

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления

Зайдулла Еркебулан Галымжанулы

Разработка и исследования автоматической системы регулирования двух  
насосной станции

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления



### ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: "Разработка и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции"

по специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Зайдулла Е. Г.

Рецензент

PhD,

зав. кафедрой АУЭИС

 Шыныбай Ж. С.

"12" мая 2022 г.

Научный руководитель

канд. техн. наук,

ассистент-профессор

 Сарсенбаев Н. С.

"12" мая 2022 г.

Алматы 2022

# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления

5B070200 - Автоматизации и управления

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ

Алдияров Н.У.

« 05 » мая 2022 г.

## ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Зайдулла Е.Г.

Тема: «Разработка и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции».

Утвержден приказом ректора Университета № 481-П/У от « 05 » 12 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: « 05 » мая 2022 г.

Исходные данные дипломного проекта: технологическая схема насосной установки.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломного проекта: а) предъявляемые к электроприводу насоса; б) анализ кинематической схемы и определение ее параметров; в) расчет нагрузок и построение механической характеристики; г) Выбор преобразователя частоты; д) выбор и характеристика основного силового оборудования Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): разработка функциональной схемы САР электропривода, функциональная схема насосной станции




Рекомендуемая основная литература: 1) Росс М. Многократная работа насоса. <http://www.plad.com/brochures/press4>. 2) Лезнов, Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок Б.С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2015.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	05.03.2022 г.	
Специальный раздел	17.04.2022 г.	

**Подпись**

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Ассистент-профессор Сарсенбаев Н.С.	28.04.22	
Специальный раздел	Ассистент-профессор Сарсенбаев Н.С.	06.05.22	
Нормоконтролер	Лектор Искакова А.М.	11.05.22	

Научный руководитель \_\_\_\_\_  Сарсенбаев Н.С.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_  Зайдулла Е.Г.

Дата \_\_\_\_\_ "25" 01 2022 г.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада екі сорапты станцияның өнімділігін автоматты реттеу жүйесін құру және зерттеу. Дипломдық жоба екі негізгі бөлімнен тұрады.

Бірінші бөліме технологиялық объектінің сипаттамасына, сорғы станциясының дизайнына, технологиялық процестің ерекшеліктеріне және әртүрлі схемаларды құруға арналған.

Екінші бөлімде есептелген математикалық модельге талдау жасалады. Кинематикалық схеманы талдау және оның параметрлерін анықтау. Жүктемелерді есептеу және механикалық сипаттаманың құрылысы. Жиілік түрлендіргішін таңдаңыз. Біз реттеудің ұтымды жүйесін әзірлейміз. Біз таңдаймыз-қысым датчиктері. Электржетектің АТС функционалдық сұлбасын әзірлеу.

MATLAB-та математикалық модельді модельдеу нәтижелері алынды.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрен вопрос разработки и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции. Дипломный проект состоит из двух главных разделов.

Описан технологический объект, его конструкция насосных станций, а также особенности технологического процесса, и составлению различных схем.

Далее, идет анализ рассчитанной математической модели. Анализ кинематической схемы и определение ее параметров. Расчет нагрузок и построение механической характеристики. Выбираем преобразователь частоты. Разрабатываем рациональной системы регулирования. Выбираем датчиков давления. Разработка функциональной схемы САР электропривода.

Получены результаты моделирования математической модели в MATLAB.

## **ANNOTATION**

In this diploma project, the issue of development and research of an automatic control system for two pumping stations. The diploma project consists of two main sections.

The first section is devoted to the description of the technological object, the design of pumping stations, the features of the technological process, and the composition of various diagram.

The second section analyzes the calculated mathematical model. Analysis of the kinematic diagram and determination of its parameters. Calculation of loads and construction of mechanical characteristics. Select the frequency converter. We are developing a rational regulatory system. Select-pressure sensors. Development of the functional scheme of the SAR of the electric drive.

The results of modeling a mathematical model in MATLAB are obtained.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1.1 Технологическая часть	6
1.2 Классификация насосов	6
1.3 Несколько насосных агрегатов	7
1.4 Наилучшая точка эффективности	8
1.5 Параллельная перекачка	11
1.6 Последовательная насосная установка	13
1.7 Базовая параллельный и последовательный установка насосов	18
1.8 Обычная параллельная последовательная переменная скорость	16
1.9 Каскадное управление насосами с преобразователем частоты Toshiba AS3	19
2 Расчетная часть	24
2.1 Требования, предъявляемые к электроприводу насоса	24
2.2 Анализ кинематической схемы и определение ее параметров	28
2.3 Расчет нагрузок и построение механической характеристики	30
2.4 Расчет основных параметров объекта управления	33
2.5 Разработка рациональной системы регулирования	36
2.6 Выбор преобразователя частоты	38
2.7 Выбор и характеристика основного силового оборудования	40
2.7.1 Силовое оборудование в составе преобразователя частоты	40
2.7.2 Выбор контакторов	41
2.7.3 Защита плавкими предохранителями	41
2.7.4 Выбор датчиков давления	42
2.7.5 Характеристика реле давления	43
2.8 Разработка функциональной схемы САР электропривода	44
2.9 Расчет переходных процессов и определение показателей качества	50
Заключение	58
Список использованной литературы	59



## ВВЕДЕНИЕ

На данный момент эффективно использовать несколько насосных станций, и с каждым днём играет все более важную роль, как в производственной деятельности, так и в жизни человеческого общества.

Центробежные насосы используются в различных отраслях промышленности и считаются одними из наиболее важных компонентов любого технологического оборудования. Центробежные насосы обычно являются частью более крупной системы, и поэтому их надежность может повлиять на производительность системы. С точки зрения надежности в последние годы центробежным насосам уделяется значительное внимание. Центробежные насосы являются одним из наиболее важных механизмов в любой транспортировке жидкости процесс. Надежность и ремонтпригодность центробежных насосов при общем доступе играют важную роль в правильной стратегии технического обслуживания. Дополнительные результаты реализации экономии энергии в реальных насосных системах можно было бы получить с помощью моделируемых и экспериментальных системных ситуаций. Особенно конкретные примеры для последовательных и параллельных насосных систем.

Много причин для использования параллельных или последовательных насосов вместо одного насоса большего размера. Они могут включать:

- более низкая первоначальная стоимость;
- более низкая стоимость установки;
- увеличенное резервирование;
- более простое техническое обслуживание;
- более низкие эксплуатационные расходы;
- значительная экономия энергии.

Разработчик должен обладать четкими знаниями основ системного проектирования, чтобы достичь этих преимуществ. Разработчикам нужно знать как использовать насосы параллельно или последовательно, избегая при этом ловушек, которые иногда подстерегают неосторожного проектировщика. Параллельные и последовательные насосы обеспечивают оптимальную экономию энергии.

**Целью дипломного проекта** является разработки и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции.

**Основными задачами** в разработки системы двух насосной станции:

- требования к электроприводу насоса;
- анализ кинематической схемы и определение ее параметров;
- расчет нагрузок и построение механических характеристик;
- расчет основных параметров объекта управления;
- разработка функциональной схемы САР электропривода.

## 1.1 Технологическая часть

### 1.2 Классификация насосов

Насосы используются для перекачки и распределения жидкостей в различных отраслях промышленности. Насосы преобразуют механическую энергию в гидравлическую. Электрическая энергия обычно используется для приведения в действие различных типов насосов.

Насосы имеют два основных назначения.

- перекачка жидкости из одного места в другое (например, вода из подземного хранилища в резервуар для хранения воды);
- циркулируют жидкость по системе например, охлаждающую воду или смазочные [1]

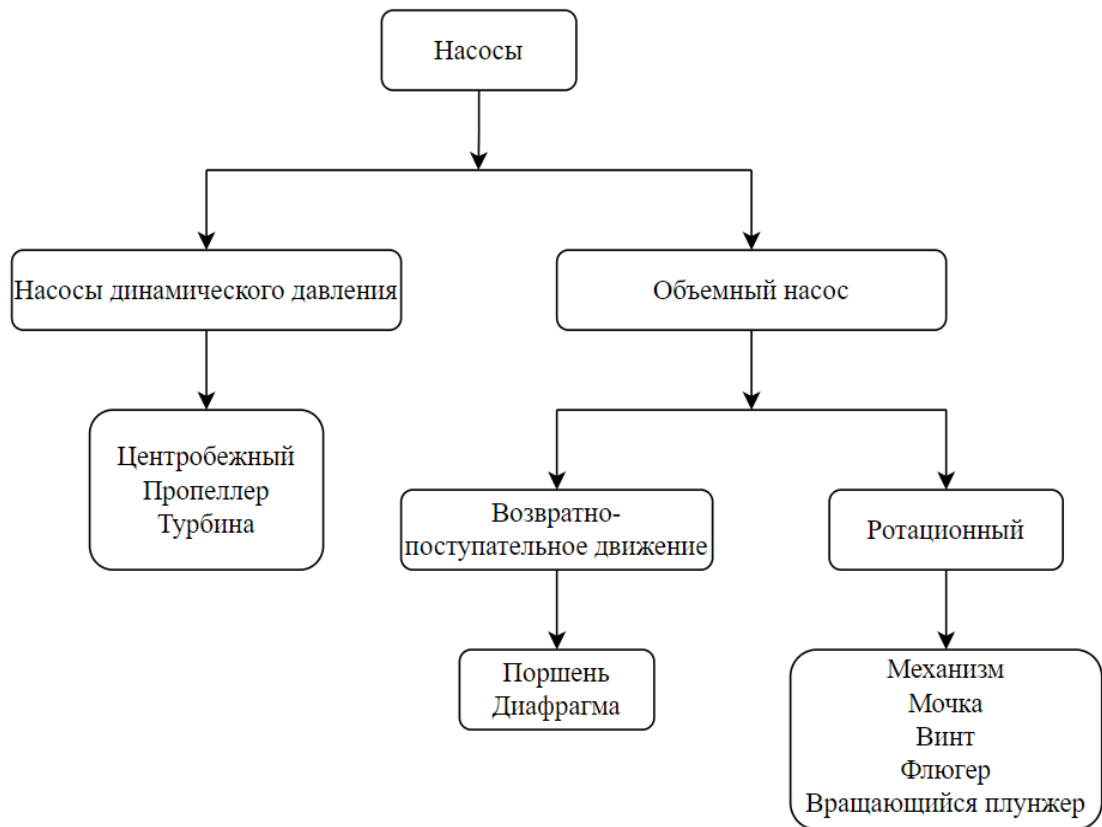


Рисунок 1.1 – Классификация насосов.

### 1.3 Несколько насосных агрегатов

Альтернативой использованию одного насоса для удовлетворения требований системы является комбинированное использование нескольких насосов меньшего размера (параллельная работа).

Большие различия в требованиях к системе не позволяют одному насосу стабильно работать вблизи точки его наилучшего (НТЭ). Эксплуатация насоса вдали от его НТЭ может привести к увеличению затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание. В некоторых системах, особенно с высокими требованиями к статическому напору, включение или отключение нескольких насосов в соответствии с изменениями спроса позволяет каждому насосу работать более эффективно, повышая общую эффективность системы. Однако это преимущество в эффективности зависит от кривых насоса, кривой системы и изменения спроса, которое удовлетворяется.

Некоторые из преимуществ нескольких насосных агрегатов заключаются в гибкости, резервировании и способности эффективно удовлетворять изменяющиеся потребности в потоке в системах с компонентами с высоким статическим напором. В системах с компонентами с высоким коэффициентом трения альтернативы, такие как двигатели с регулируемой частотой вращения, как правило, являются более эффективными решениями для удовлетворения меняющихся требований.

Несколько насосов обычно представляют собой параллельные комбинации одной и той же модели насоса. Включение дополнительного насоса в линию увеличивает поток в систему и смещает рабочую точку вправо вдоль кривой системы на рисунок 1.2.

Параллельные насосы обычно идентичны, чтобы обеспечить сбалансированное распределение нагрузки, когда все насосы работают одновременно. Использование насосов разного размера может привести к тому, что самый большой насос будет доминировать в системе, заставляя другие насосы работать ниже их минимального расхода. Если насосы разного размера должны быть сконфигурированы параллельно, следует тщательно проанализировать их рабочие характеристики, чтобы убедиться, что ни один насос не работает ниже требуемого минимального расхода [2].

## 1.4 Наилучшая точка эффективности

Конструктивные характеристики как для производительности, так и для срока службы оптимизированы вокруг мощности, обозначенной как точка наилучшей эффективности (НТЭ).

Каждый центробежный насос имеет НТЭ — точку, в которой его рабочая эффективность наиболее высока, а радиальные нагрузки на подшипники самые низкие. НТЭ насоса зависит от его конфигурации на входе, конструкции рабочего колеса, конструкции корпуса и скорости насоса. При НТЭ гидравлическая эффективность максимальна, и жидкость поступает в лопасти рабочего колеса, диффузор корпуса (выпускное сопло) или лопастной диффузор безударным способом. Поток через рабочее колесо и лопасти диффузора (если насос оснащен таким образом) является равномерным, без разделения и хорошо контролируемым. Поток остается хорошо контролируемым в диапазоне мощностей, обозначенных как предпочтительная рабочая область (ПРО). В пределах этой области срок службы насоса не будет существенно зависеть от гидравлических нагрузок, вибрации или разделения потока. Допустимая рабочая область (ДРО) определяет точные пределы минимального и максимального расхода в насосе.

Большинство центробежных насосов оснащены роликовыми или шарикоподшипниками. Поскольку срок службы подшипников этих типов является обратной функцией куба нагрузки, выбор насоса с НТЭ, близким к нормальному рабочему диапазону системы, значительно увеличивает интервал между заменами подшипников.

Преимущество в использовании комбинаций насосов меньшего размера, а не одного большого. Эти преимущества включают в себя гибкость в эксплуатации, резервирование в случае отказа насоса, более низкие требования к техническому обслуживанию и более высокую эффективность.

Гибкость в эксплуатации насосов показано на рисунке 1.2, параллельное использование нескольких насосов расширяет диапазон расхода, который может подаваться в систему. (Обратите внимание, что рисунок 1.2 является иллюстративным и не представляет фактические кривые наработки.) Кроме того, включение и отключение насосов позволяет приблизить рабочую точку каждого из них к его НТЭ (для систем с плоскими кривыми). Однако операторам следует соблюдать осторожность при эксплуатации параллельных насосов, чтобы обеспечить соблюдение минимального требования к расходу для каждого насоса [2].



Рисунок 1.2 – Многократная работа насоса

Избыточность при использовании нескольких насосов один насос может быть отремонтирован, в то время как другие продолжают обслуживать систему. Таким образом, отказ одного блока не приводит к отключению всей системы.

Несколько конфигураций насосов позволяют каждому насосу работать близко к его НТЭ (для систем с плоскими кривыми), что снижает износ подшипников и позволяет насосам работать более плавно. Другие преимущества включают меньшую зависимость от рассеивающих энергию вариантов регулирования потока, таких как байпасные линии и дроссельные заслонки. Использование одного большого насоса в условиях низкого расхода приводит к дросселированию или обходу избыточного потока. Дросселирование потока изнашивает дроссельные заслонки и приводит к потерям энергии. Аналогичным образом, обход потока крайне неэффективен, поскольку вся энергия, используемая для проталкивания избыточного потока через байпасные линии, тратится впустую. Приводы с регулируемой скоростью также могут быть эффективным решением.

Эффективность нескольких насосов является более высокая общая эффективность, поскольку каждый насос может работать близко к своему НТЭ (для систем с плоскими кривыми). Включение или отключение насосов по мере необходимости в соответствии с изменениями требований системы позволяет каждому насосу работать на меньшем участке своей кривой производительности - в идеале, вокруг НТЭ. Один насос должен был бы работать в большем диапазоне и, следовательно, время от времени удаляться от своего НТЭ.

При заданном напоре и расходе высокоскоростные насосы, как правило, более эффективны, чем низкоскоростные насосы. Исключением являются насосы с удельными значениями скорости более 3000 оборотов; они, как правило, менее эффективны на более высоких скоростях. Однако это не характерно для большинства насосов. Поскольку для небольших насосов требуются меньшие двигатели, использование нескольких высокоскоростных насосов может обеспечить преимущество в эффективности по сравнению с одним низкоскоростным насосом. Однако это преимущество в эффективности должно быть уравновешено тенденцией высокоскоростных машин требовать большего технического обслуживания.

Многоскоростные насосы могут использоваться аналогичным образом, поскольку генерируемая мощность жидкости может быть подобрана в соответствии с требованиями системы. Переключение насоса на более высокую или более низкую скорость перемещает всю кривую производительности соответственно вверх или вниз, как показано на рисунке 1.3. Обратите внимание что рисунок 1.3 является иллюстративным и не представляет фактическую кривую насоса. Хотя многоскоростные насосы, как правило, работают менее эффективно в любой заданной рабочей точке, чем односкоростные насосы, их способность работать в широком диапазоне условий является ключевым преимуществом. Многоскоростные насосы также экономят место; их компактный рабочий корпус позволяет избежать дополнительных трубопроводов и клапанов, необходимых для параллельных насосов [2].



Рисунок 1.3 – Кривые производительности многоскоростного насоса.

## 1.5 Параллельная перекачка

Насосы описываются как работающие параллельно, когда они получают жидкость из одного и того же всасывающего коллектора и выпускают в общий выпускной коллектор. Для целей этой книги мы будем предполагать, что насосы расположены близко друг к другу, а всасывающий коллектор хорошо спроектирован так, что различия в давлении всасывания достаточно малы, чтобы их можно было игнорировать. При наличии значительных различий в давлении всасывания, например, в зоне первичного и вторичного всасывания или в «распределенной» насосной системе, необходимо разработать специальные процедуры проектирования используется для обеспечения удовлетворительной работы.

Иногда проектировщик указывает, что два насоса, один из которых способен обрабатывать полный расчетный расход, должны быть установлены параллельно. Если один из насосов выходит из строя, другой можно быстро запустить, чтобы обеспечить полный расход. Эта практика обеспечивает полное резервирование. Хотя такой уровень резервирования иногда необходим, в гидравлических системах он не часто требуется. Для целей этой книги параллельные насосы будут выбраны таким образом, чтобы каждый из них мог обеспечить что-то меньшее, чем полный процесс проектирования, что приводит к более низкой начальной стоимости по сравнению с альтернативой полного резервирования. Но это также означает, что для обеспечения полного расхода потребуется более одного насоса. Типичные профили нагрузки для систем кондиционирования воздуха и сантехнических насосов, составленные для выбора насоса и анализа перекачки показывают, что эти системы редко работают при полной расчетной нагрузке. Системы, спроектированные с несколькими меньшими насосами параллельно, могут использовать ручное или автоматическая постановка насоса. Постановка означает изменение количества работающих насосов в соответствии с изменяющимися требованиями к нагрузке. Правильно выполненная постановка может сэкономить энергию и снизить эксплуатационные расходы, при условии, что постановка насоса выполнена с умом. Параллельная перекачка может обеспечить очень высокий процент (от 70% до 90% в большинстве случаев) полного потока при низких затратах по сравнению с альтернативой полного резервирования. Во многих системах ОВКВ принято устанавливать три насоса параллельно, каждый из которых рассчитан на половину полного потока. В течение большей части профиля нагрузки один, а иногда и два насоса будут находиться в работа с третьим насосом в режиме ожидания. В маловероятном случае, если два насоса выйдут из строя

одновременно, оставшийся насос будет способен выдерживать от 70% до 90% расчетной нагрузки.

Насосные системы со статическим напором, такие как водяные системы конденсатора, системы повышения давления бытовой воды; или насосные системы с переменной скоростью, которые должны поддерживать постоянный перепад давления для правильной работы, являются отличными кандидатами для применения в параллельной перекачке.

Большие насосные установки, требующие насосов по специальному заказу, двигатели и приводы являются отличными кандидатами для небольших параллельных насосов. Насосы меньшего размера могут иметь более низкую первоначальную стоимость, а также могут стоить дешевле в установке, эксплуатации и обслуживании [3].

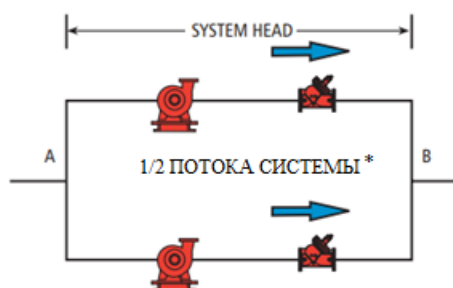


Рисунок 1.4 – Базовая параллельная насосная установка

Простой пример двух параллельных насосов показан на рисунке 1.3.

Важные детали, такие как всасывающие диффузоры и запорные клапаны, не показаны. Чтобы проиллюстрировать концепцию параллельной перекачки, мы будем использовать два насоса, каждый из которых рассчитан на половину полного расхода системы. Обратите внимание, что для двух одинаковых насосов, работающих параллельно, общий поток системы делится в точке «А» во всасывающем коллекторе на два параллельных пути через насосы и обратные клапаны. В точке «В» потоки воссоединяются и поступают в систему. Увеличение общего напора с «А» до «В», обеспечиваемое насосы всегда будут равны потере напора в системе, измеренной от «В» до «А». Обратные клапаны на выходе насоса необходимы для предотвращения обратного потока через холостой насос, когда работает только один насос. Обратите внимание на звездочку в условных обозначениях расхода насоса. Фактический расход в каждой ветви будет больше половины полного расхода, даже если каждый насос будет выбран для половинного расхода. Фактическое увеличе-



ние потока более 50% не может быть определено до тех пор, пока не будет завершен полный анализ.



Рисунок 1.5 – Базовая рабочая точка параллельного насоса.

## 1.6 Последовательная насосная установка

Последовательная перекачка обеспечивает многие из тех же преимуществ, что и параллельная перекачка. Последовательная перекачка может снизить затраты за счет использования комбинации насосов меньшего размера, а не одного насоса большего размера для выполнения определенной задачи перекачки. Это может снизить затраты на установку, а также эксплуатационные расходы. Последовательная перекачка с использованием двух или более насосов меньшего размера для удовлетворения общей потребности в перекачке также обеспечит высокую степень резервной производительности. Процент ожидания, как правило, составляет высокий процент от общих системных требований. Большие насосы могут иметь очень высокие требования к NPSH.

Общий метод прокладки трубопроводов насосов для последовательной работы показан на рисунке 1.6. Клапаны позволяют работать либо одному, либо обоим насосам.

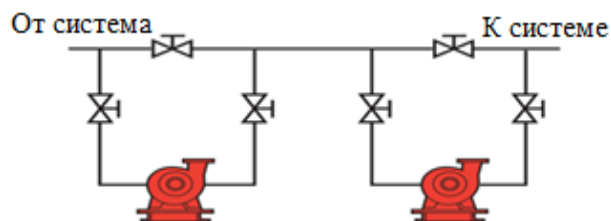


Рисунок 1.6 – Последовательная насосная установка

Такой тип расположения трубопроводов позволяет отключить любой из насосов для проведения планового технического обслуживания без прерыва-

ния обслуживания системы. Еще раз обратите внимание, что при нормальной последовательной работе общий поток будет проходить через каждый насос.

Многие серийные насосные установки изготавливаются с идентичными насосами, хотя иногда выгодно использовать разные насосы. В любом случае каждый насос должен быть способен обрабатывать полный поток, добавляют головки насосов. Из рисунка 1.6 видно, что каждый насос будет перекачивать весь поток системы. Центробежный насос будет создавать перепад давления широко известный как головка насоса, обычно указывается в футах от головки. Поскольку серийные насосы, как правило, идентичны и перекачивают с одинаковой скоростью потока, из этого должно следовать, что каждый насос будет развивать одинаковый напор. Другими словами, каждый насос обеспечивает полный (расчетный) расход при половине требуемого (расчетного) голова. Это показано на рисунке 1.7.

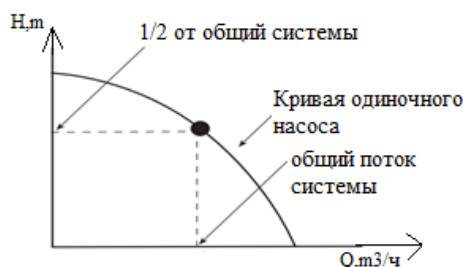


Рисунок 1.7 – Базовая работа последовательного насоса.

### 1.7 Базовая параллельная и последовательная установка насосов

- Возможно, потребуется предусмотреть будущее расширение
- Комбинированные системы отопления и охлаждения требуют высокой скорости потока для охлаждения и относительно низкой скорости потока для нагрева
- Системы, в которых используются двухходовые регулирующие клапаны, можно стабилизировать, изменяя рабочую точку насоса.

Широкий диапазон возможных рабочих точек может быть получен при использовании насосов как последовательно, так и параллельно. На рисунке 1.6 показана установка насосов как параллельно, так и последовательно.

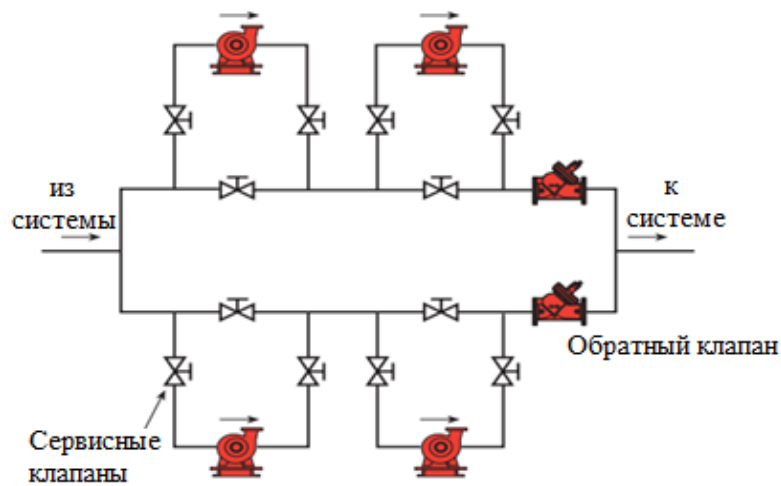
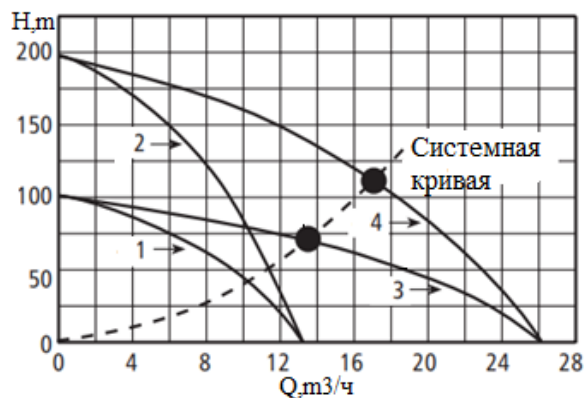


Рисунок 1.8 – Базовая параллельная и последовательная установка насосов

На рисунке показаны два параллельных блока с двумя последовательно установленными насосами на каждый блок. Используйте те же процедуры, что были описаны ранее, для построения возможных рабочих кривых насоса, которые могут быть получены с помощью этой установки.

Установите кривую последовательного насоса, используя кривую одиночного насоса в качестве основы. Затем постройте параллельную кривую насоса, используя последовательную кривую в качестве основы. Максимальная индивидуальная потребляемая мощность может быть быстро установлена, поскольку это происходит при последовательной работе двух насосов.



1 – Одиночный насос; 2 – Два последовательных насоса; 3 – Два насоса параллельно; 4 – Две параллельные группы из двух последовательно соединенных насосов

Рисунок 1.9 – Комбинированные параллельные и последовательные кривые насоса

На рисунке 1.9 показано, что в этом насосном устройстве доступны четыре различные рабочие точки насоса. Эти скорости потока могут быть получены путем запуска одного насоса, двух насосов последовательно, двух насосов параллельно или всех четырех насосов. Обратите внимание, что любая комбинация из трех насосов приведет к тупиковой работе насоса.

Количество насосов, которые могут быть размещены в комбинациях параллельных и последовательных, не ограничено. Мы рекомендуем параллельную и последовательную перекачку как один из способов повышения гибкости насосной системы, хотя перекачка с переменной скоростью может обеспечить еще большую гибкость и больший потенциал для экономии энергии. При совместном использовании эти дизайнерские идеи могут обеспечить гораздо более высокую производительность при более низких первоначальных затратах и более низких эксплуатационных расходах.

## **1.8 Обычная параллельная последовательная переменная скорость**

Применение для перекачки Бытовые системы повышения давления воды в современных высотных зданиях часто выигрывают от комбинированной последовательной и параллельной перекачки с переменной скоростью. Насосная система с повышением давления должна учитывать большие колебания расхода и давления поступающей муниципальной воды, обеспечивая при этом постоянный поток и давление для сантехнического оборудования здания

Как коммерческие, так и жилые здания имеют большие колебания в потреблении воды для бытовых нужд в течение дня. Параллельные насосы могут быть установлены в соответствии с различными нагрузками потока. В высотных зданиях необходимо учитывать значительную составляющую статического давления. Например, 20-этажное здание со средней высотой 12 футов на уровень будет иметь ( $20 \times 12 = 240$ ) 240 футов статического напора. Статическая составляющая напора постоянна при всех потоках. Давление воды, подаваемой из муниципальных источников водоснабжения в здания во многих районах, может меняться в зависимости от времени суток и времени года. Изменение скорости одного большого насоса непрактично при большом расходе и большом статическом напоре. Сокращение в скорость насоса уменьшает расход насоса пропорционально уменьшению скорости, но это также уменьшает напор нагнетания насоса примерно на квадрат уменьшения скорости. Это показано на рисунке 1.10.

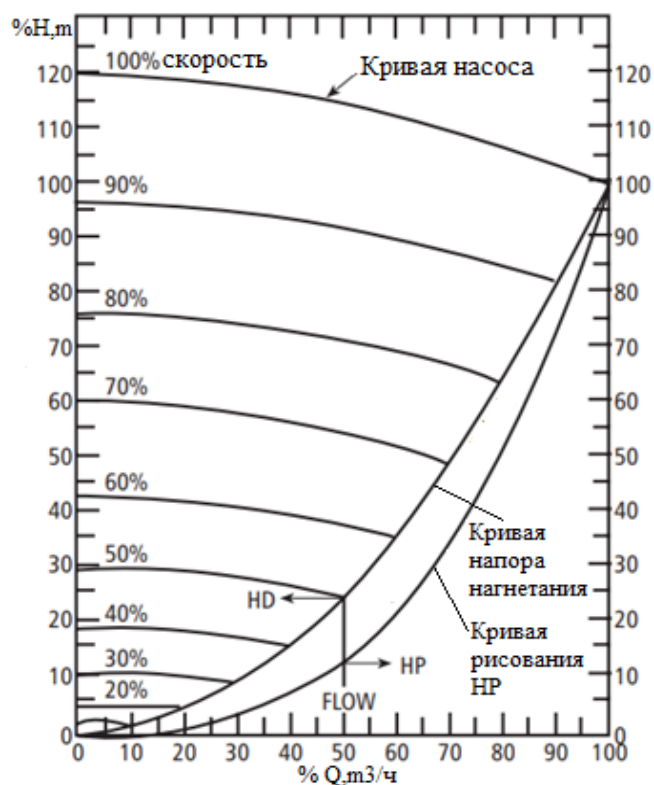


Рисунок 1.10 – Теоретическая взаимосвязь между скоростью и расходом

На рисунке 1.10 показано резкое падение давления нагнетания насоса в зависимости от снижения скорости насоса. При скорости 50% расход уменьшается примерно до 50%, в то время как напор нагнетания насоса падает примерно до 25%, квадрат снижения скорости:

При постоянном статическом напоре при всех потоках один большой насос, работающий с переменной скоростью, будет иметь небольшой потенциал для экономии энергии. Диапазон изменения скорости ограничен снижением потерь на трение в трубопроводах при меньших расходах или колебаниях давления подачи в город. Несколько параллельных насосов, расположенных в соответствии с требованиями к нагрузке, обеспечивают больший потенциал экономии при работе с большими статическими напорными нагрузками, которые включают большие колебания расхода. Усилители давления должны быть рассчитаны на наименьшее ожидаемое давление воды, поступающей в здание. В любое время, когда давление всасывания насоса превышает расчетное, также имеется возможность дополнительной экономии энергии за счет снижения скорости насоса.

Обычно лучше всего подходят приложения с высоким статическим напором с последовательными центробежными насосами [6].



Рисунок 1.11 – Многоступенчатый насос

Многоступенчатые насосы можно рассматривать как «несколько насосов, построенных на заводе последовательно». Как показано на рисунке 1.11, каждая ступень представляет собой крыльчатку, внутренне соединенную последовательно и приводимую в движение общим валом. Каждая ступень приближается к наличию дополнительного насоса последовательно. Эти ступени не могут работать отдельно, как это можно было бы сделать с отдельными насосами последовательно. С положительной стороны, при общем вале все рабочие колеса вращаются в унисон с той же скоростью, что и привод. Обычно привод представляет собой двигатель с постоянной скоростью, но он легко может быть с переменной скоростью. Управление скоростью электрического двигателя для насосных применений являются обычным явлением и хорошо документированы. Параллельное управление переменными многоступенчатыми насосами просто и имеет больший потенциал экономии энергии, чем попытка управлять комбинациями отдельных насосов параллельно и последовательно.

Отличным выбором для высотных зданий была бы система повышения давления бытовой воды, которая могла бы параллельно регулировать и регулировать скорость многоступенчатых насосов для экономии энергии при любых сочетаниях требований к снижению расхода и давления рисунок 1.12. Выбор насоса для повышения давления должен быть адаптирован к типу здания и режим проживания.

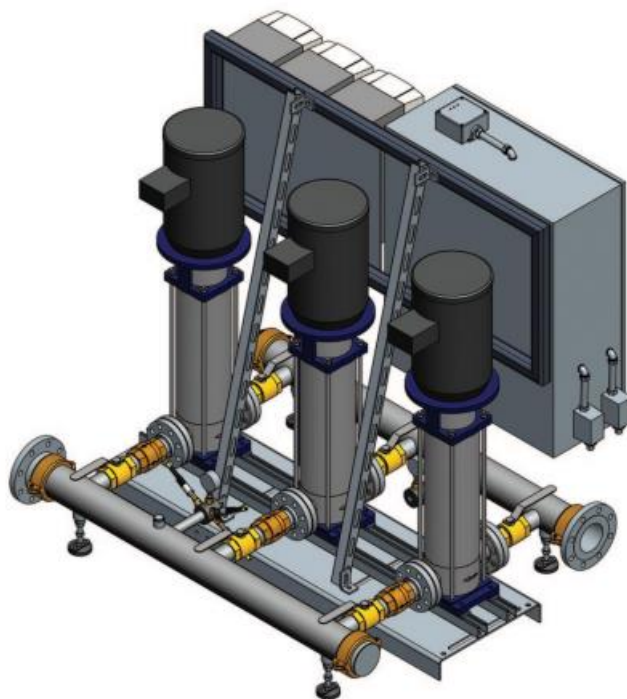


Рисунок 1.12 – Параллельный многоступенчатый насос бытовой системы водоснабжения

Выбор для высотных жилых и офисных зданий - это многоступенчатые насосы с переменной скоростью, работающие параллельно, каждый насос выбирается для  $1/2$  расчетного расхода, а все насосы выбираются для общего расчетного напора. Другая популярная комбинация, особенно для более низких первоначальных затрат при использовании насосов с постоянной скоростью, - это  $2 \times 3$ ,  $2 \times 3$  и  $1/3$  потока «все с общим расчетным напором». В 1 Насос производительностью  $1/3$  называется «жокейским насосом» и используется в периоды низкого спроса. 2 других насоса устанавливаются по требованию. Обратите внимание, что для обоих представленных вариантов любая комбинация из двух насосов может обеспечить полный расчетный расход и напор в случае выхода из строя любого отдельного насоса [6].

### **1.9 Каскадное управление насосами с преобразователем частоты Toshiba AS3**

Каскадное управление насосами предназначено для точного регулирования расхода воды или поддержания заданного давления на насосной стан-

ции. Это наиболее просто реализуется с использованием частотных преобразователей Toshiba серии AS3.

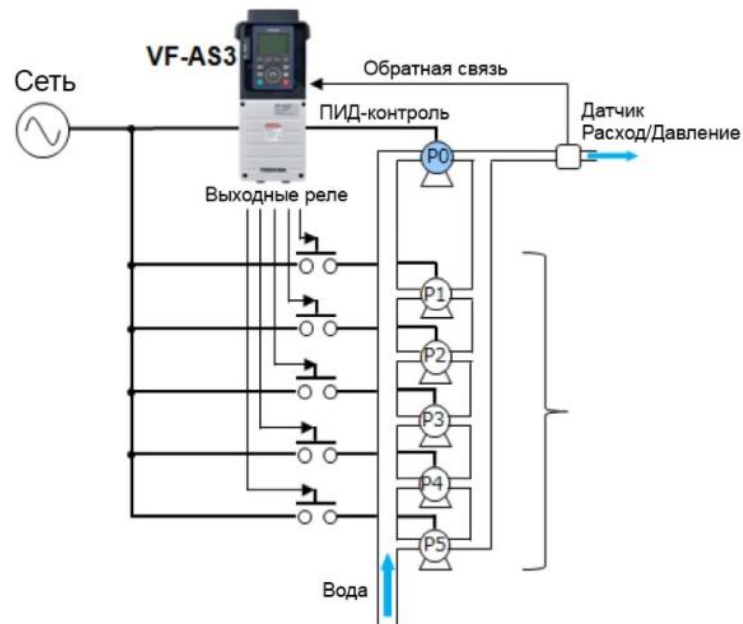


Рисунок 1.13 – Каскадное включение насосов с помощью преобразователя частоты Toshiba AS3

Оперирование насосом P0 с помощью инвертора и подключение/отключение дополнительных 9 насосов, подключенных к коммерческой сети питания (параметр [A200] = 1).

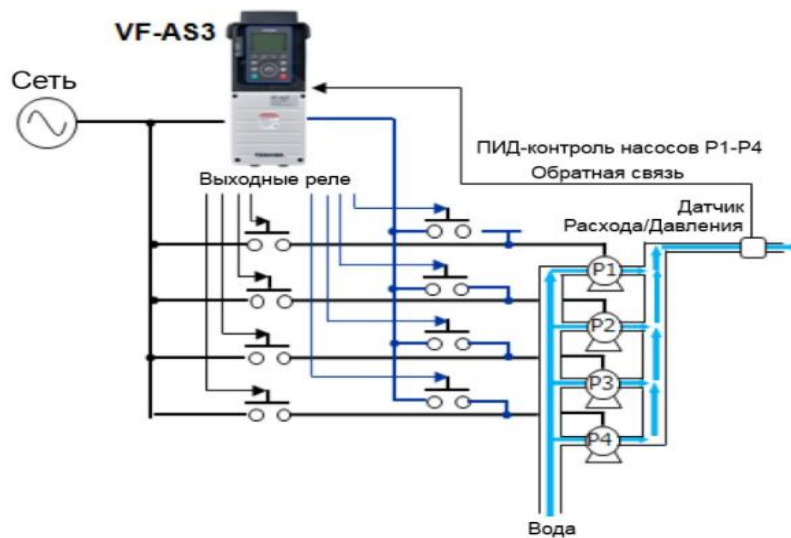


Рисунок 1.14 – Каскадное регулирование насосами с помощью преобразователя частоты Toshiba AS3



Регулирование работы до четырех насосов одним инвертором. Подключение и отключение дополнительных насосов, с помощью переключения их режима работы инвертор/коммерческая сеть питания (параметр [A200] = 2)

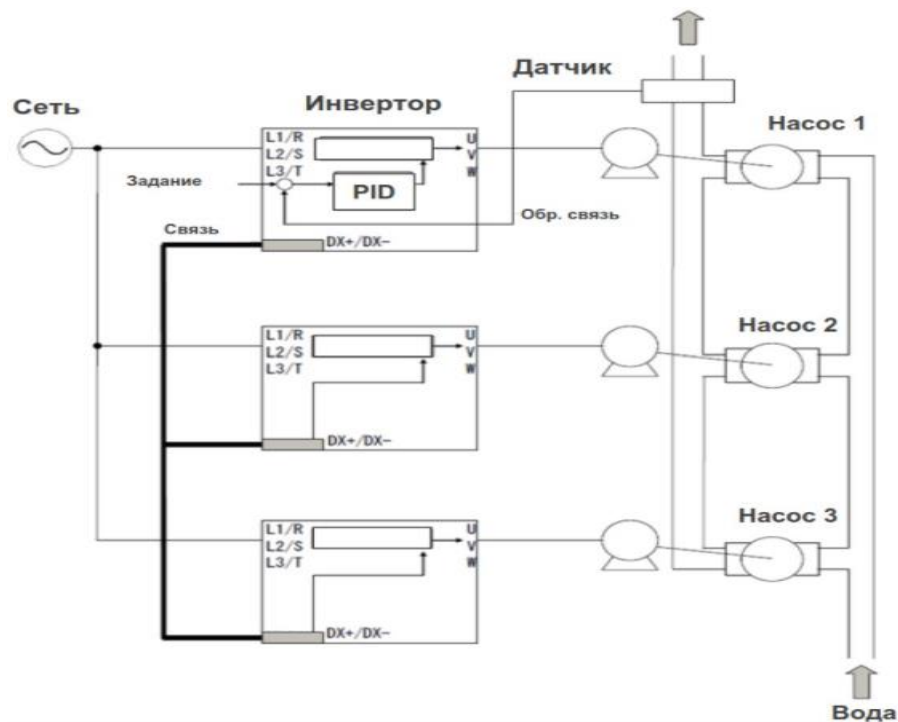


Рисунок 1.15 – Каскадное управление насосами с помощью преобразователей частоты Toshiba AS3

Регулирование работы с помощью одного ПИД-регулятора до 10 насосов, подключенных к соответствующему инвертору (для каждого насоса). Подключение/отключение дополнительных насосов через связь RS485 (параметр [A200] = 7).

Управление до четырех насосов возможно с помощью трех встроенных выходных реле (клеммы: FLA-FLB-FLC, R1A-R1B, R2A-R2B). Этот режим регулирования доступен для значения параметра [A200] = 1 или 2. Для точного поддержания задания подключается один ПИД-регулятор.

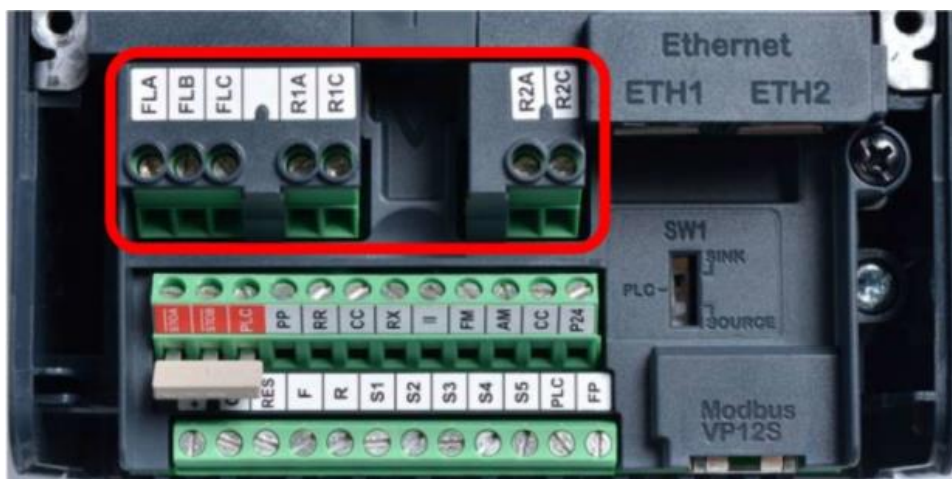


Рисунок 1.16 – Клеммы для управления работой 4-х насосов с помощью частотника Toshiba AS3

Управление до 10 насосов возможно с помощью трех встроенных выходных реле (клеммы: FLA-FLB-FLC, R1A-R1B, R2A-R2B) и подключения 2-х опций «ETB014Z» (каждая добавляет по 3 выходных реле). Для точного поддержания задания подключается один ПИД-регулятор.

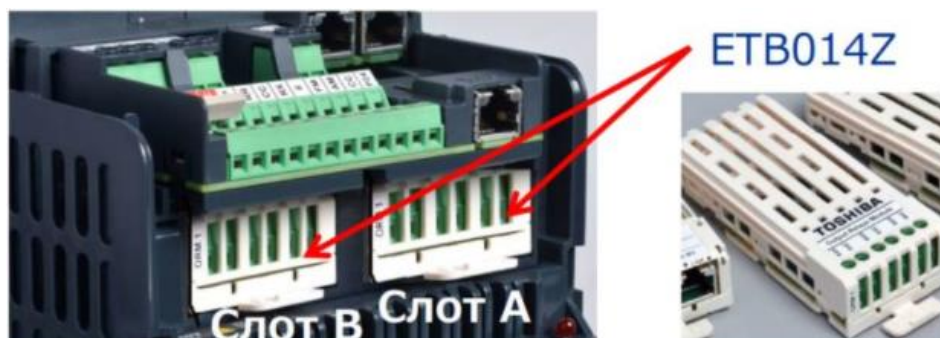


Рисунок 1.17 – Клеммы для управления работой 10 насосов с помощью частотника Toshiba AS3 с опцией ETB014Z

В Режим каскадного подключения и отключения до 10 насосов с регулированием первого насоса каждый насос может подключаться к сети питания и отключаться от нее через магнитный контактор, который управляется релейным выходным сигналом инвертора. Точное регулирование расхода/давления осуществляется с помощью насоса P0. Добавление или отключение других насосов для увеличения или уменьшения расхода/давления происходит по мере необходимости [7].

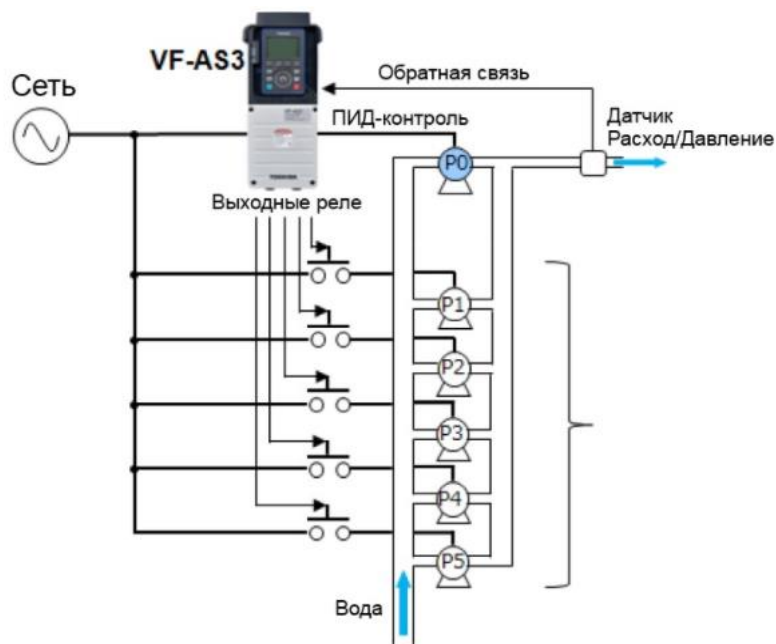


Рисунок 1.18 – Каскадное подключение и отключение насосов с помощью преобразователя частоты Toshiba AS3



Рисунок 1.19 – Иллюстрация каскадного подключения и отключения насосов

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Требования, предъявляемые к электроприводу насоса

– обеспечение плавного пуска, помогающего избежать пиков и внезапных колебаний давления, и исключить возникновение гидравлического удара в трубопроводах;

– поддержание стабильного заданного значения технологического параметра давления в коллекторе по командам оператора в пределах 3,8-4,2 бар.

– ввод в работу берегового насоса и вывод работающего берегового насоса в состояние резерва или в ремонт;

– осуществление пуска береговых насосов от сети, при аварии высоковольтного преобразователя частоты;

– диагностика всех датчиков системы и гибкий алгоритм поддержания работоспособности станции при неисправности датчиков; 6. Защита насосов от работы при отсутствии воды.

Статической характеристикой сети называется зависимость между расходом жидкости через трубопровод и напором  $H$ , требуемой для обеспечения расхода.

Уравнение статической характеристики поддержания напора

$$H_0 = H_{ст} + R \cdot Q_H . \quad (1)$$

где  $H_{ст}$  – статическая составляющая напора;

$R$  – сопротивление сети, меняющееся в зависимости от состояния сети от  $100R_6$ , при нулевом потреблении сетевой воды, до  $R_6$ , при максимальном потреблении сетевой воды.

Базовое сопротивление сети определяется по формуле

$$R_6 = \frac{H_H}{Q_H^2} . \quad (2)$$

Выбор электродвигателя ограничен выбором насоса, потому как, необходимо ориентироваться на потребности предприятия по расходу жидкости. В связи с этим фактором, необходимо определить параметры кинематической схемы механизма. Статической характеристикой насоса называется зависимость напора  $H$  от подачи насоса  $Q$ , при постоянной частоте вращения  $n$  рабочего колеса. Статическая характеристика насоса определяется по формуле

$$H = H_0 \left( \frac{n}{n_H} \right)^2 . \quad (3)$$

где  $H_0$  – напор, соответствующий нулевой подаче, м;

$n$  – текущая скорость вращения насоса, об/мин;

$n_H$  – номинальная скорость вращения насоса, об/мин.

Напор является регулируемой величиной в сети. Его изменяют путем уменьшения или увеличения подачи насоса. Водопроводную сеть без статического напора представляют в виде апериодического звена с коэффициентом передачи равным обратному значению сопротивления сети. Таким образом, входной величиной звена системы управления будет являться напор в сети, а выходной - подача насоса в сеть.

Исходя из расхода и требуемого напора воды необходимо осуществить подбор насоса необходимой нам производительности из следующих условий

$$\begin{cases} Q_{цн} > \dot{Y}_H \\ H_{цн} > H_H \end{cases} . \quad (4)$$

В течение суток расход воды колеблется в диапазоне от 1000 до 1350 м<sup>3</sup>/ч. Согласно этим требованиям, выбираем насос серии 1Д1600-90а с производительностью 1450 м<sup>3</sup>/ч. Параметры насоса 1Д1600-90а представлены в таблице 2.1.

Параметры насоса 1Д1600-90а представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Параметры насоса

Наименование	1Д1600-90а
Максимальная потребляемая мощность, кВт	380
Минимальный кавитационный запас, м	7,1
Номинальный напор, м в ст.	75
Номинальный расход, м <sup>3</sup> /ч	1450
Максимальный КПД, %	89
Синхронная частота вращения, об/мин	1500
Диаметр рабочего колеса, мм	540
Максимальная температура воды, С	+85
Масса, кг	1165

Для эксплуатации насоса и его подбора необходимо знать, как изменяются основные параметры насосов в различных условиях работы.

Преимущества насосных агрегатов 1Д1600-90а:

- спользование насосов в различных областях промышленности, как для перекачивания воды, так и для перекачивания морской воды, пластовой воды и химически активных нетоксичных жидкостей;
- уравнивание осевых сил и снижение нагрузки на подшипники, за счет применения рабочего колеса двухстороннего входа;
- снижение радиальных нагрузок на ротор при работе насоса на ненормальных режимах по средствам исполнения проточной части на высоконапорных насосах в виде двойной спирали;
- наличие горизонтального разъема корпуса насоса и крышки насоса позволяет производить ремонт на месте эксплуатации без демонтажа трубопроводов [8].

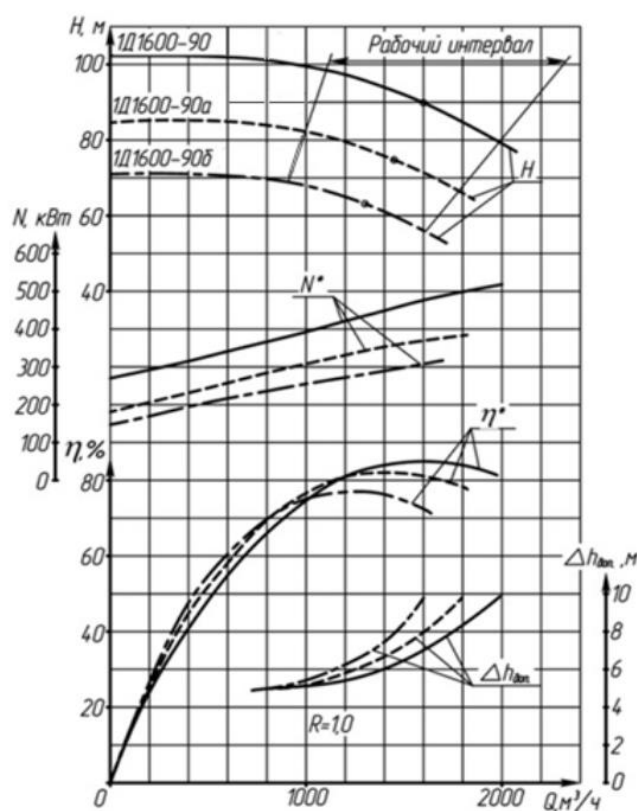


Рисунок 2.1 – Характеристика насоса типа 1Д1600-90а

На данном этапе выбор электродвигателя ограничен выбором насоса, так как в первую очередь необходимо ориентироваться на потребности завода по расходу воды.

В качестве привода береговой НС виду компактности конструкции, простоты соединений с турбомеханизмом и относительно низких эксплуатационных затрат в массовое применение нашли электродвигатели переменного тока. Режим работы электропривода длительный  $S_1$ .

Подбор электродвигателя осуществляется по частоте вращения, рабочему положению (горизонтальный, вертикальный), мощности, напряжению и виду исполнения [9].

Мощность двигателя насоса определяется по формуле

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot Q_n \cdot H_n}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_p} \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент запаса;

$\gamma$  – удельный вес перекачиваемой жидкости,  $H/m^2$  (для хол. воды равен 9810);

$Q_n$  – производительность насоса,  $m^3/c$ ;

$H_n$  – напор насоса, м;

$\eta_n$  – КПД насоса;

$\eta_p$  – КПД передачи (при непосредствен. соединении насоса с двигателем  $\eta_p = 1$ ).

$$P = \frac{1,1 \cdot 9810 \cdot 1450 \cdot 75}{1000 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 3600} = 367 \text{ кВт}.$$

Двигатели выбираем по каталогу, руководясь следующими данными:  $P_n > 367 \text{ кВт}$ ,  $U_n = 380 \text{ В}$ ,  $n = 1500 \text{ об/мин}$ .

Согласно данным, выберем трехфазный асинхронный электродвигатель марки А4-450У-6МУ3. В таблице 1.2 приведены их технические параметры.

Таблица 1.2 – Параметры электродвигателя А4-450У-6МУ3

Характеристика	Обозначение	Величина
Мощность, кВт	$P_n$	400
Номинальное напряжение, В	$U_n$	380
Синхронная частота, об/мин	$n_n$	1500
Номинальный ток статора, А	$I_n$	705
Номинальная частота, Гц	$f_n$	50
Коэффициент мощности	$\cos \varphi$	0,91
КПД, %	$\eta_n$	94,5
Кратность максимального момента	$m_k$	2
Кратность пускового момента	$m_{п}$	1,2
Кратность пускового тока	$i_{п}$	6,5
Момент инерции $кг \cdot м^2$	$J_{дв}$	7

## 2.2 Анализ кинематической схемы и определение ее параметров

Выбрав насосные агрегаты совместно с электродвигателями, согласно требованиям, необходимо спроектировать, проанализировать кинематическую схему механизма и определить её параметры.

На рисунке 2.2 представлена кинематическая схема привода

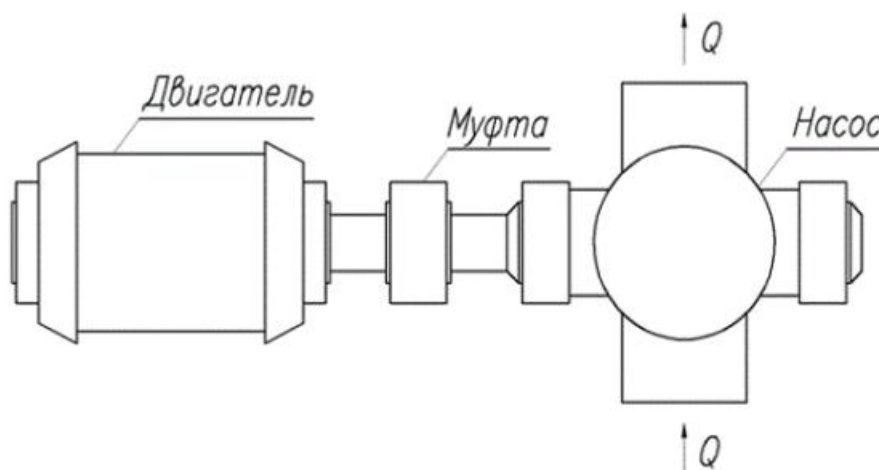


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема привода

Для наглядности определения сил инерции и моментов на валу системы электропривода и турбомеханизма спроектируем одномассовую модель.

Для анализа механической части электропривода реальный механизм заменяют динамически эквивалентной, приведенной расчетной схемой, состоящей из дискретных сосредоточенных инерционных элементов, соединенных между собой упругими связями, и обладающей таким же энергетическим запасом, как и реальная система. Здесь под дискретным инерционным элементом понимается тело, обладающее свойствами инерции, податливостью которого можно пренебречь. Под упругой связью понимается упругое звено, массой которого можно пренебречь. В приведенной расчетной схеме все инерционные элементы осуществляют один вид движения - вращательные. При этом они располагаются на какой-нибудь одной упругой связи. Расчетные параметры можно приводить к любому заранее выбранному месту кинематической схемы механизма, к любому упругому ее элементу. Если приведение производится к какому-нибудь валу механизма, то получается расчетная приведенная схема вращательной системы, в которой все массы имеют общую геометрическую ось [11].

На рисунке 2.3 представлен общий момент инерции турбомеханизма и двигателя.



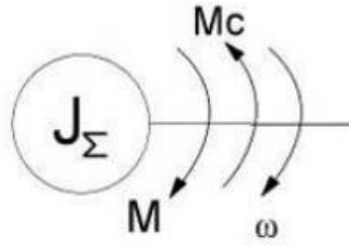


Рисунок 2.3 – Общий момент инерции трубопровода и двигателя

Для осуществления механического соединения между насосом и электродвигателем используется упругая втулочно-пальцевая муфта. Необходимо выбрать её по максимальному моменту, развиваемому электроприводом, согласно следующему уравнению

$$M_{\text{эп}} \leq M_{\text{м}} . \quad (6)$$

Момент электропривода определяется по формуле

$$M_{\text{эп}} \leq k \cdot M_{\text{м}} . \quad (7)$$

где  $k$  – коэффициент перегрузки.

Номинальный момент электродвигателя определяется по формуле

$$M_{\text{н}} \leq \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} . \quad (8)$$

где  $P_{\text{н}}$  – номинальная мощность электропривода, Вт;

$\omega_{\text{н}}$  – номинальная скорость электродвигателя, рад/с.

$$M_{\text{н}} = \frac{40000}{151,8} = 2634 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Номинальная угловая скорость определяется по формуле

$$\omega_{\text{н}} \leq \frac{\pi n_{\text{н}}}{30} . \quad (9)$$

где  $n_{\text{н}}$  – номинальная скорость электродвигателя, об/мин

$$\omega_{\text{н}} = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 151,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}} .$$

Тогда согласно формуле (7) определим момент электропривода

$$M_{\text{эп}} = 1,25 \cdot 2634 = 3293,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбираем из каталога муфту типа МУВП 4000 с номинальным вращающим моментом  $M_{\text{н}} = 2635 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и скоростью вращения  $n_{\text{н}} = 1450 \text{ об/мин}$ .

Рассчитаем общий момент инерции на валу по формуле

$$J_{\Sigma} \leq J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{тм}}. \quad (10)$$

где  $J_{\text{дв}}$  – момент инерции двигателя;

$J_{\text{тм}}$  – момент инерции турбомеханизма.

Момент инерции рабочего колеса насоса определяется по формуле

$$J_{\text{тм}} = k \cdot \pi \cdot h \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot R^4. \quad (11)$$

где  $h$  – толщина стали рабочего колеса насоса;

$\rho_{\text{ст}}$  – плотность стали;

$R$  – радиус рабочего колеса насоса, м.

$$J_{\text{тм}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,003 \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,27^4 = 1,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тогда согласно формуле (10) определим общий момент инерции на валу

$$J_{\Sigma} \leq 7 + 1,17 = 8,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

### 2.3 Расчет нагрузок и построение механической характеристики

Далее следует рассчитать и построить механическую характеристику выбранного асинхронного двигателя. Под механической характеристикой принято понимать зависимость частоты вращения ротора в функции от электромагнитного момента  $n = f(M)$ .

Номинальное скольжение определяется по формуле

$$s_{\text{н}} = \frac{n_1 - n_{\text{н}}}{n_1}. \quad (12)$$

где  $n_1$  – синхронная частота вращения ротора двигателя, об/мин;

$n_{\text{н}}$  – номинальная частота вращения двигателя, об/мин.

$$s_H = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,03.$$

Критическое скольжение определяется по формуле

$$s_{кр} = s_H(\lambda_{дв} + \sqrt{\lambda_{дв}^2 - 1}). \quad (13)$$

где  $\lambda_{дв}$  – перегрузочная способность двигателя.

$$s_{кр} = 0,03 \cdot (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,12.$$

Критический момент двигателя определяется по формуле

$$M_{кр} = \lambda_{дв} \cdot M_H. \quad (14)$$

где  $M_H$  – номинальный момент двигателя, Н·м.

$$M_{кр} = 2 \cdot 2634 = 5269 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Итак, мы определили основные точки характеристики, но для её построения их недостаточно.

Моменты для других значений скольжений определяются по формуле Клосса

$$M = \frac{2M_{кр}}{s/s_{кр} + s_{кр}/s}. \quad (15)$$

где  $s_{кр}$  – критическое скольжение двигателя;

$s$  – текущее скольжение, соответствующее текущему моменту в точке

Таблица 1.3 – Результаты расчетов моментов и частоты вращения

S	0	$s_H$	$s_{кр}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
M, Н·м	0	6643	15121	14121	14961	11011	9337	8043	7037	6241	5600	5074
N, б/мин	1000	960	827	800	700	600	500	400	300	200	100	0

По полученным данным в программной среде MATLAB были построены механические характеристики приводного двигателя на рисунке 2.4

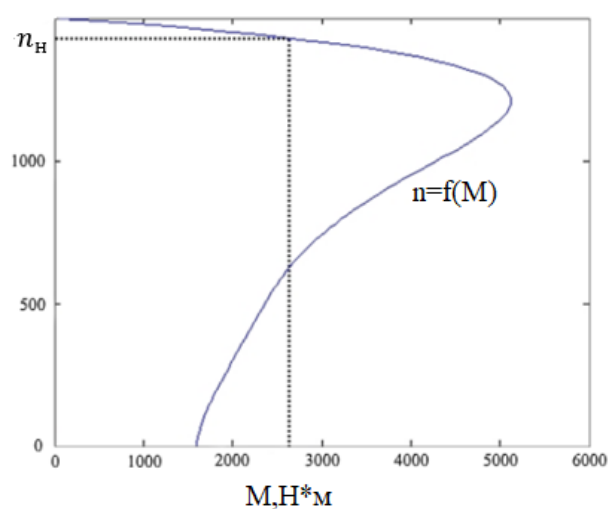


Рисунок 2.4 – Зависимость частоты оборотов от момента двигателя  $n=f(M)$

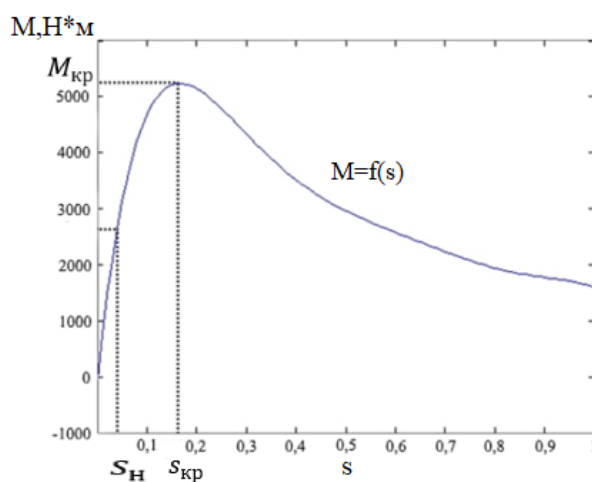


Рисунок 2.5 – Зависимость момента от скольжения двигателя  $M=f(s)$

Исходя из суточного потребления воды, был построен график расхода воды относительно времени суток на рисунке 2.6.

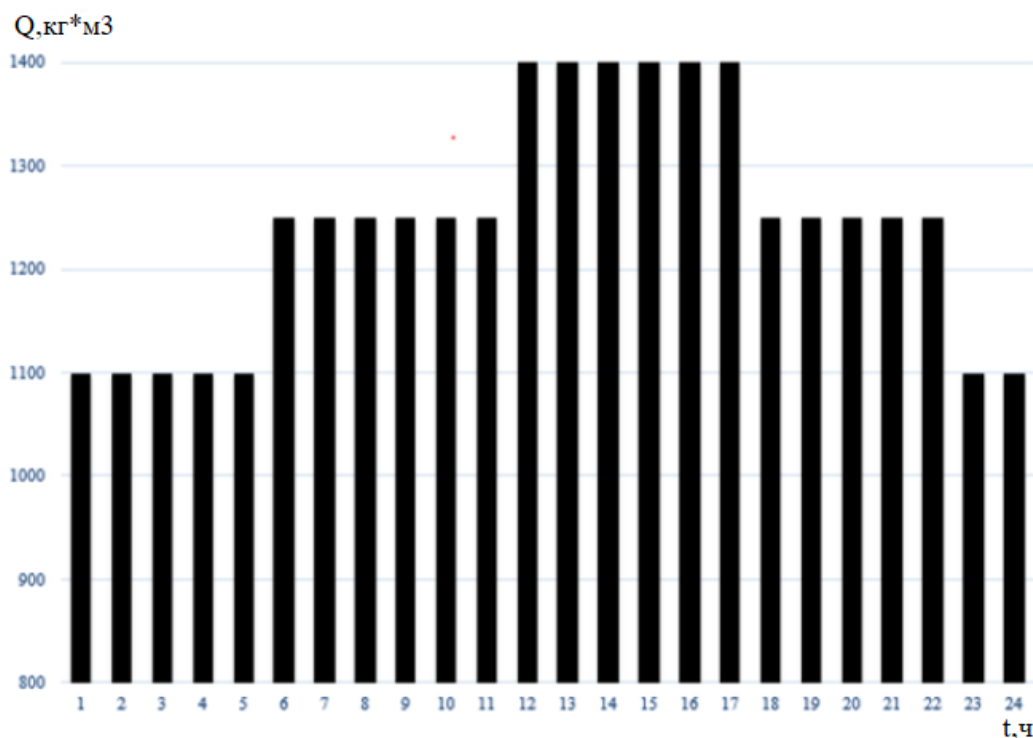


Рисунок 2.6 – Суточный расход количества воды

Исходя из построенной характеристики, можно сделать вывод, что значение расхода не превышает потребления одного насоса, следовательно, возможно регулирование одним насосом, при поддержании заданного давления системы.

Необходимо предусмотреть регулирование насосов, при большем расходе системы. В этом случае, будет недостаточно подачи воды одного насоса и с помощью преобразователя частоты необходимо обеспечить частотно – каскадное регулирование насосных агрегатов, при котором ПЧ управляет лишь одним насосом, а запуск и останов других осуществляет при необходимости, регулированием частоты вращения насоса [11].

## 2.4 Расчет основных параметров объекта управления

Конструктивный коэффициент определяется по формуле

$$c_1 = 1 + \frac{L'_s}{L_m}. \quad (16)$$

где  $L'_s$  – величина приведенной индуктивности рассеяния статора, Гн;  
 $L_m$  – величина индуктивности контура намагничивания, Гн.  
 Задаем значение коэффициента в диапазоне 1,02-1,05.  
 Механические потери определяются по формуле [11]

$$\Delta P_{mex} = P_H \left( \frac{1}{\eta_H} - 1 \right) \frac{1}{6}, \quad (17)$$

$$\Delta P_{mex} = 400000 \cdot \left( \frac{1}{0,945} - 1 \right) \frac{1}{6} = 7017 \text{ Вт}.$$

Коэффициент вязкого трения определяется по формуле

$$M = \frac{\Delta P_{mex}}{\left( \frac{2\pi n_H}{60} \right)^2}. \quad (18)$$

где  $\Delta P_{mex}$  – механические потери, Вт;  
 $n_H$  – номинальная частота вращения двигателя, об/мин.

$$M = \frac{7017}{\left( \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1450}{60} \right)^2} = 0,16.$$

Сопротивление ротора определяется по формуле

$$R_r = \frac{1(P_H + P_{mex}) \cdot m_{\Pi}}{3 \cdot \left( \frac{1 - s_H}{s_H} \right) \cdot I_H^2}. \quad (19)$$

где  $m_{\Pi}$  – кратность пускового момента;  
 $s_H$  – номинальное скольжения.

$$R_r = \frac{1(400000 \cdot 7017) \cdot 1,2}{3 \cdot \left( \frac{1 - 0,003}{0,003} \right) \cdot 707^2} = 0,0110 \text{ Ом}.$$

Величина активного сопротивления статора определяется по формуле

$$R_s = \frac{1}{2} \frac{U_H^2 \cos \varphi (1 - \eta_H)}{I_H} - \frac{c_1^2 \cdot R_r \cdot \Delta P_{mex}}{3 I_H^2}. \quad (20)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение двигателя, В;  
 $\cos \varphi$  – коэффициент мощности двигателя;  
 $I_H$  – номинальный ток двигателя, А;

$\eta_H$  – номинальный КПД.

$$R_s = \frac{1380 \cdot 0,91 \cdot (1 - 0,945)}{2 \cdot 706} - \frac{1,02^2 \cdot 0,0093 \cdot 7017}{3 \cdot 706^2} = 0,01470 \text{ м.}$$

Величина индуктивности статора и приведенной индуктивности ротора определяется по формуле

$$L_s = L_r = \frac{U_H}{2\pi \cdot f_H \cdot I_H \sqrt{\cos\varphi} - \frac{4\pi \cdot f_H \cdot M_{кр} \cdot s_H}{3p \cdot U_H \cdot s_k}}. \quad (21)$$

где  $p$  – число пар полюсов;

$M_{кр}$  – критический момент двигателя, Н · м.

$$L_s = L_r = \frac{380}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 706 \sqrt{0,91} - \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5269 \cdot 0,03}{6 \cdot 380 \cdot 0,12}} = 0,0041 \text{ Гн.}$$

Величина приведенной индуктивности рассеяния статора и ротора определяется по формуле

$$L'_s = L'_r = \frac{U_H}{4\pi \cdot f_H (1 + c_1)^2 \cdot i_{п} \cdot I_H}. \quad (22)$$

где  $f_H$  – номинальная частота сети, Гц;

$i_{п}$  – коэффициент пускового тока.

$$L'_s = L'_r = \frac{380}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 (1 + 1,02)^2 \cdot 6,5 \cdot 706} = 0,0064 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Величина индуктивности контура намагничивания определяется по формуле

$$L_m = L_s - L'_s. \quad (23)$$

где  $L_s$  – индуктивность статора, Гн;

$L'_s$  – индуктивность рассеяния статора, Гн.

$$L_m = 0,0041 - 0,0064 \cdot 10^{-3} = 0,004 \text{ Гн.}$$

Мощность, активного сопротивления статорной обмотки, определяется по формуле

$$P_{эл} = 3U_H - I_H \cdot \cos\varphi(1 - \eta_H) - 3I_H \cdot R_r \cdot c_1^2 - \Delta P_{mex} = 3I_H^2 \cdot R_S. \quad (24)$$

где  $R_S$  – активное сопротивления статора.

$$P_{эл} = 3 \cdot 706^2 \cdot 0,0147 = 21981 \text{Вт}.$$

Потерями в ферромагнитном сердечнике, а также добавочными потерями в двигателе можно пренебречь.

Согласно формуле 16 определим конструктивный коэффициент

$$c_1 = 1 + \frac{0,064 \cdot 10^{-3}}{4,03 \cdot 10^{-3}} = 1,02.$$

По рассчитанным параметрам схемы замещения асинхронного двигателя, можно сделать вывод, что полученные значения приближены к реальным.

## 2.5 Разработка рациональной системы регулирования

Существует множество решений по данной теме, но со временем, некоторые утрачивают свою эффективность, а другие становятся энергозатратными.

Одной из основных задач данной работы является разработка рациональной системы регулирования процессов НС.

В электрических насосных станциях применяются два основных типа регулирования частотное и каскадное регулирование.

Каскадное регулирование достигается путем запуска и останова параллельно установленных насосов. От увеличения количества насосов зависит экономичность и быстродействие НС.

Частотное регулирование обеспечивается за счет изменения частоты вращения насосов с использованием преобразователя частоты. Это способствует увеличению эффективности работы за счет оптимизации работы насосов в режиме неполной производительности. Еще одной особенностью этого способа регулирования является предотвращение появления гидроударов, что, в свою очередь, увеличивает энергоресурс данной системы.

В настоящее время, существует возможность одновременного применения каскадного и частотного регулирования, тем самым это позволяет суще-



ственно снизить электропотребление до 50%, а также повысить качество и надежность работы оборудования станции.

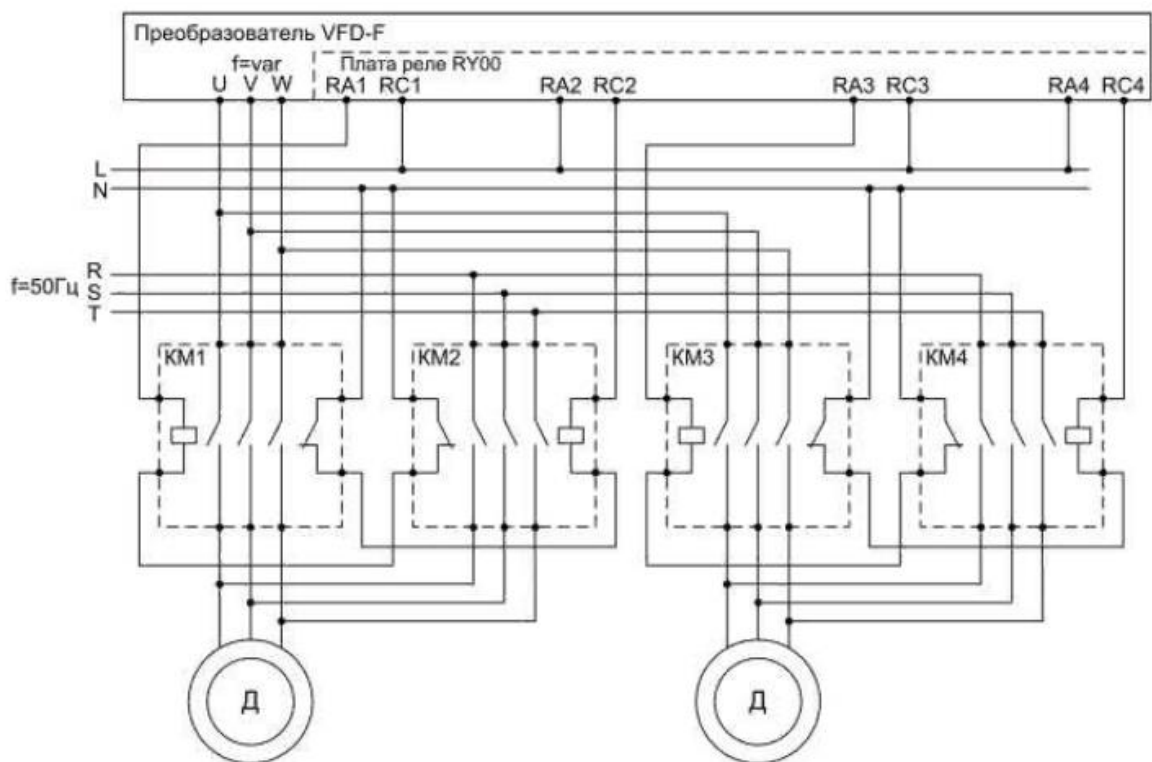
Использование каскадно - частотного регулирования, при котором ПЧ управляет лишь одним насосом, а запуск и останов других осуществляет при необходимости. Система обладает простотой и надежностью, а также минимальным количеством оборудования в применяемой системе управления.

Данному способу присущи некоторые недостатки:

- появление гидроударов при пуске и останове дополнительных насосов;
- появление в электросети бросков напряжения, связанных с переходными процессами при пуске двигателей;
- невозможность поддержания точного давления в системе, флуктуации давления при включении или выключении дополнительных насосов.

Конечно, влияние описанных недостатков можно снизить. Во избежание гидроударов и бросков напряжения, можно применять устройства плавного пуска, однако это экономически целесообразно лишь при относительно больших мощностях двигателей. Качество регулирования давления также можно улучшить за счет усложнения алгоритма управления, реализуемого вычислителем данной системы. Однако все эти мероприятия связаны с дополнительными финансовыми затратами, что нивелирует привлекательность самой идеи.

Данных недостатков лишен такой способ управления, когда при невозможности обеспечить требуемую в данный момент производительность НС одним насосом, в работу включается следующий, при этом первый насосный двигатель переключается напрямую на сеть, а вступающий в работу – выводится на рабочую частоту под управлением преобразователя частоты, по заданной пользователем кривой разгона.



VFD-F – преобразователь частоты; RY00 – плата релейных выходов; Д – трех-фазный асинхронный электродвигатель насосов; KM1–KM4 – контакторы.

Рисунок 2.7 – Схема управления насосной станцией.

## 2.6 Выбор преобразователя частоты

В настоящее время большинство преобразователей частоты с автономным инвертором напряжения (АИН) используются для работы в режиме широтноимпульсной модуляции (ШИМ), поскольку они способны обеспечить широкие и сверхширокие диапазоны регулирования скорости двигателя и предельные динамические показатели. Исходя из этого выберем схему АИН с ШИМ в качестве оптимальной.

На основании технических условий на разработку и номинальных данных двигателя выбираем ПЧ в соответствии с условием

$$I_{н.пр} \geq I_{н.дв} \cdot \quad (25)$$

где  $I_{н.пр}$  – номинальный ток преобразователя, А;

$I_{н.дв}$  – номинальный ток двигателя, А.

$$U_{н.пр} \geq U_{н.дв} \cdot \quad (26)$$

где  $U_{н.пр}$  – номинальное напряжение преобразователя, В;

$U_{н.дв}$  – номинальное напряжение двигателя, В.

$$I_{н.пр} = \frac{P_n}{3U_{фн} \cdot \eta_n \cdot \cos\varphi} \quad (27)$$

где  $U_{фн}$  – фазное напряжение трехфазной сети, В;

$\eta_n$  – номинальный КПД двигателя.

$$I_{н.пр} = \frac{400000}{3 \cdot 220 \cdot 0,945 \cdot 0,91} = 770 \text{ А}.$$

Возможность каскадного управления двумя насосами реализуется по схеме один основной, второй - резервный.

Нашим условиям соответствует ПЧ фирмы Delta Electronics модели VFD4000CP43C-21.

Таблица 1.4 – Технические параметры преобразователя

Серия	VFD-CP
Мощность, кВт	400
Напряжение питания, В	380
Фазность	3
Частота сети, Гц	50/60
Выходная частота, Гц	400
Выходной непрерывный ток, А	770
Ток в течении 1 минуты, А	900
Перегрузка, % в течение 1 минуты:	110 (LD) / 120 (ND)
Степень защиты	IP20
Время разгона, с	0.01-600
Время торможения, с	0.01-6000
Аналоговый вход, количество	4
Дискретный вход,	11
Аналоговый выход,	3
Дискретный выход,	Импульсный - 1
Релейный выход,	7
Пусковой момент	150% или выше
Регулятор	ПИД
Рабочая температура, °С	-10...+50

## 2.7 Выбор и характеристика основного силового оборудования

### 2.7.1 Силовое оборудование в составе преобразователя частоты

Данный преобразователь модели VFD4000CP43C-21 обеспечивает плавный разгон, торможение и регулирование частотой вращения двигателя для поддержания необходимого давления системы. Вместе с тем, ПЧ укомплектован следующими элементами силового оборудования:

- токоограничивающий реактор, предназначенный для ограничения скорости нарастания и величины тока короткого замыкания, уменьшения взаимного влияния работающих от общей сети преобразователей и уменьшения скорости нарастания тока в тиристорах при коммутации.

- выпрямитель, служащий для преобразования входного переменного электрического тока в постоянный выходной электрический ток.

- тормозной резистор, основывающийся на установке в звено постоянного тока модуля торможения, который преобразовывает избыточную электрическую энергию в тепловую. В составе преобразователя встроен тормозной резистор BR1K5W012 для каждого модуля, с тормозным моментом 50,8 кг·м и током торможения 450 А.

Модуль торможения представляет параллельный регулятор напряжения, принцип действия которого достаточно прост. Если напряжение на конденсаторе превышает определенный уровень, открывается IGBT-транзистор модуля торможения и конденсатор разряжается через этот транзистор и сопротивление RT. При этом электрическая энергия выделяется в виде тепла на сопротивлении. Транзистор модуля торможения работает в режиме широтно-импульсной модуляции, время открытого состояния транзистора определяется уровнем напряжения на конденсаторе. Чем больше напряжение превышает максимально допустимое, тем больше время открытого состояния. Внешние тормозные резисторы требуются для торможения механизмов с высоким моментом инерции или для генераторных режимов работы.

- сетевой дроссель согласуется с расчетным входным током преобразователя частоты. Основное назначение сетевых дросселей заключается в уменьшении бросков тока. Кроме того, сетевые дроссели улучшают защиту преобразователя от перенапряжений. Полное сопротивление сетевых дросселей является делителем напряжения при перенапряжении.

- RC-снаббер, используемый для минимизирования превышения напряжения (перенапряжения) и предотвращения аварии IGBT. Так как IGBT коммутируется с высокой скоростью, то напряжение  $U_a$  быстро возрастает, особенно при запираии транзистора.

## 2.7.2 Выбор контакторов

Подключение или отключение двигателя насоса к ПЧ, а также напрямую к сети, осуществляется с помощью контакторов.

Контакторы AF750 применяются для управления трехфазных электродвигателей и силовых цепей до 400 В. Выбранные контакторы имеют блочную конструкцию с тремя основными полюсами:

- катушка управления AC/DC с электронным управлением, с достаточно широким диапазоном применения;
- точное срабатывание;
- функция выдержки пропадания напряжения и надежная работа при просадках напряжения управления;
- встроенный ограничитель перенапряжения. Контакторы AF750 оснащены входами низкого напряжения для управления при помощи преобразователей частоты.

На данный двигатель  $U=380\text{В}$ ,  $I=706$ ,  $P=400\text{кВт}$  выбирается контактор фирмы АВВ типа AF750-30-11 для мощных двигателей.

Таблица 1.5 – Технические параметры контактора АВВ

Тип	AF750-30-11
Номинальное напряжение, В	380
Номинальная мощность, кВт	400
Номинальный ток	750
Максимальный ток	1050

## 2.7.3 Защита плавкими предохранителями

Для защиты внутренних цепей преобразователя в каждую фазу между источником питающего напряжения и преобразователем должны быть установлены быстродействующие предохранители, используемые для защиты полупроводниковых диодов. В соответствии с UL: UL 508, параграф 45.8.4, часть А, ток быстродействующего предохранителя должен быть 1,6-2,6 кратным к входному току преобразователя частоты.

В комплект преобразователя частоты входят быстродействующие предохранители производителя компании Bussmann марки KTU-1500.

Таблица 1.6 – Технические параметры предохранителя KTU-1500

Модель преобразователя	VFD4000CP43C-21
Входной ток при легкой нагрузке	750
Входной ток при нормальной нагрузке	625
Номинальный ток предохранителя	1500

#### 2.7.4 Выбор датчиков давления

От точности показаний датчиков давления зависит поддержание производственного процесса в заданном диапазоне, а также не менее важна и его безопасность. Кроме измерения абсолютного или избыточного давления, датчики давления определяют дифференциальное уравнение, измеряют уровень и расход жидкости.

В качестве датчика обратной связи по давлению выбираем датчик Danfoss MBS 1900

Таблица 1.7 – Технические данные датчика давления MBS 1900

Тип измеряемого давления	Абсолютное/относительное
Диапазон измерения, бар	0 - 6
Рабочая температура, °С	-40 ~ +125
Перегрузка давления, %	250
Выходной сигнал, мА	4 ~ 20
Напряжение питания, В	24V DC
Суммарная погрешность, %	1
Время срабатывания, м сек	0,5
Присоединение давления	G 1/2, G 1/4 с прокладкой
Масса, кг	0,15
Степень защиты	IP65

Действие преобразователей давления измерительных MBS основано на уравнивании измеряемого давления силой упругой деформации пьезорезистивного первичного преобразователя. Под воздействием измеряемого давления измерительная мембрана деформируется и изменяет электрическое сопротивление в одном из плеч измерительного моста.

Применение Danfoss обеспечивает повышение эффективности и уменьшение эксплуатационных затрат. Сенсоры давления серии MBS 1900 построены на базе пьезорезистивной технологии преобразования. Это считается

наиболее надежным и эффективным решением для измерения давления, особенно в таких системах, где наблюдается высокая амплитуда и частота пульсаций давления.

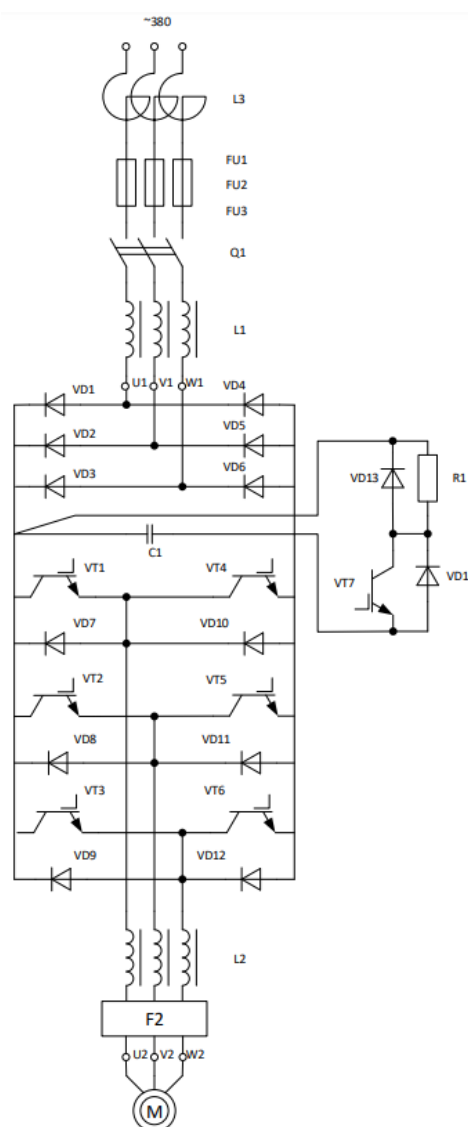


Рисунок 2.8 – Силовая схема электропривода насоса

### 2.7.5 Характеристика реле давления

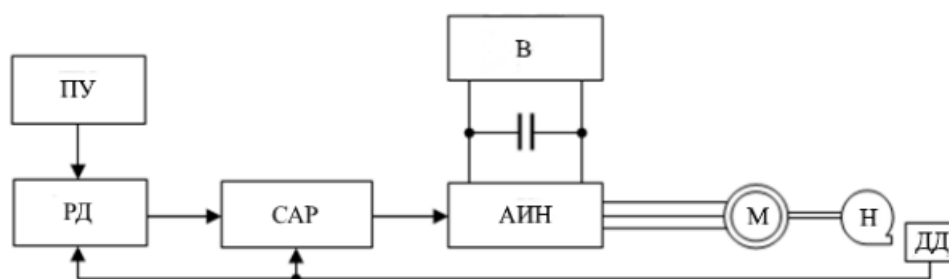
В качестве реле давления, предназначенного для текущего контроля давления в системе, и аварийной сигнализации, в нашем случае, выступает сам ПЧ. В случае отклонения от заданного давления, следует замыкание или размыкание электрической цепи. Если давление в системе уменьшается, и частота вращения одного двигателя становится недостаточным, то ПЧ подает дискретный сигнал на замыкание контактов контактора, тем самым подключа-

ет дополнительный электродвигатель насоса. В том случае, когда давление в системе становится выше заданного, частота рабочего насоса снижается, и, в дальнейшем, ПЧ подает дискретный сигнал на размыкание контактов контактора, тем самым отключает и выводит из системы резервный насос, продолжая управлять рабочим, до заданного давления в системе [12].

## 2.8 Разработка функциональной схемы САР электропривода

Необходимо выбрать систему, при которой будет осуществляться частотное регулирование электроприводов насосов и поддержание оптимального давления за счет датчиков давления обратной связи. Эта система должна быть экономически выгодна и обеспечивать снижение затрат на энергопотребление, но в то же время быть простой в реализации.

Применяем скалярное управление насосами, так как в насосных установках не требуется контроль токов статора электродвигателя, а также высокая точность управления моментом и скоростью двигателя.



ПУ – пульт управления; РД – регулятор давления; САР – система автоматического регулирования; В – выпрямитель; АИН – автономный инвертор напряжения; М – асинхронный двигатель; Н – центробежный насос; ДД – датчик давления.

Рисунок 2.9 – Функциональная схема управления электропривода насоса

Расчет параметров структурной схемы системы регулирования. Система автоматического управления электроприводом насоса состоит из объекта управления и регулятора. Объект управления состоит из электродвигателя, преобразователя энергии, питающего двигатель, и рабочего органа, в данном случае центробежного насоса, соединенного с валом двигателя через муфту. Регулятор реализован в комплектном, выбранном нами преобразователе частоты. Необходимо только рассчитать и задать параметры и тип регулятора. Асинхронный двигатель при регулировании давления работает на линейной части механической характеристике [11]



$$T_э = \frac{dM}{dt} + M = \beta(\omega_0 - \omega) . \quad (28)$$

где  $T_э$  – электромагнитная постоянная времени, с;

$\beta$  – жесткость статической характеристики АД.

Объект управления переменного расхода воды относительно разности напора на входе и выходе трубопровода представим уравнением

$$H = H_0 \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 - CQ^2 . \quad (29)$$

где  $H_0$  – напор при закрытой задвижке, м;

$C$  – коэффициент расхода;

$Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/ч.

Преобразуем уравнение разности давлений, приняв расход воды за нулевое значение.

$$H = H - H_0 \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 . \quad (30)$$

Блок преобразования напора реализован согласно V/F кривой, текущего значения напора и расхода, построенной по методу настройки четырех точек, в программной среде Excel.

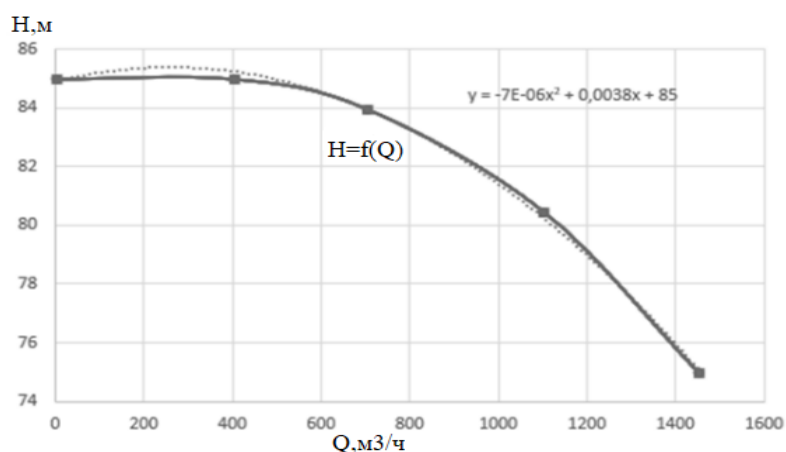


Рисунок 2.10 – Кривая напора насоса от требуемого расхода воды

Подставив в уравнение 30 получившееся в Excel аппроксимирующее уравнение

$$\Delta H = 85 - (-7 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 + 0,0038Q + 85) . \quad (31)$$

где  $Q$  – текущий расход жидкости в системе,  $\text{м}^3/\text{ч}$

Преобразовав уравнение разности давлений, получим выражение

$$\Delta H = 7 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 + 0,0038Q.$$

Полученное уравнение напора жидкости в системе будем использовать при создании модели насоса в Matlab и получении переходных характеристик.

После преобразования механической части электропривода получаем одномассовую систему управления движения электропривода

$$M = M_0 \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2. \quad (32)$$

где  $M_0$  – момент развваемый двигателем при нулевом расходе, Н·м.

Построим характеристику момента сопротивления на валу центробежно-го механизма без учета дополнительных потерь на трение в программной среде Excel.

Стабилизация давления при переменном расходе осуществляется за счет регулирования частоты двигателя

$$\omega = \omega_0(1 - s) = \left( \frac{2\pi f_1}{p} \right) (1 - s). \quad (33)$$

При моделировании математической модели в программной среде Matlab, будем использовать функцию полинома, полученную на данной характеристике.

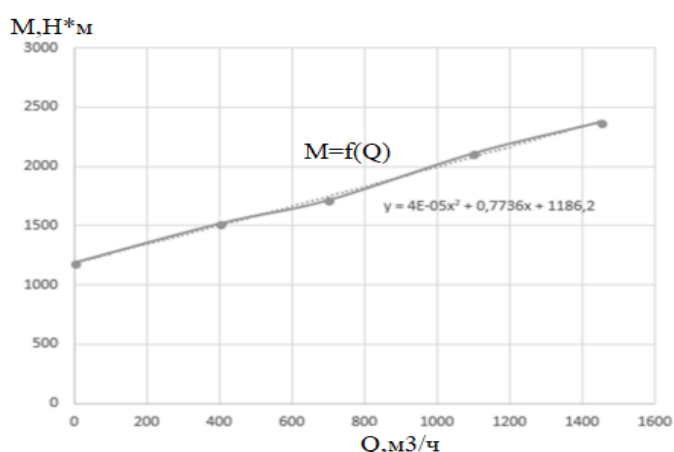


Рисунок 2.11 – Кривая момента насоса от требуемого расхода воды

В блоке PID контроллера реализована модель регулятора давления, а также подводится обратная связь по напору, сравниваемая с заданной величиной.

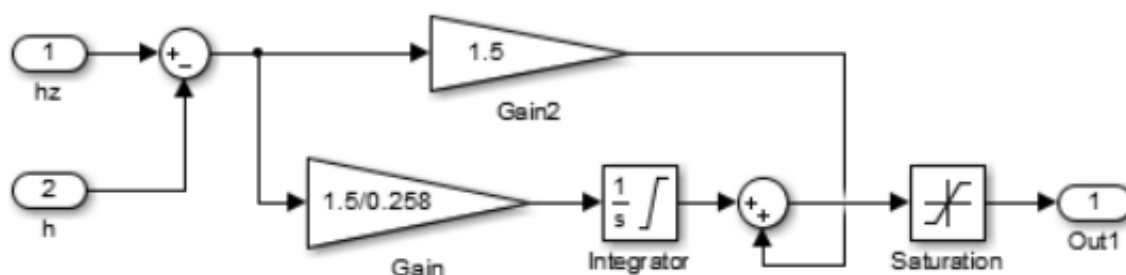


Рисунок 2.12 – Модель регулятора давления

Блок SPWM осуществляет управление силовыми транзисторами с помощью программируемого генератора опорного напряжения.

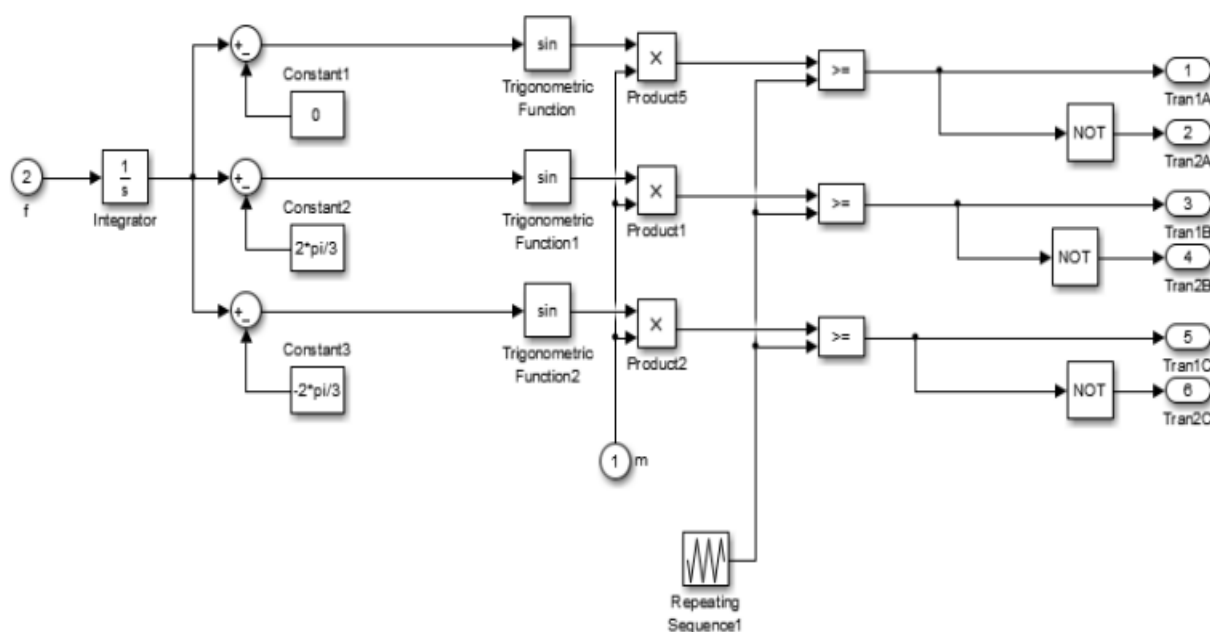


Рисунок 2.13 – Модель управления ШИМ

В данной модели входными сигналами являются коэффициент модуляции ШИМ  $m$  равный 1, означающий выдачу номинального фазного напряжения при скорости  $\omega = 314$  ( $f = 50$ Гц) и частота выходного напряжения инвертора  $f$ .

Построен модель насоса с помощью математических блоков библиотеки Simulink.

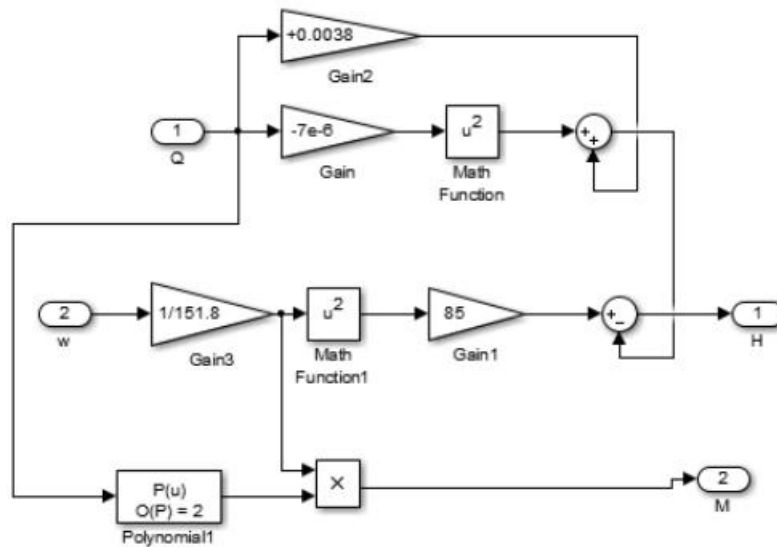


Рисунок 2.14 – Модель насоса

Управляющее устройство предусматривает ПИ-регулятор давления с передаточной функцией

$$W_p = k_p + \frac{k_p}{T_{иp}} \cdot \quad (34)$$

где  $k_p$  – коэффициент усиления регулятора;

$T_{и}$  – постоянная времени интегратора регулятора давления.

Коэффициент усиления рассчитывается по формуле

$$k_p = \frac{H_H}{f_H} \cdot \quad (35)$$

где  $H_H$  – номинальный напор насоса;

$f_H$  – номинальная частота электродвигателя.

$$k_p = \frac{75}{50} = 1,5 \cdot$$

Электромагнитная постоянная времени определяется по формуле

$$T_{э} = \frac{1}{\omega_0 s_k} \cdot \quad (36)$$

где  $\omega_0$  – скорость двигателя на холостом ходу;

$s_k$  – критическое скольжение.

$$T_э = \frac{1}{157 \cdot 0,12} = 0,053 \text{ с} .$$

Электромеханическая постоянная времени рассчитывается по формуле

$$T_c = \frac{J_\Sigma}{\beta_c} . \quad (37)$$

где  $J_\Sigma$  – суммарный момент инерции;

$\beta_c$  – коэффициент жесткости механической характеристики.

Коэффициент жесткости механической характеристики определяется по формуле

$$\beta_c = \frac{M_H - M_{min}}{\omega_H - \omega_{min}} . \quad (38)$$

где  $M_{min}$  – момент развиваемый двигателем при нулевом расходе воды;

$\omega_{min}$  – скорость двигателя, соответствующая минимальному моменту двигателя.

$$\beta_c = \frac{2634 - 1185}{151,8 - 115} = 39,55 .$$

Нужно определить электромеханическую постоянную времени

$$T_c = \frac{8,17}{39,35} = 0,2 \text{ с} .$$

Зная электромагнитную постоянную времени и электромеханическую постоянную времени, рассчитаем время интегрирования системы по формуле

$$T_H = T_э + T_c , \quad (39)$$

$$T_H = 0,053 + 0,2 = 0,253 \text{ с} .$$

Для синтеза регулятора давления линеаризуем объект по формуле

$$H_1 = k_H \omega , \quad (40)$$

где  $k_H$  – коэффициент передачи насоса.

Коэффициент передачи насоса

$$k_H = \frac{H_0}{\omega_H}, \quad (41)$$

$$k_H = \frac{75}{151,8} = 0,49.$$

Коэффициент обратной связи по напору находится по формуле

$$k_{oc} = \frac{U_3}{H_{max}}. \quad (42)$$

где  $U_3$  – напряжение задания;

$H_{max}$  – максимальный напор в сети.

$$k_{oc} = \frac{1}{85} = 0,017.$$

После расчета параметров системы управления, полученные результаты необходимо подставить в смоделированную структурную схему и получить переходные процессы [12].

## **2.9 Расчет переходных процессов и определение показателей качества**

Произведем моделирование работы привода в двух режимах: пуск и стабилизация напора при изменении расхода. Пуск производится при нулевом расходе до номинального напора. В режиме стабилизации происходит изменение расхода от нуля до номинальной величины. В результате моделирования получили графики переходных процессов скорости, момента, тока двигателя, регулятора напора, статического момента и задания напряжения и расхода воды через водопроводную сеть.

Для отображения переходных процессов на диаграммах, произведём моделирование пуска двигателя насосной установки и разгона его до номинальной скорости.

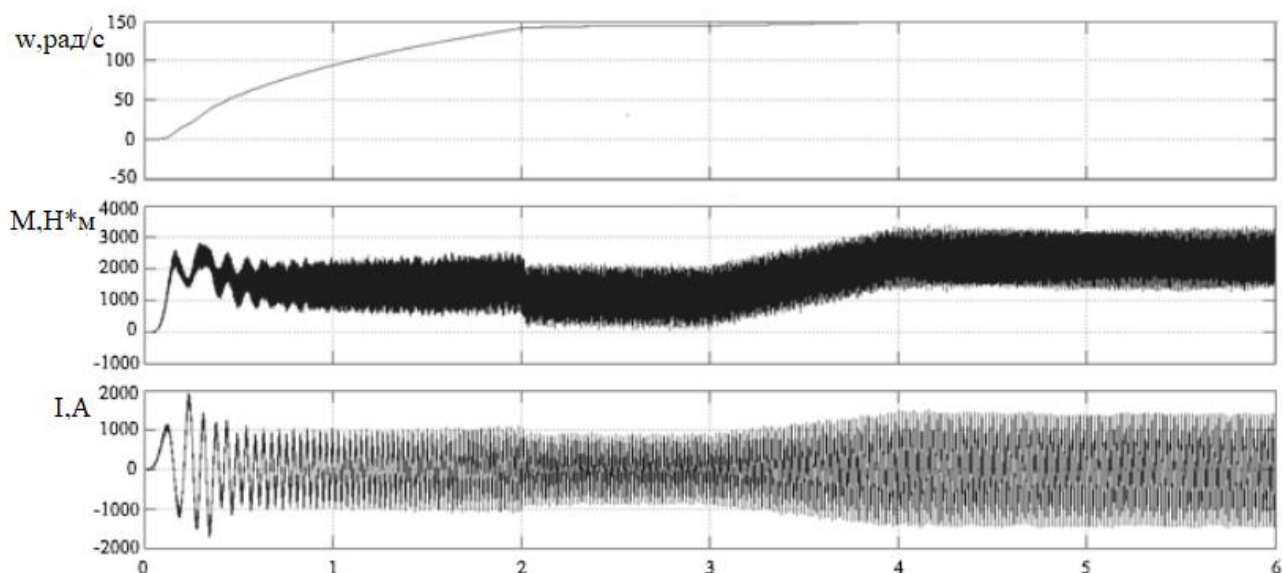


Рисунок 2.15 – График переходного процесса скорости, тока и момента электропривода

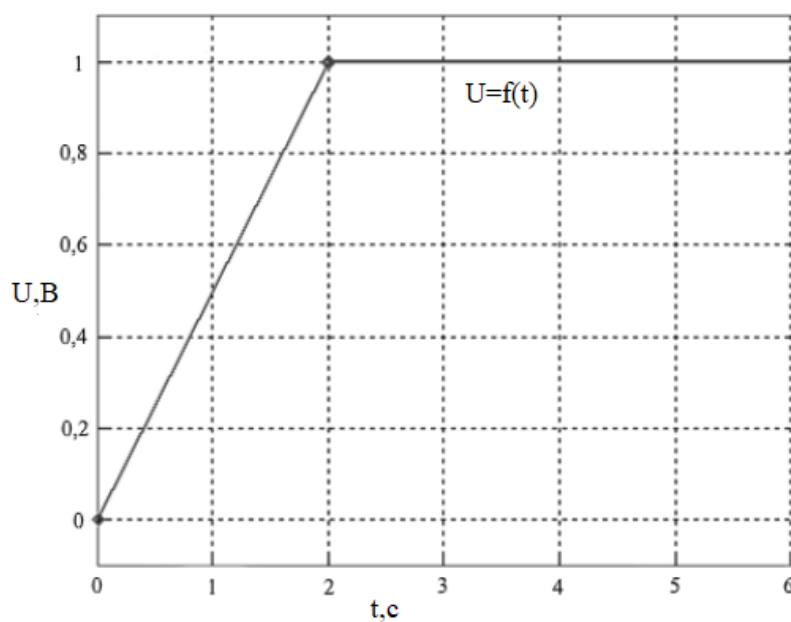


Рисунок 2.16 – Входной сигнал напряжения

На основании графика переходного процесса скорости, тока и момента привода, делаем вывод, что переходные процессы при пуске протекают без значительных колебаний и отклонений регулируемой величины от заданного значения. Процесс пуска происходит с примерно постоянным ускорением.

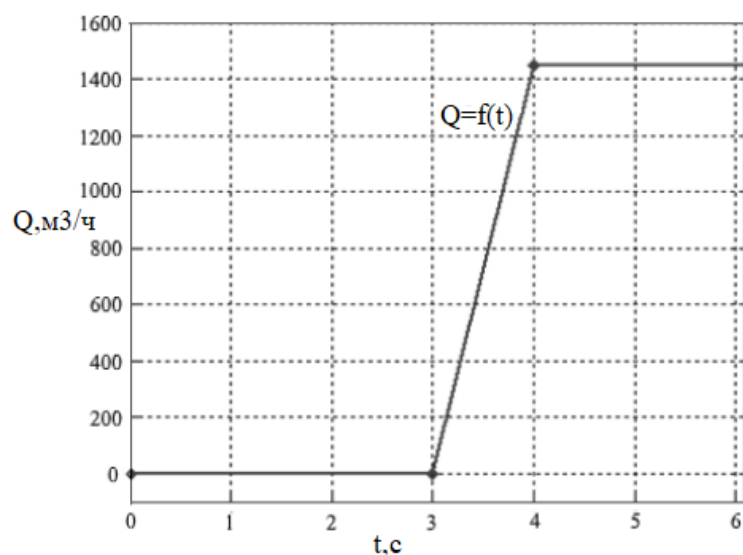


Рисунок 2.17 - График расхода воды через водопроводную сеть

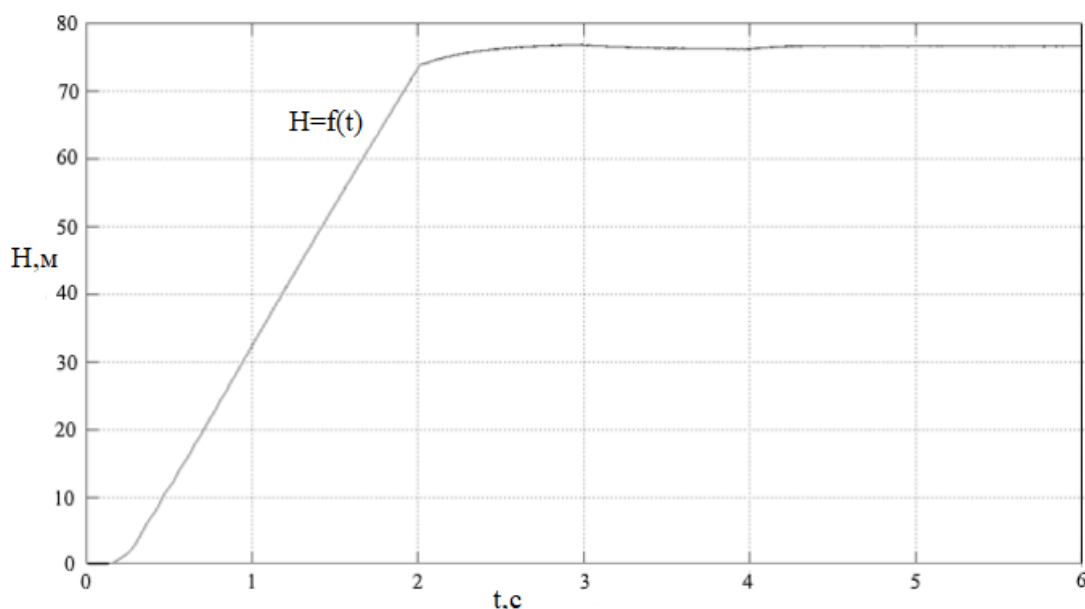


Рисунок 2.18 - График переходного процесса напора

Стабилизация давления при изменении расхода происходит без резких скачков и колебаний. Согласно графику, можно сделать вывод, что поддержание давления в системе регулирования осуществляется, при меняющемся расходе количества воды.

Исходя из графика напора, делаем вывод, что в начальный момент времени давление отсутствует и равно нулю. По истечению двух секунд времени, давление достигает отметки в 75 метров и остается на этом уровне. Две секунды выдержки времени говорят о времени пуска двигателя [14].



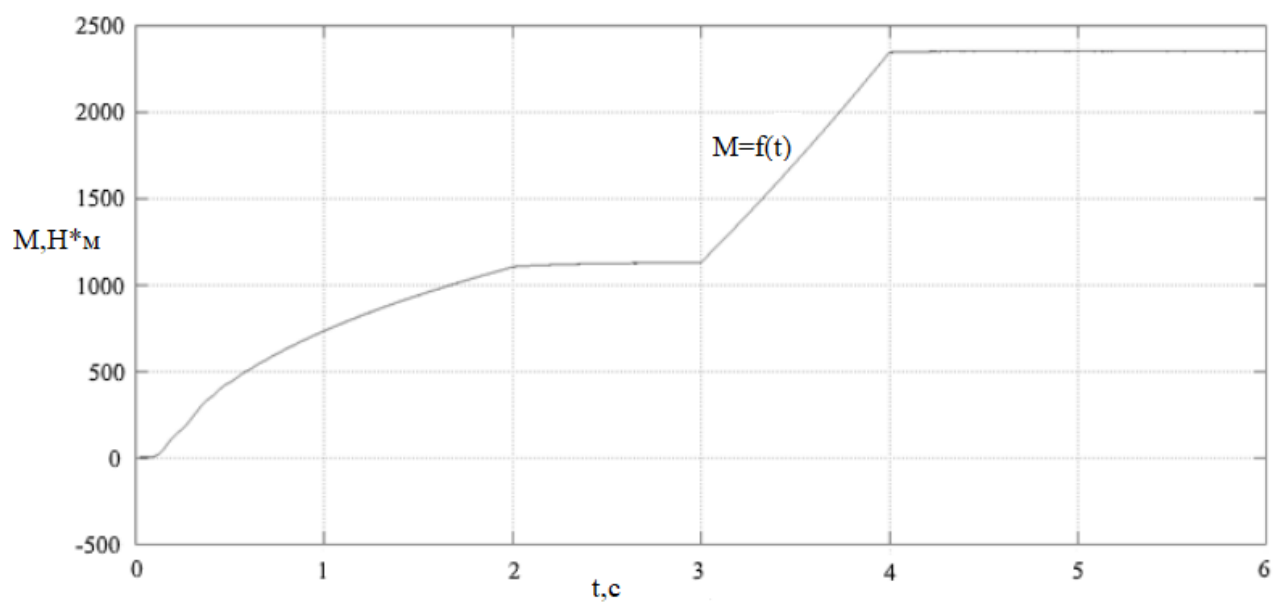


Рисунок 2.19 - График статического момента привода

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте была рассмотрена разработка и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции.

В этом проекте был проведен анализ возможных вариантов управления насосным агрегатом. Способ регулирования выбирается с помощью преобразователя частоты со скалярным управлением и обратной связью по давлению. Использовалась модель Delta Electronics VFD4000CP43C-21. Задачей системы управления является поддержание требуемого давления в трубопроводе при изменяющемся расходе воды.

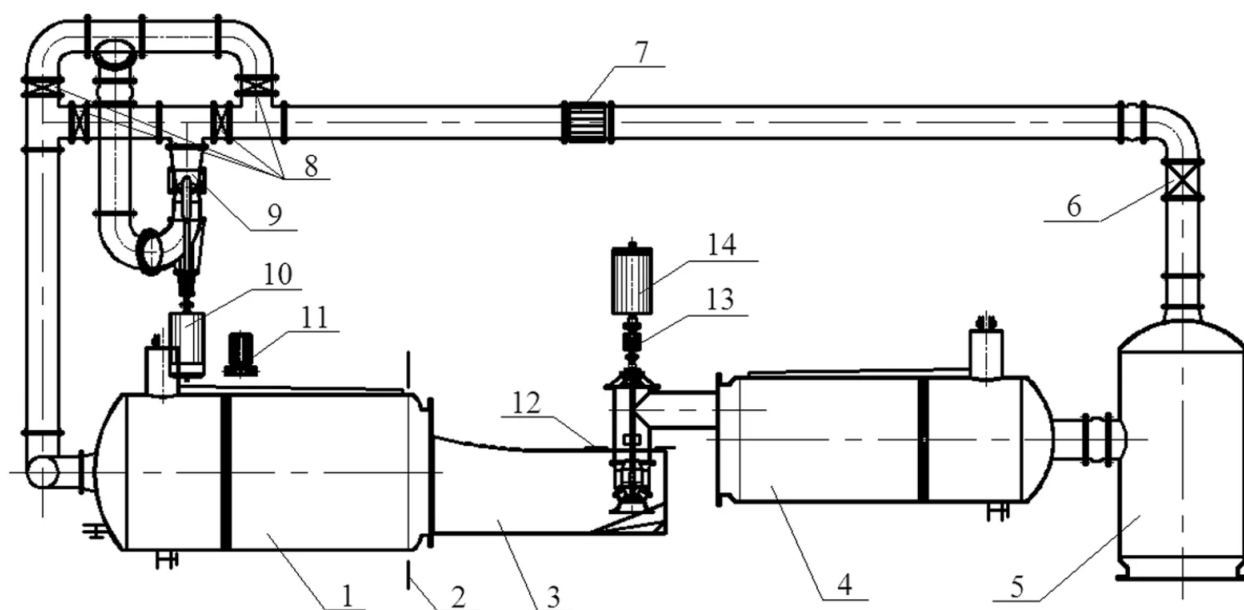
В результате моделирования автоматизированной системы управления были получены графики рабочих параметров системы, проанализированы и учтены все требования, необходимые для модернизации НС.

Актуальность данной работы позволяет значительно снизить стоимость выбранного оборудования, а также снизить энергопотребление на 50%, и, в то же время, повысить качество и надежность модернизированной НС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Классификация насосов // Электронная версия на сайте:// <https://www.basu.org.in/wp-content/uploads/2020/03/CLASSIFICATION-OF-PUMPS>
- 2 Росс М. Многократная работа насоса // Электронная версия на сайте:// <http://www.plad.com/brochures/press4/2018>.
- 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОФАЗНОГО КОНТУРА ПОТОКА ВЕРТИКАЛЬНОГО НАСОСА // Электронная версия на сайте:// <https://core.ac.uk/download/pdf/2018/13643028>.
- 4 Математика перекачки воды // Электронная версия на сайте:// <https://www.raeng.org.uk/publications/other/2017-pumping-water>
- 5 Надежность параллельных и последовательных центробежных насосов для обезвоживания в процессе добычи полезных ископаемых // Электронная версия на сайте:// <https://actamont.tuke.sk/pdf/2018/n2/3qazizada.pdf>
- 6 Параллельные и последовательные применение насоса // Электронная версия на сайте:// <http://documentlibrary.xylemappliedwater.com/files/2016/07/ТЕН-1109А>.
- 7 Каскадное управление насосами с преобразователем частоты Toshiba AS3 // Электронная версия на сайте:// <https://szma.com/stati/kaskadnoe-upravlenie-nasosami-s-preobrazovatelem-chastoty-toshiba-as3//2017>
- 8 Лезнов, Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок // Б.С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2015. – 176 с.
- 9 Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Изд. Академия, 2015. – 256 с.
- 10 Кравчик, А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Собаленская – М.: Энергоиздат, 2017. – 504 с.
- 11 Елисеев, В.А. Справочник по автоматизированному электроприводу / В.А. Елисеев, А. В. Шинянский. – М.: Энергоатомиздат, 2015. – 616 с.
- 12 Терёхин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink: учебное пособие / В.Б. Терёхин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 320 с.
- 13 Виноградов, А.Б. Автоматизация насосной станции с применением частотнорегулируемого электропривода / А.Б. Виноградов, А.Н. Сибирцев, И.Ю. Колодин // Силовая электроника №2, 2015.
- 14 Бородацкий, Е.Г. Разработка системы управления взаимосвязанным электроприводом центробежных турбомеханизмов станции перекачки жидкости.: дис... канд. техн. наук / Е.Г. Бородацкий. – Омск, 2014 – 146 с.

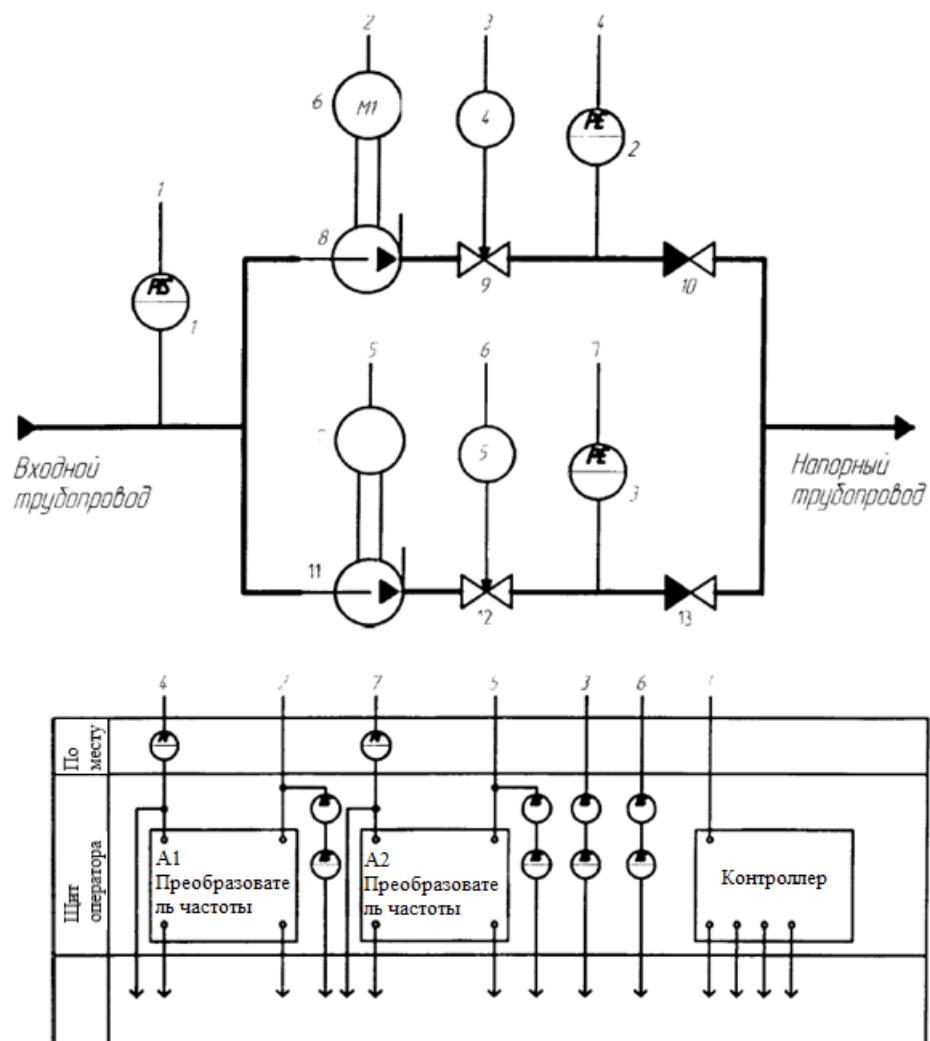
## Приложение А



1 – впускной резервуар для воды; 2 – секция измерения давления воды на входе; 3 – насосная система модели неполного прохода; 4 – выпускной резервуар для воды; 5 – резервуар для воды; 6 – электрическая задвижка; 7 – электромагнитный расходомер; 8 – запорный клапан; 9 – вспомогательный насос; 10 – двигатель с регулируемой частотой вращения постоянного тока; 11 – вакуумный насос; 12 – выпускной секция измерения давления воды; 13 – скоростной измеритель крутящего момента; 14 – двигатель с регулируемой частотой вращения постоянного тока

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема общего расположения испытательного стенда.

## Схема функциональная системы автоматизации



1 - Датчик давления защиты от сухого хода; 2 - Датчик давления S напорном трубопроводе насоса 1; 3 - Датчик давления 6 напорном трубопроводе насоса 2; 4 - Исполнительный механизм регулируемого клапана 1; 5 - Исполнительный механизм регулируемого клапана 2; 6 - Электропривод M1 насоса 1; 7 - Электропривод M2 насоса 2; 8 - Центробежный насос 1; 9 - Регулируемый клапан 1; 10 - Обратный клапан 1; 11 - Центробежный насос 2; 12 - Регулируемый клапан 2; 13 - Обратный клапан 2.

Рисунок 3.1 – Функциональная схема насосной установки

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Зайдулла Е.Г

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции

**Научный руководитель:** Нурлан Сарсенбаев

**Коэффициент Подобия 1:** 3.6

**Коэффициент Подобия 2:** 1.2

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 1

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия.

Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 06.06.22



проверяющий эксперт

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Зайдулла Е.Г

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции

Научный руководитель: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 3.6

Коэффициент Подобия 2: 1.2

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия.

Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 06.05.22

Заведующий кафедрой



**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект студента

Зайдулла Еркебулан Галымжанулы

5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка и исследования автоматической системы  
регулирования двух насосной станции»

Перед дипломантом ставилась задача разработка и исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции.

В ходе выполнения дипломного проекта был выполнен значительный объем работы по сбору материала для описания технологической схемы исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции. Был проведен анализ возможных вариантов управления насосным агрегатом. Способ регулирования с помощью преобразователя частоты со скалярным управлением и обратной связью по давлению. Использовалась модель Delta Electronics VFD4000CP43C-21

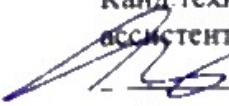
В результате моделирования автоматизированной системы управления были получены графики рабочих параметров системы, проанализированы и учтены все требования, необходимые для модернизации НС.

В среде MATLAB Simulink были получены модели регулятора давления, Модель управления ШИМ, модель насоса.

В процессе работы автор проекта показал себя дисциплинированным, исполнительным и трудолюбивым, с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: Считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студент Зайдулла Еркебулан Галымжанулы допускается к защите.

**Научный руководитель**

Канд. техн. наук,  
ассистент-профессор  
 Сарсенбаев Н. С.

«16» 05. 2022 г.



## РЕЦЕНЗИЯ

На дипломный проект студента

Зайдулла Еркебулан Галымжанулы

5B070200- Автоматизация и управление

На тему: «Разработка и исследования автоматической системы  
регулирования двух насосной станции»

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ:

В пояснительной записке, представленной на рецензирование, показана разработка автоматической системы регулирования двух насосной станции.

В первой главе рассмотрены принципы работы двух насосной станции, таких как центробежных насосы, параллельные и последовательные установки насосов, каскадное управление насосами.

Во второй главе исследования автоматической системы регулирования двух насосной станции, разработки системы двух насосной станции, требования к электроприводу насоса, расчет основных параметров объекта управления, разработка функциональной схемы САР электропривода.

В результате моделирования автоматизированной системы управления были получены графики рабочих параметров системы, проанализированы и учтены все требования, необходимые для модернизации ИС.

### Оценка работы

Дипломный проект соответствует требованиям, актуальна и имеет практическую значимость, дипломный проект выполнен на оценку «отлично», а дипломант Зайдулла Еркебулан Галымжанулы заслуживает присвоения ему академическую степень «бакалавр» по специальности «5B070200 - Автоматизация и управление»

