного района, оснащенную системами очистки и множеством резервуаров. Вода берется из водохранилища и проходит через несколько ступеней подъема. Централизованное управление всеми установками осуществляется из главного диспетчерского пункта, а оперативное управление – из местных диспетчерских пунктов (МДП), чей персонал подчинен главному районному диспетчеру, координирующему работу всей системы водоснабжения.

Управление осуществляется по полуавтоматической схеме, позволяющей запускать и останавливать насосные агрегаты и задвижки, а также контролировать и сигнализировать о состоянии объектов. Местные диспетчерские пункты находятся в зданиях подстанций на насосных станциях

Диспетчер, находящийся возле пульта управления, имеет возможность наблюдать за положением выключателей, насосов и трансформаторов, а также за положением задвижек на водопроводах, изменением расхода, давления в сети и уровнем воды в резервуарах [25].

Так, на рисунке 28 приведено фото рабочего места диспетчера по контролю над процессами автоматизации.

Для обеспечения оптимальной работы автоматизированной повысительной насосной станции необходимо решить ряд вопросов, связанных с диспетчеризацией и автоматизацией процесса управления. Во-первых, необходимо обеспечить постоянный мониторинг и контроль работы станции, чтобы своевременно выявлять и устранять возможные сбои или неисправности.

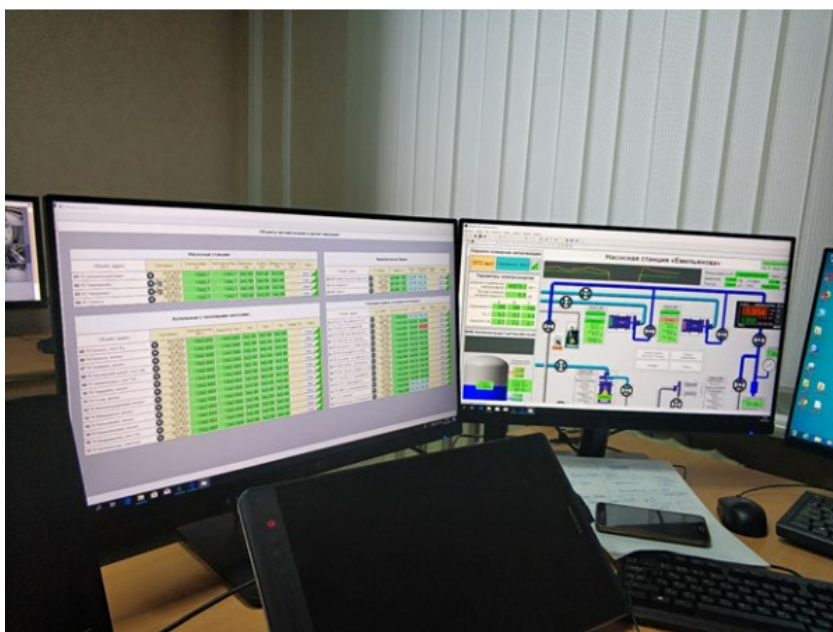


Рисунок 28 – Автоматизированное рабочее место диспетчера. Центральный диспетчерский пункт

Для этого используются современные системы автоматизации и управления, которые позволяют удаленно контролировать работу станции и оперативно реагировать на возможные проблемы. Так, на рисунке 29 показан пример осуществления диспетчеризации насосной станции [32].



Рисунок 29 – Пример диспетчеризации насосного оборудования под управлением приборов Wilo

Для оптимизации работы повысительной насосной станции также важно проводить регулярное техническое обслуживание и профилактические работы. Это поможет предотвращать аварийные ситуации и увеличивать срок службы оборудования. Для автоматизации процесса технического обслуживания также используются специализированные программы и технологии, которые позволяют проводить работы более эффективно и точно.

На рисунке 30 приведен пример мнемосхемы насосной станции «Емельянова».

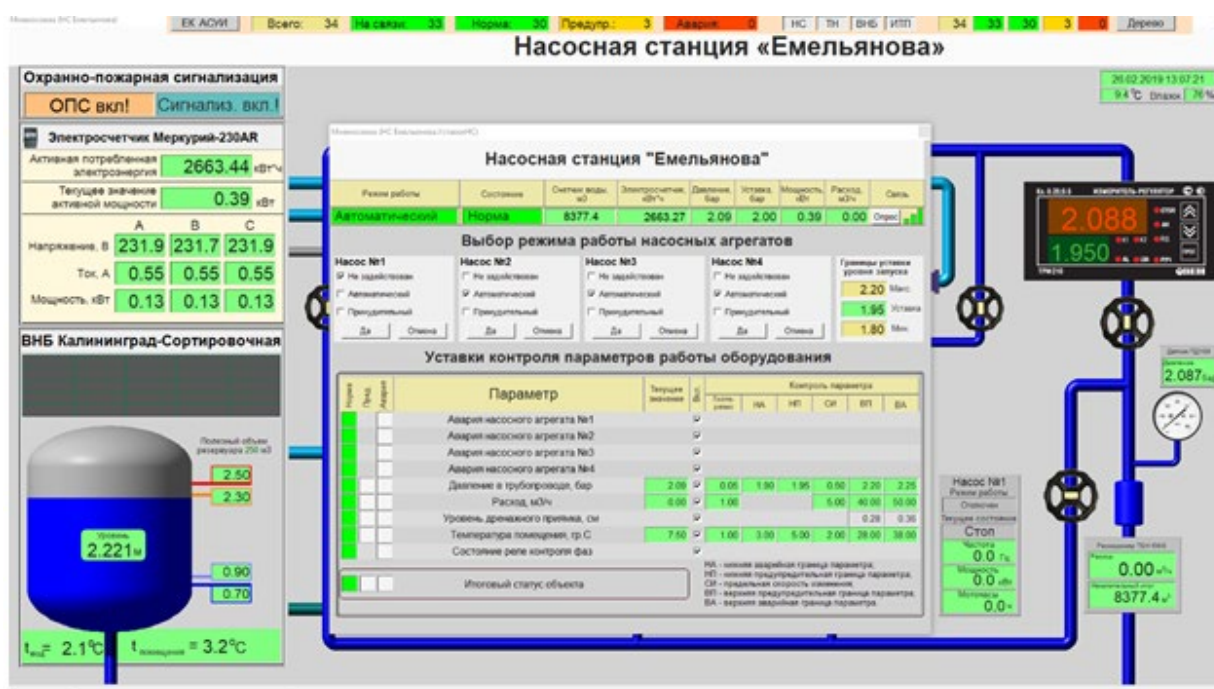


Рисунок 30 – Мнемосхема насосной станции «Емельянова». Окно рабочих вставок

Плюсы и минусы использования автоматизированных насосных станций. Плюсы эксплуатации таких станций включают в себя:

- повышение давления воды. Автоматизированные насосные станции способны эффективно повысить давление в системе, что делает возможным нормальное функционирование сантехнического оборудования даже на верхних этажах дома;

- экономия ресурсов. Благодаря возможности регулировать расход воды и давление, эксплуатация насосных станций позволяет существенно сэкономить воду и электроэнергию;
- удобное управление. Современные насосные станции обычно оснащены автоматическим контроллером, который позволяет легко настраивать и контролировать параметры работы системы.

Однако существуют и минусы использования автоматизированных насосных станций:

- риск аварии. В случае отказа насосной станции, весь дом может остаться без воды, что создаст серьезные неудобства для жильцов;
- необходимость технического обслуживания. Для стабильной работы системы требуется регулярное обслуживание и проверка состояния оборудования специалистами;
- затраты на приобретение и установку. Стоимость автоматизированных насосных станций может быть довольно высокой, а также требуется определенные затраты на их установку и подключение к системе водоснабжения.

Выводы по 2 главе.

Автоматизированные повысительные насосные станции играют важную роль в системах водоснабжения, обеспечивая надежное и эффективное подачу воды к потребителям. Эти станции обеспечивают поддержание нужного давления в трубопроводах, обеспечивая постоянное и равномерное распределение воды по всей системе.

В целом, эксплуатация автоматизированных повысительных насосных станций в системах водоснабжения требует комплексного подхода, который включает в себя диспетчеризацию, автоматизацию, техническое обслуживание и оптимизацию энергопотребления. Только при соблюдении всех этих условий можно обеспечить надежное и эффективное функционирование системы подачи воды и обеспечить комфортные условия для потребителей.

Глава 3 Реконструкция повысительных насосных станций холодного водоснабжения

3.1 Краткая характеристика объекта реконструкции

В качестве объекта по модернизации для научно-исследовательской работы примем повысительную насосную станцию холодного водоснабжения АО «Мосводоканал», расположенную в городе Москва.

Повысительная насосная станция расположена в подвале тринадцатизэтажного здания 1957 года постройки, по адресу: 115280, г. Москва, Автозаводская ул., д.5 (рис. 31, 32).

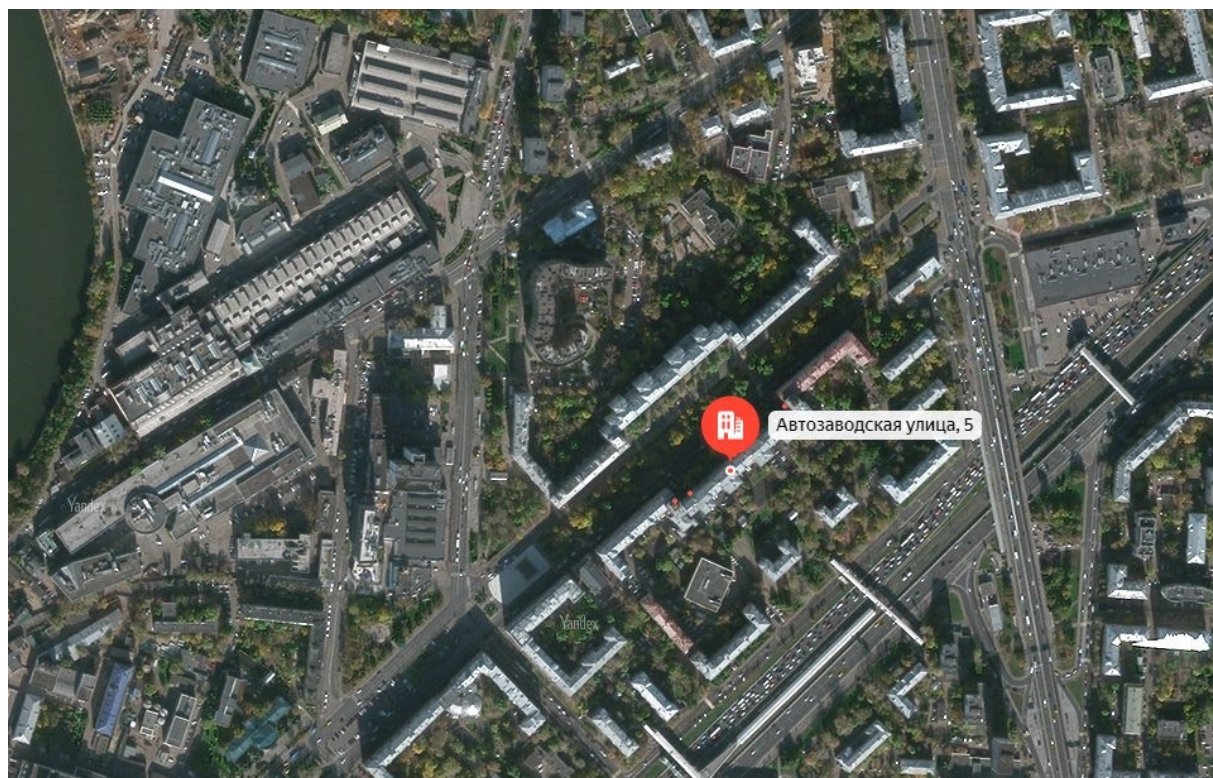


Рисунок 31 – Объект реконструкции на карте г. Москвы

Оборудование эксплуатируется и обслуживается АО «Мосводоканал». Актуальные ТЭП оборудования – в СНС АО «Мосводоканал».



Рисунок 32 – Жилой дом исследуемой ПНС

Здание расположено в климатическом районе II-B, ветровом районе I, снеговом районе III; интенсивность сейсмических воздействий - 5 баллов. Назначение станции – хозяйственно-питьевой водопровод. Категория водоснабжения - 3, категория электроснабжения – 3. Байпас ПНС предназначен для использования при необходимости отключения станции в случае обслуживания или аварийной ситуации. Задвижка на байпасной линии опломбирована и находится в нормально-закрытом положении.

Основные показатели существующей системы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели системы ХВС

Характеристики существующей системы	Ед. изм.	Значение
1	2	3
Требуемый напор, Н	м	49
Требуемый расход, Q	м ³ /ч	100
Требуемая мощность системы, N	кВт	30
Перекачиваемая жидкость	–	Вода
Температура перекачиваемой жидкости, t	°С	20

3.2 Подбор вариантов насосного оборудования ПНС

Так, исходя из характеристик системы ХВС, представленных выше, произведем выборку подходящих ПНС, которые обеспечат максимальный КПД при наименьших затратах и будут доступны на российском рынке в качестве импортозамещения.

В первую очередь рассмотрим российского производителя насосного оборудования ANTARUS. Установки данного бренда используются как в жилых и коммерческих объектах, так и в ресурсогенерирующих компаниях.

На рисунках 33, 34 приведены наиболее подходящие под исходные требования установки из каталога ANTARUS.

L	1 750 мм
L1	1 500 мм
H	1 650 мм
Hр	219 мм
B	1 564 мм
B1	1 229 мм

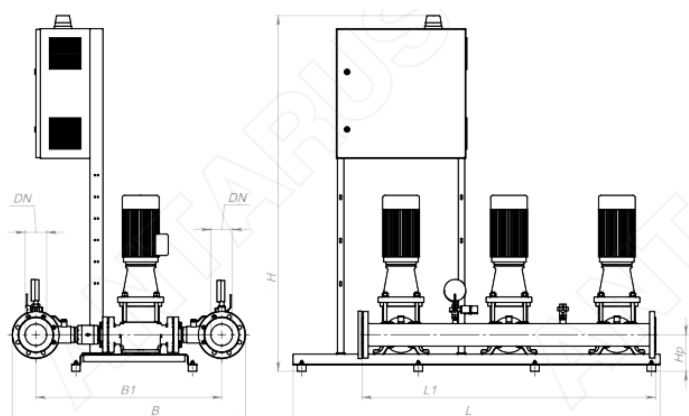


Рисунок 33 – Насосная установка повышения давления ANTARUS X 3 MLV64-2

L	1 750 мм
L1	1 500 мм
H	1 650 мм
Hр	219 мм
B	1 564 мм
B1	1 229 мм

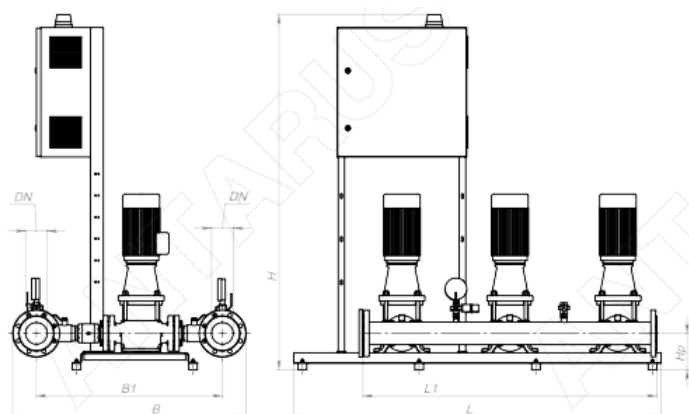


Рисунок 34 – Насосная установка повышения давления ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS

Следующей в подборке является испанская компания ESPA, экспортирующая насосное оборудование более чем в 130 стран мира. «Вся производимая и поставляемая компанией ESPA GROUP продукция соответствует Высшим Европейским и Российским стандартам качества: Система менеджмента качества ISO 9001:2000 Система сертификации ГОСТ Р Госстандарта России» [22].

На рисунке 35 приведена насосная станция из ESPA, подходящая под наши требования [24].



Рисунок 35 – Насосная установка повышения давления ESPA VS25

Заключительная компания в подборке – WILO. Промышленный завод по разработке насосного оборудования был открыт в Ногинске в 2016 году. «Здесь проводится сборка насосных систем на 12 сборочных линиях, а испытания и контроль качества готовой техники осуществляются на 6 испытательных трубопроводах. Завод оснащен большим испытательным стендом (БИС) с бассейном глубиной 6 метров и объемом около 1 тысячи кубических метров. БИС позволяет нам тестировать и проверять нашу продукцию на соответствие высоким стандартам качества» [19].

На рисунке 36 приведена схема насосной установки повышения давления Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe.

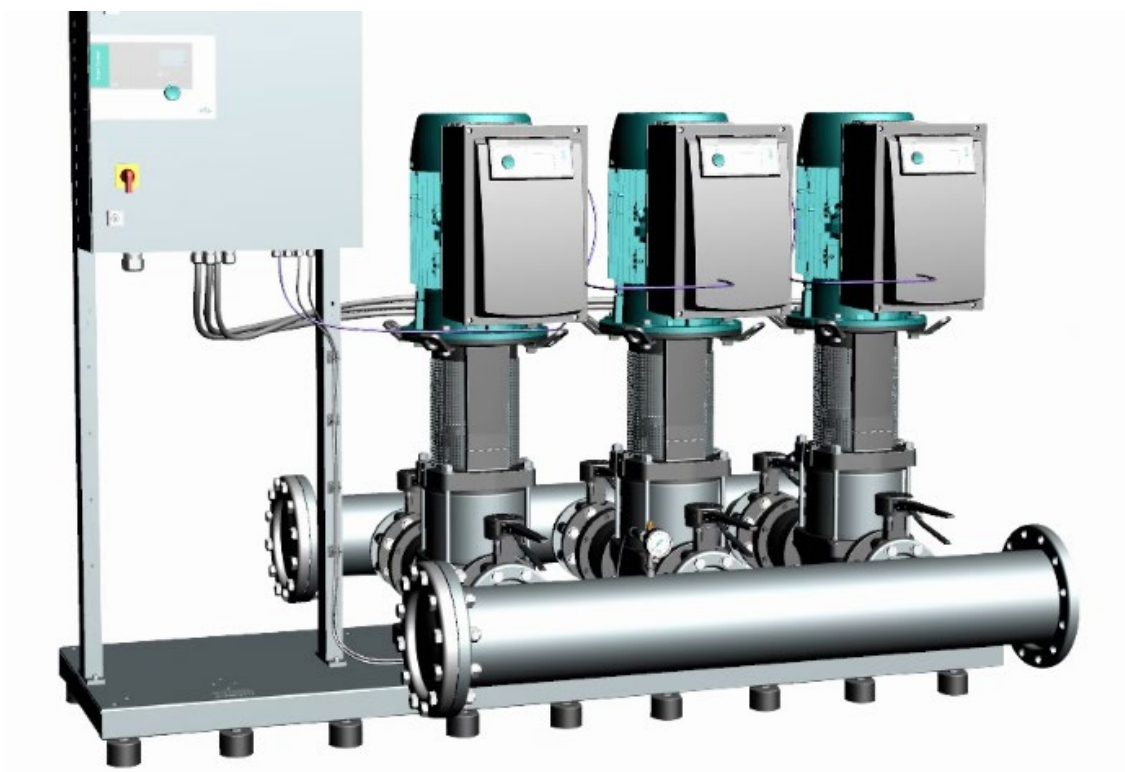


Рисунок 36 – Насосная установка повышения давления Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe

3.3 Диспетчеризация GRPS в насосных установках водоснабжения

Водоснабжение – это не простая система, которая формируется огромным количеством модулей. Их главной задачей является предоставление потребителям воды в достаточном количестве. В ручном режиме управлять данной системой сложно, требуется участие многих специалистов, что приводит к дополнительным эксплуатационным расходам. Это также значительно увеличивает вероятность влияния «человеческого фактора», который следует минимизировать. В такой ситуации следует применить диспетчеризацию и автоматизацию системы. Электроника имеет возможность держать все модули водоснабжения под единым контролем и вовремя

реагирует на отклонения, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации и не допускает аварийной ситуации [33].

«Диспетчеризация водоснабжения – потребность, объясняющаяся большими расстояниями между отдельными системными элементами. Чтобы координировать их работу, необходимо обустроить диспетчерские пункты. Грамотный подход к обустройству такой системы, максимальная степень ее автоматизации – это гарантии того, что производительность увеличится, перерасход ресурса исключится, удастся избежать ошибок, так как все процессы будут контролироваться автоматикой» [23].

«Основные цели диспетчеризации:

- сбор информации с каждого из технологических объектов с последующей обработкой. Это позволяет контролировать состояние объектов, вносить корректировки, управлять их работой;
- экономия ресурсов за счет более рационального их расходования;
- повышение уровня безопасности всей системы, своевременное обнаружение отклонений, принятие мер, ввиду которых удастся избежать тяжелой аварийной ситуации.

Диспетчеризация даст возможность решить ряд задач:

- стабильная подача воды при соблюдении определенного сетевого давления;
- перманентный контроль над функционированием технологических модулей, что обеспечивает общую надежность;
- сбор информации, ее дальнейшее сохранение и обработка, что позволяет вести статистику, делать экспертные выводы относительно производительности системы;
- минимальное время реагирования на аварийные ситуации;
- сокращение эксплуатационных расходов ввиду минимального расхода энергии, кроме того, сокращается расходная ведомость предприятия посредством оптимизации штата;

- автоматическая подача воды в магистраль, поддержание заданного давления и в магистральной трубе, и в ответвлениях, и в конечных потребительских пунктах» [23].

«Все больше предприятий переходят на диспетчеризацию. Главным образом, это объясняется экономическим эффектом. Сокращение расходов достигается за счет:

- оптимизации штата персонала, обслуживающего оборудование;
- снижения расходов энергии;
- рационального использования ресурса техники.

Вдобавок к финансовой экономии, значительно увеличивается уровень безопасности комплекса водоснабжения, сводится к минимуму вероятность аварии и, как следствие, значительных потерь, в том числе денежных» [23].

3.4 Сравнительный анализ характеристик выбранного оборудования

Так, мы имеем 4 насосные установки повышения давления на выбор:

- ANTARUS X 3 MLV64-2;
- ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS;
- ESPA VS25;
- Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe.

При подборе насосной установки важно учитывать многие факторы. Так, одним из способов является определение рабочей точки исходных параметров системы на графике производителя оборудования. Если данный показатель выбран правильно, тогда работа ПНС будет эффективной и оптимальной.

Проанализируем технические параметры представленных выше установок, исходя из графиков производителей.

На рисунках 37, 38 мы видим, что рабочая точка отражает запрашиваемые параметры ($H=49$ м, $Q=100$ м³/ч) и располагается внутри

диапазона наибольшей эффективности. Это означает, что подобранная установка будет работать с максимальным КПД, используя минимальное количество энергии для перекачивания требуемого расхода на необходимый напор.

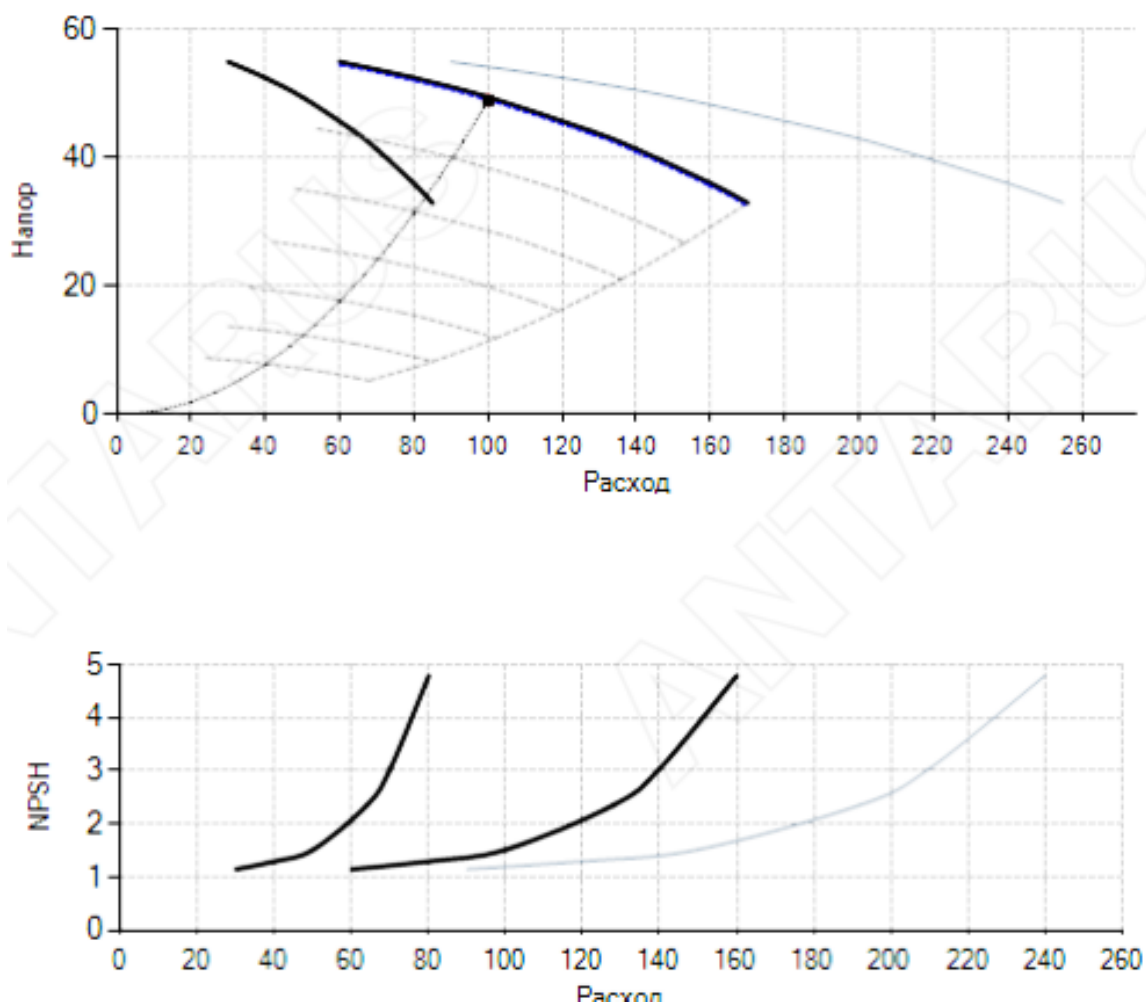


Рисунок 37 – График производительности насосной установки ANTARUS X3 MLV64-2

Исходя из данных рисунка 39 и таблицы 2, делаем вывод, что для нормальной работы установки необходимо 4 насоса ESPA MULTI VS25. Однако мы видим, что рабочая точка расположена в месте падения графика. При увеличении расхода воды, наблюдается нехватка запаса производительности оборудования.

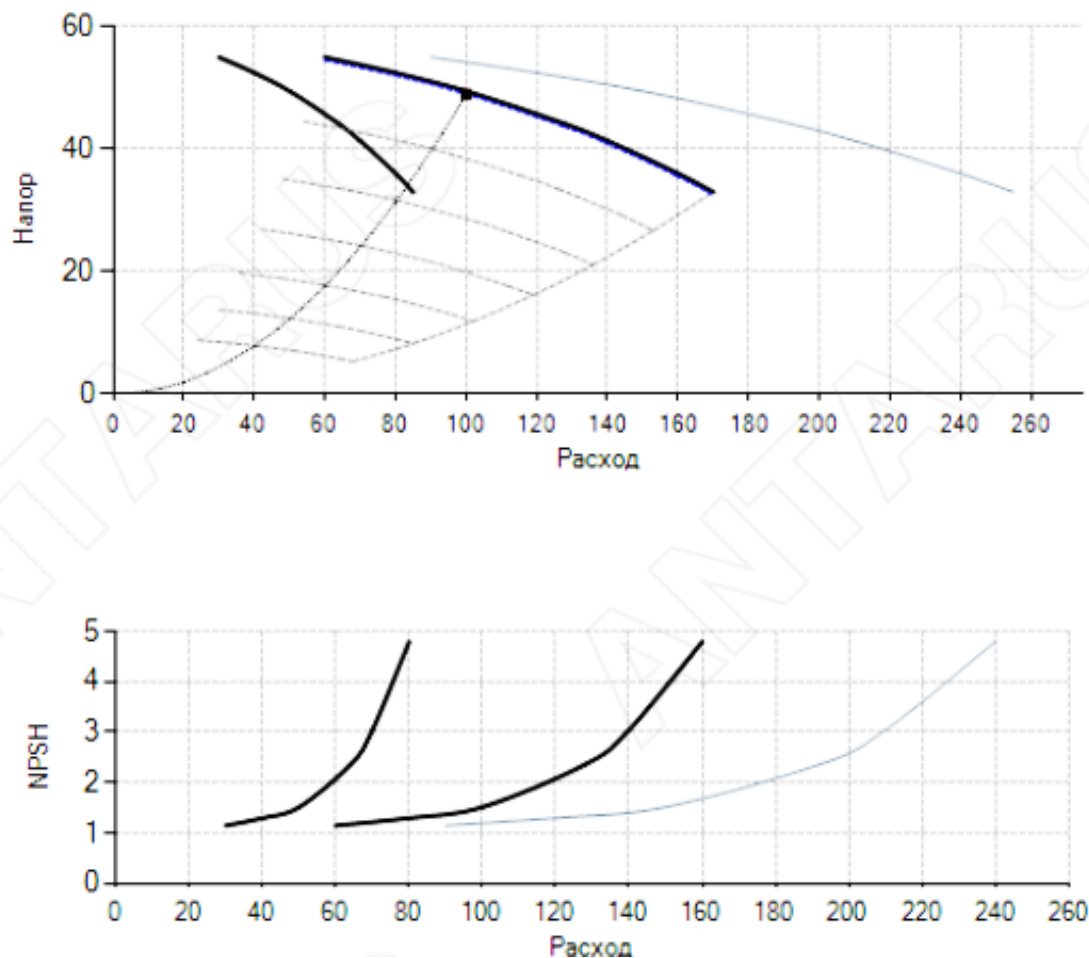


Рисунок 38 – График производительности насосной установки ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS

Таблица 2 – Таблица гидравлических характеристик (MULTI VS25)

Модель	Подача, м ³ /ч	0	9,0	17,0	25,0	30,0	35,0
MULTI VS25 01	Напор, м	20,7	20,0	18,8	17,8	14,8	12,3
MULTI VS25 02		41,4	39,9	37,5	35,6	29,7	24,6
MULTI VS25 03		62,1	59,9	56,3	53,4	44,5	36,9
MULTI VS25 04		82,8	79,8	75,0	71,2	59,4	49,2
MULTI VS25 06		124,2	119,7	112,5	106,7	89,0	73,8
MULTI VS25 08		165,6	159,6	150,0	142,3	118,7	98,4

Последним рассмотрим график насосной установки WILO - Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe. Как и в случае с ANTARUS, наблюдается удачное расположение рабочей точки в зоне высокой эффективности (рисунок 40).

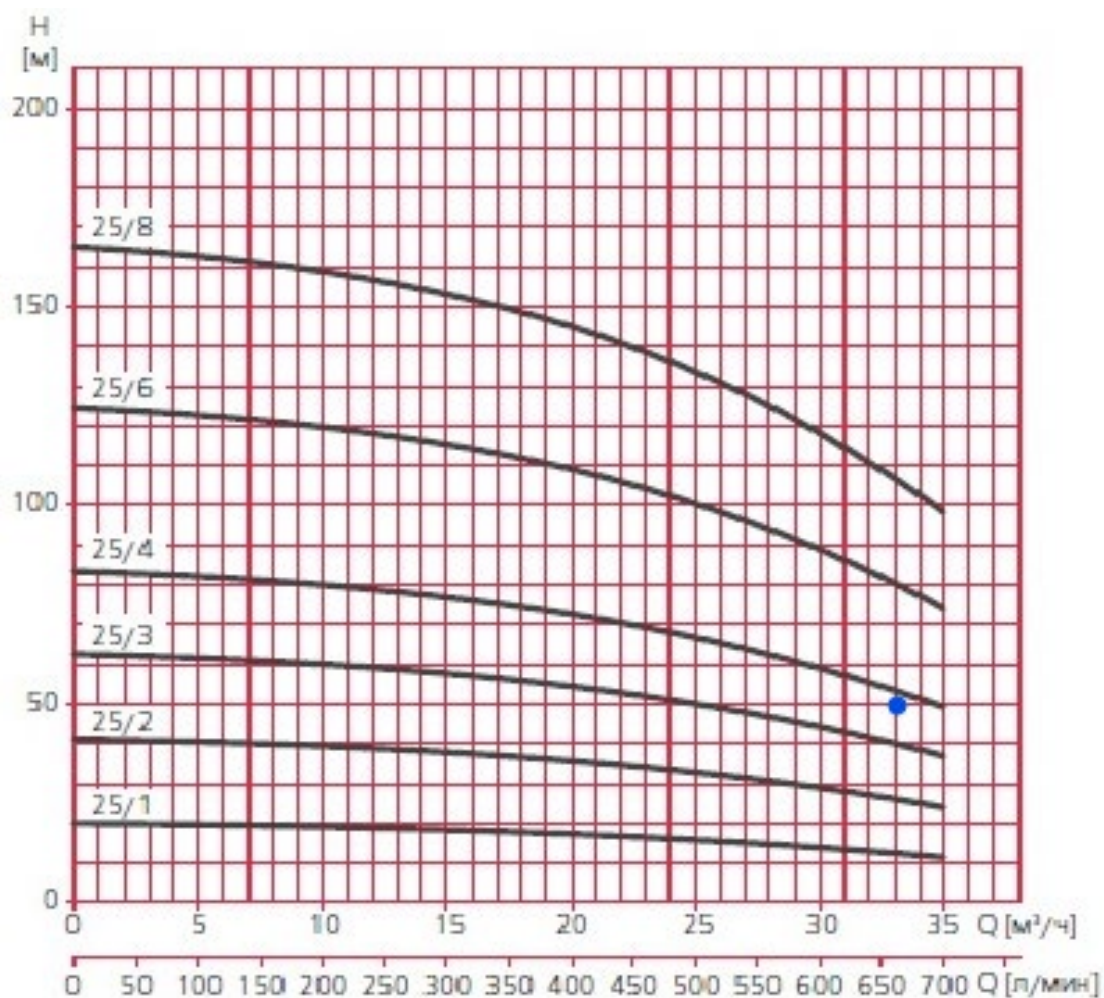


Рисунок 39 – График производительности насосной установки ESPA MULTI VS25

Так, составим сводную таблицу по основным параметрам представленных установок. Самой подходящей ПНУ является ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS с системой диспетчеризации. В первую очередь данное оборудование имеет соответствующую исходным характеристикам сети мощность (11кВт для одного насоса). Также немаловажным фактором является удачное расположение рабочей точки на графике производительности данной установки. Единственным минусом является ее относительно высокая стоимость.

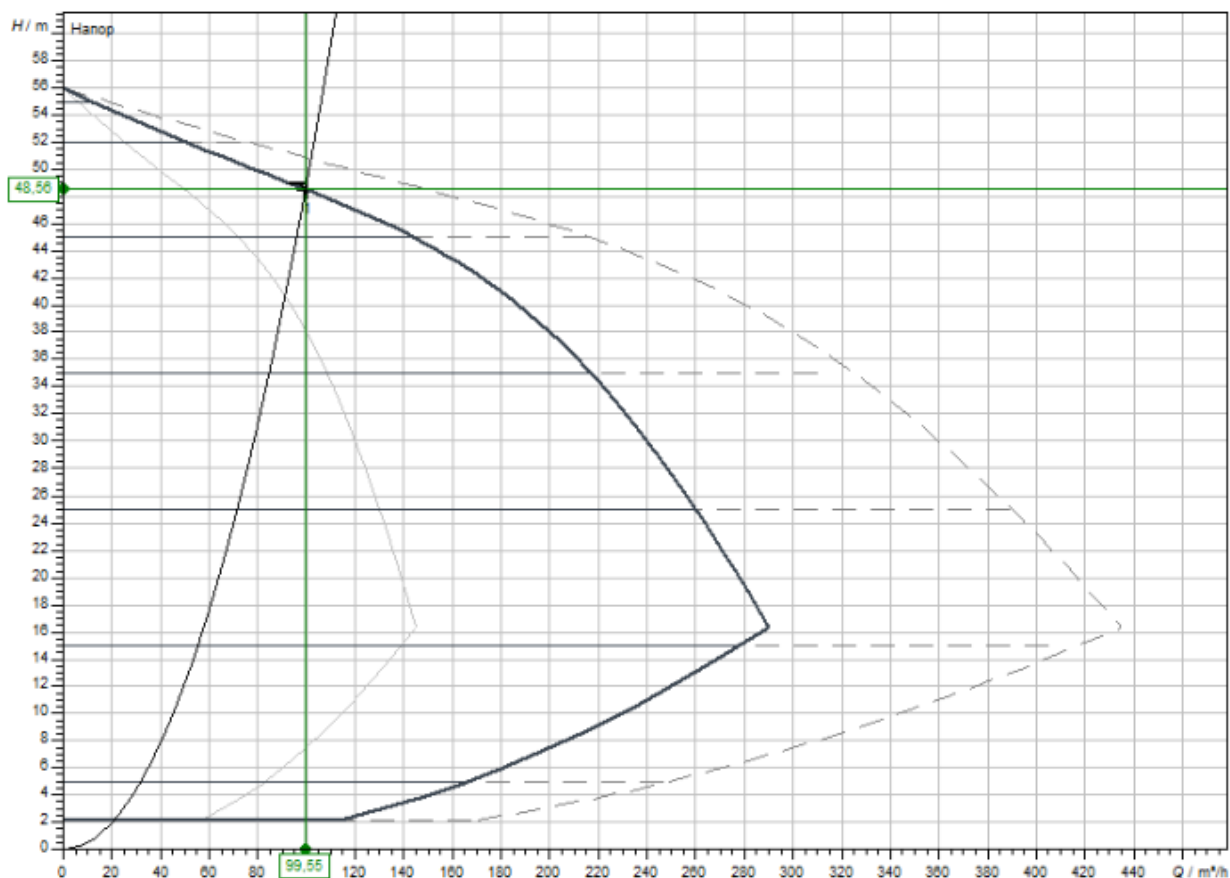


Рисунок 40 – График производительности насосной установки Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe

Поскольку ANTARUS – российский бренд, выбранная нами установка отлично зарекомендует себя в рамках программы по импортозамещению.

Таблица 3 – Сводная таблица параметров установок повышения давления

ПНУ	Мощность насоса, кВт	Расположение рабочей точки	Цена, тыс. руб.	Наличие диспетчеризации	Кол-во насосов
ANTARUS X3 MLV64-2	11	В зоне эффективности	559,9	Нет	3
ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS	11	В зоне эффективности	610,2	Да	3
ESPA MULTI VS25	2	На спаде производительности	424,9	Нет	4
Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe	15	В зоне эффективности	Цена по запросу	Да	3

Так, мы получили наглядное распределение характеристик подобранных насосов в зависимости от искомых показателей.

Выводы по 3 главе.

Таким образом, в данной главе диссертации был произведен анализ четырех установок повышения давления, таких как:

- ANTARUS X 3 MLV64-2;
- ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS;
- ESPA VS25;
- Comfort-Vario COR-3 MVIE 9502/1/SCe.

Подробно изучив графики производительности каждой установки, а также основные рабочие параметры, мы сделали выбор в пользу ANTARUS 3 MLV64-2/GPRS с системой диспетчеризации. Данная модель отлично подойдет для реконструкции насосной станции тринадцатипятиэтажного здания 1957 года постройки, по адресу: 115280, г. Москва, Автозаводская ул., д.5.

Заключение

Эксплуатация повысительной насосной станции в водоснабжении является одним из ключевых аспектов обеспечения надежной работы системы водоснабжения. Повысительная насосная станция предназначена для подачи воды в систему водоснабжения с помощью насосов, что позволяет поддерживать необходимое давление и обеспечить нормальное функционирование системы.

При выборе повысительной насосной станции необходимо учитывать ряд критериев, которые определяют эффективность и надежность работы оборудования. Один из основных критериев выбора - это производительность насосной станции, которая должна соответствовать потребностям системы водоснабжения. Также важно учитывать максимальное давление, которое может обеспечивать насос, чтобы гарантировать нормальную подачу воды.

Другим важным критерием выбора является надежность и долговечность насосной станции. Оборудование должно быть изготовлено из высококачественных материалов и иметь надежную конструкцию, чтобы обеспечить длительный срок службы без поломок и сбоев. Также необходимо учитывать энергоэффективность насосной станции, чтобы минимизировать энергопотребление и снизить эксплуатационные расходы.

Также следует обратить внимание на возможность управления насосной станцией с помощью автоматической системы, что позволит управлять работой оборудования и контролировать его состояние дистанционно.

Таким образом, вопросы выбора и эксплуатации повысительной насосной станции требуют внимательного и компетентного подхода. Учитывая все вышеперечисленные критерии, можно обеспечить надежную работу системы водоснабжения и обеспечить постоянный доступ к чистой и качественной воде.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Водоснабжение. Г.И. Николадзе, М.А. Сомов, 1995 г.
2. Груздева, Е. Н. Установки повышения давления (бустерные установки) / Е. Н. Груздева // Энергетика Татарстана. – 2006. – № 3. – С. 80-82. – EDN KWGPGF.
3. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение: Проектирование систем и сооружений. Учеб. – М.: АСВ, 2003 г.
4. Здор, Г. Н. Автоматическое управление группой насосных агрегатов с целью снижения затрат электроэнергии / Г. Н. Здор, А. В. Сеницын, О. А. Аврутин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2017. – Т. 60, № 1. – С. 54-66. – DOI 10.21122/1029-7448-2017-60-1-54-66. – EDN XRUXTR.
5. Ильин В.Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. // Киев, Госстройиздат УССР, 1963 г.
6. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М.: ООО «Бастет», 2010 г.
7. Кутузов, А. В. Выбор насосной станции для повышения давления / А. В. Кутузов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2014. – № 6(150). – С. 40-43. – EDN TWKDJV.
8. Петровнин, Д. Н. Диспетчеризация насосных станций / Д. Н. Петровнин // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы IV Национальной научно-практической конференции, Казань, 06–07 декабря 2018 года / Казанский государственный энергетический университет. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 263-265. – EDN RNIJFK.
9. Сатцаев, Т. Р. Применение автоматизированных систем водоснабжения с погружными электронасосами и станцией 2-го водоподъёма / Т. Р. Сатцаев, К. Х. Калоев, М. Т. Магкоев // Научные труды студентов

Горского государственного аграрного университета "Студенческая наука - агропромышленному комплексу": Сборник научных трудов, Владикавказ, 12–13 марта 2024 года. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2024. – С. 141-144. – EDN OXSUFN.

10. Совмещенные установки повышения давления и противопожарного водопровода SmartStation // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2024. – № 1(109). – С. 8-9. – EDN TEPORS.

11. Турк В.Н., Минаев А.В., Карелин В.Я. «Насосы и насосные станции. Учебник для вузов». М., Стройиздат, 1976 г.

12. Чебанов В.Б. «Системы автоматического управления насосными станциями», «Водоснабжение и санитарная техника» №1.1994 г.

13. Чебанов В.Б. «Технико-экономические аспекты применения регулируемого электропривода в насосных установках», «Водоснабжение и санитарная техника» №1.2012 г.

14. Энергоэффективные установки повышения давления СКЕ от ESPA // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2014. – № 12(156). – С. 29. – EDN TWKCDX.

15. СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий».

16. СТО НОСТРОЙ 2.15.200-2016.

17. СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация».

18. СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

19. Патент № 2623585 С1 Российская Федерация, МПК F04D 15/00, F04D 13/14. Способ повышения энергоэффективности установок повышения давления с центробежными электроприводными насосами, управляемыми преобразователями частоты по закону ПИД-регулирования: № 2016136317: заявл. 09.09.2016 : опубл. 28.06.2017 / С. А. Каргин. – EDN SJNQAИ.

20. Патент № 2674842 С2 Российская Федерация, МПК F04В 49/06. Установка повышения давления воды и способ ее управления: № 2015148490: заявл. 14.04.2014 : опубл. 13.12.2018 / Р. А. Мюллер ; заявитель ПЕНТЕЙР ФЛОУ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ЛЛС. – EDN WHRJCQ.

21. <https://wilo.com/ru/ru/O-Нас/>.
22. <https://o-vode.net/vodosnabzhenie>.
23. <https://controleng.ru/otraslevye-resheniya>.
24. <https://espa.ru/>.
25. <https://www.system-p.ru/dispetcherizaciya-vodosnabzheniya/>.
26. Berlin, V. V. Characteristic Features of the Startup of Pump Units in Process-Water-Supply Systems for Thermal and Atomic Electric Power Plants with Long Conduits and Large Lower-Pool Fluctuations / V. V. Berlin, O. A. Murav'ev // *Hydrotechnical Construction*. – 2000. – Vol. 34, No. 11. – P. 542-547. – EDN AMUSTP.
27. Huse, S. N. Development of Smart Water Supply System for University Water Supply Through Automation and Real-Time Operations / S. N. Huse, R. D. Kale, V. P. Dhote // *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. – 2020. – Vol. 101, No. 5. – P. 497-510. – DOI 10.1007/s40031-020-00459-4. – EDN ONFYQD.
28. Intelligent infrastructure (critical) of the water supply network for collective water supply systems - a case study / P. Małka, K. Gaska, E. Wysowska [et al.] // *Desalination and Water Treatment*. – 2022. – Vol. 274. – P. 1-6. – DOI 10.5004/dwt.2022.28917. – EDN RPRLYX.
29. Kikomeko, S. Development of optimal pump schedules for improved energy efficiency in water supply systems (case of NWSC) / S. Kikomeko, J. Sempewo // *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. – 2022. – Vol. 15, No. 7. – P. 23-34. – DOI 10.4314/ijbcs.v15i7.3s. – EDN EWEXUB.
30. Leznov, B. S. Application of an adjustable electric drive in pump units of water-supply and water-pumping systems / B. S. Leznov, V. B. Chebanov // *Elektrotehnika*. – 1995. – No. 7. – P. 9-12. – EDN JRFRKQ.
31. Nikolenko, I. V. Parallel Operation Mode Optimization of Different-Type Centrifugal Pumps of a Water Supply Booster Pumping Station / I. V. Nikolenko, A. N. Ryzhakov // *2020 International Conference on Dynamics and Vibroacoustics*

of Machines, DVM 2020, Samara, 16–18 сентября 2020 года. – Samara, 2020. – P. 9243886. – DOI 10.1109/DVM49764.2020.9243886. – EDN SDJZUU.

32. Optimization and validation of pumping system design and operation for water supply in high-rise buildings / T. M. Müller, Ph. Leise, I. S. Lorenz [et al.] // Optimization and Engineering. – 2021. – Vol. 22, No. 2. – P. 643-686. – DOI 10.1007/s11081-020-09553-4. – EDN EELPBX.

33. Sekulich, G. Pressure-boosting pumping stations in the modernization of water supply systems / G. Sekulich, I. Chipranich // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – № 2(29). – Pp. 7-19. – EDN TQTUVT.