

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки **13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)**

Отделение **Электроэнергетики и электротехники**

Профиль **Электропривод и автоматика**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматизация технологического процесса гидродинамических исследований скважин на основе системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

УДК 62-83-523:622.276.5.001.42

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4А2	Абулхайров Суннатилло Хасанович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Абулхайрову Суннатилло Хасановичу

Тема работы:

Автоматизация технологического процесса гидродинамических исследований скважин на основе системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3483/с от 06.05.2019г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Гидродинамическое исследование скважин. Нагрузка реактивная, режим работы периодический. Основное требование к электроприводу запорного клапана – точность, дешевизна. Диаметр трубопровода.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Ознакомление с существующей системой ГДИС; составление функциональной схемы автоматизации процесса нагнетания при ГДИС; расчет и выбор необходимого оборудования; построение имитационной модели; анализ социальной безопасности; оценка технического уровня.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Функциональная схема электропривода. Имитационная модель электропривода. Графики переходных процессов.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4А2	Абулхайров Суннатилло Хасанович		05.04.2019г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Реферат

Ключевые слова: Инжект-тест, гидродинамические исследования, асинхронный электродвигатель, скалярное управление,

Объектом изучения являются гидродинамические исследования скважин.

Цель работы – автоматизация процесса нагнетания жидкости при проведении гидродинамических исследований скважин.

В процессе исследования производились: расчет и выбор оборудования, разработка имитационной модели.

В результате исследования выбрано оборудование для автоматизации процесса нагнетания, методом имитационного моделирования получены графики переходных процессов.

Область реализации: добыча углеводородов.

Оглавление

Реферат	6
Введение.....	9
1. Технологический процесс	11
1.1 Технологический процесс гидродинамических исследований	11
1.2 Способы автоматизации гидродинамических исследований	14
1.3 Функциональная схема.....	21
2. Расчет и выбор оборудования. Выбор метода управления асинхронным двигателем.....	22
2.1 Регулирующий клапан с электроприводом	22
2.1.1 Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по справочным техническим данным электродвигателя	24
2.1.2. Расчет естественной механической характеристики.....	28
2.1.3. Расчет искусственных статических характеристик двигателя и нагрузки электропривода при частотном скалярном управлении	33
2.2. Выбор преобразователя частоты	38
2.3. Выбор контроллера	42
2.4. Выбор расходомера и манометра	44
2.5. Выбор метода управления асинхронным двигателем	47
3. Имитационные исследования электропривода в среде MATLAB.....	51
3.1. Имитационная модель асинхронного двигателя.....	51
3.1.1. Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии в АД.....	51
3.1.2. Математическая модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат статора α , β	54
3.2 Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера.....	56
3.3 Система управления электропривода клапана.....	57
3.4 Исследования электропривода запорного игольчатого клапана на имитационной модели	58
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	64
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	65
4.1 SWOT-анализ работы Гидродинамических исследований скважин на НГМК.....	65
4.2 Организация работ технического проекта	68
4.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования	69
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП.....	71
4.4.3 Разработка графика проведения технического проекта	71

4.4. Расчёт затрат на осуществление технического проекта	75
4.4.1 Расчет материальных затрат технического проекта	75
4.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	77
4.4.3 Накладные расходы	78
4.4.4 Формирование сметы затрат технического проекта	78
4.4.5 Определение ресурсоэффективности проекта	79
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	82
Введение	83
5 Производственная безопасность	83
5.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	84
5.2. Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	87
5.3 Экологическая безопасность	88
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
Заключение	92
Conclusion	93
ПРИЛОЖЕНИЕ А	96

Введение

Гидродинамические исследования скважин (ГДИС)– совокупность различных мероприятий, направленных на измерение определенных параметров (давление, температура, уровень жидкости, дебит и др.) и отбор проб пластовых флюидов (нефти, воды, газа и газоконденсата) в работающих или остановленных скважинах и их регистрацию во времени. [15]

Интерпретация ГДИС позволяет оценить продуктивные и фильтрационные характеристики пластов скважин (пластовое давление, продуктивность или фильтрационные коэффициенты, обводненность, газовый фактор, гидропроводность, проницаемость, пьезопроводность, скин-фактор), а также особенности околоскважинной и удаленной зон пласта. Эти исследования являются прямым методом определения фильтрационных свойств горных пород в условиях залегания, характера насыщения пласта (газ, нефть, вода) и физических свойств пластовых флюидов (плотность, вязкость, объемный коэффициент, сжимаемость, давление насыщения). [15]

Целью данной дипломной работы является автоматизация процесса гидродинамического исследования скважин.

Исходя из поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- ознакомление с существующей системой ГДИС;
- составление функциональной схемы автоматизации процесса нагнетания при ГДИС;
- расчет и выбор необходимого оборудования;
- построение имитационной модели.
- анализ социальной безопасности;
- оценка технического уровня.

Объектом исследований является схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин (инжект–тест) с использованием проходного регулировочного клапана.

Теоретической и методологической основой дипломной работы является диалектико–материалистический подход к изучению автоматизации технологического процесса гидродинамических исследований скважин на основе системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель», общенаучные методы исследования, системный подход, анализ и синтез, статистические наблюдения, экспертные оценки.

1. Технологический процесс

1.1 Технологический процесс гидродинамических исследований

Угольный пласт представляет собой нетрадиционный коллектор трещиновато–пористого типа с двойной пористостью. Микропористость матрицы угля, содержащая на поверхности сорбированный метан, характеризуется значениями проницаемости в 10^{-9} мкм², макропористая проницаемость сформированная системой трещин эндогенной отдельности и слоистости – кливажем. Размеры пустот колеблются от нескольких ангстрем до миллиметров и определяют широкий диапазон значений проницаемости углей, достигающих 0,1 мкм². При рассмотрении конкретного геолого–структурного элемента метаноугольного месторождения на значения проницаемости оказывают влияние много факторов, таких как, напряженно–деформированное состояние массива, метаморфизм, микрокомпонентный состав и физико–механические свойства углей. [4]

В условиях открытых гидрогеологических систем, к которым относится большинство метаноугольных месторождений Кузбасса, пластовое давление близко к гидростатическому. При снижении давления в угольном пласте до критического давления десорбции начинается процесс фазового перехода метана из сорбированного состояния в свободное. Газ диффузионным потоком направляется в трещины различного порядка с последующей фильтрацией к скважине. Постепенно понижая уровень воды в скважине ниже наиболее глубокого продуктивного пласта, формируется депрессионная воронка, в пределах которой основным флюидом в пластах является метан. Поэтому фильтрационные свойства вскрытых пластов угля определяют зону влияния скважины, динамику выхода скважины на максимальные дебиты и, как следствие, применяемые технологии разработки месторождений. [4]

Определение проницаемости угольных пластов и оценка состояния около скважинного пространства на всех этапах поисково–разведочных

работ и разработки метанугольных месторождений является одной из основных геолого–промысловых задач. Предпочтительным методом получения необходимой информации о фильтрационных характеристиках угольных пластов являются гидродинамические исследования скважин (ГДИС). [4]

Данные, полученные при гидродинамических исследованиях, используются как исходные для гидродинамического моделирования, позволяют выбирать технологии интенсификации притока газа и осуществлять выбор оптимального режима работы технологического оборудования скважины на периоды освоения и эксплуатации скважины. [4]

При исследовании большого количества объектов в разведочных скважинах важно выбрать оптимальный метод ГДИС, который позволит получить в сжатые сроки корректные значения фильтрационных характеристик продуктивных горизонтов. На начальных этапах разработки месторождений до вызова притока флюида из угольных пластов, когда основная система трещинных каналов заполнена пластовой жидкостью эффективным методом исследования фильтрационных характеристик угольных пластов является инжект–тест. Целью данной статьи является рассмотрение особенностей проведения гидродинамических исследований на репрессии в средне– и низкопроницаемых коллекторах, а также составление возможных вариантов автоматизации процесса нагнетания, что повысит эффективность и точность инъекционного теста. [4]

Инжект–тест реализуется нагнетанием жидкости в пласт на протяжении определенного периода времени и последующим закрытием скважины и регистрацией кривой изменения забойного давления. В научных работах зарубежные специалисты отмечают, что при проведении таких испытаний фильтрационный поток в системе трещин считается однофазным, интерпретация таких исследований значительно упрощается по сравнению с технологиями ГДИС при многофазном потоке, которые учитывают

относительные фазовые проницаемости.[4]Схема компоновки подземного оборудования, используемого при проведении инжект-теста, представлена на рисунке 1.

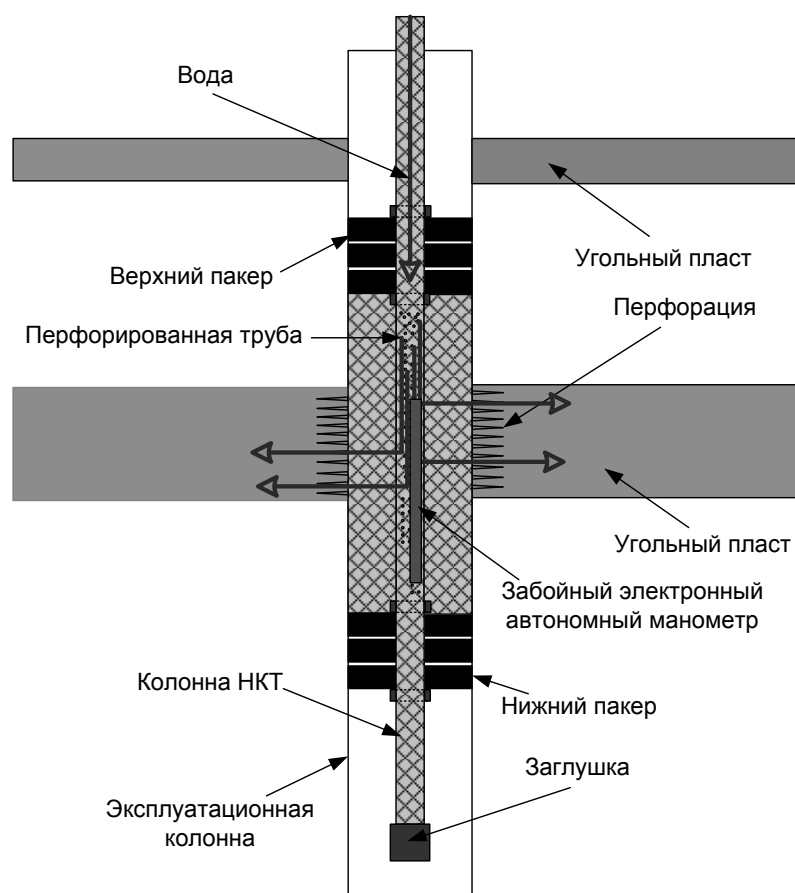


Рисунок 1 – Схема компоновки подземного оборудования, используемого при проведении инжект-теста

1.2 Способы автоматизации гидродинамических исследований

Для осуществления правильной интерпретации гидродинамических исследований проводимых в скважинах необходимо иметь надежные входные параметры, определяющие физические свойства горного массива вмещающего угольные пласты и фильтрующиеся в нем флюиды. При планировании ГДИС необходимо определить время нагнетания жидкости в угольный пласт, время регистрации кривой падения давления, расходы жидкости при закачке. [4]

При математическом описании гидродинамических процессов, происходящих в пласте во время испытания, предполагается, что пласт является горизонтальным с постоянной мощностью, бесконечным по протяженности, однородным и изотропным по своей структуре и без нарушений (экранов, сбросов и т.д.) в зоне исследования. [4]

Первым шагом при планировании инжект-теста является оценка времени влияния объема ствола скважины.

Необходимо отметить, что если расход жидкости подобран правильно и будет поддерживается постоянным, то устьевое давление в скважине при проведении испытания будет оставаться избыточным, что устранил изменение коэффициента влияния ствола скважины, а самое главное упростит последующую интерпретацию данных ГДИС. [4]

В период закачки при создании возмущения в прискважинной зоне необходимо проводить непрерывный мониторинг устьевое и забойного давления и поддерживать постоянный расход жидкости. Поскольку угольные пласты обладают низкой проницаемостью и высокой сжимаемостью порово-трещинного пространства (в пределах от $1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/кПа до $5 \cdot 10^{-5}$ 1/кПа), то даже незначительная закачка жидкости в исследуемый объект приводит к раскрытию трещинных каналов в результате чего, происходит

изменение скорости фильтрации потока жидкости в системе скважина–пласт и замечаются изменения в работе насосного оборудования. [4]

Существующие способы проведения инжект–теста, используемые в настоящее время предполагают участие оператора, который должен в течение длительного времени с помощью вентиля поддерживать необходимый расход и давление в системе. Т.к. ранее решения подобных задач в открытой литературе не рассматривались, для автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях авторами были разработаны схемы с использованием мехатронных узлов, которые позволяют с высокой точностью автоматизировать процесс инжектирования. Рассмотрим автоматизацию процесса нагнетания подробнее. [4]

Одним из простых решений автоматизации гидродинамических исследований скважин на репрессии является использование регулируемого насоса высокого давления. Схема автоматизации представлена на рисунке 2.

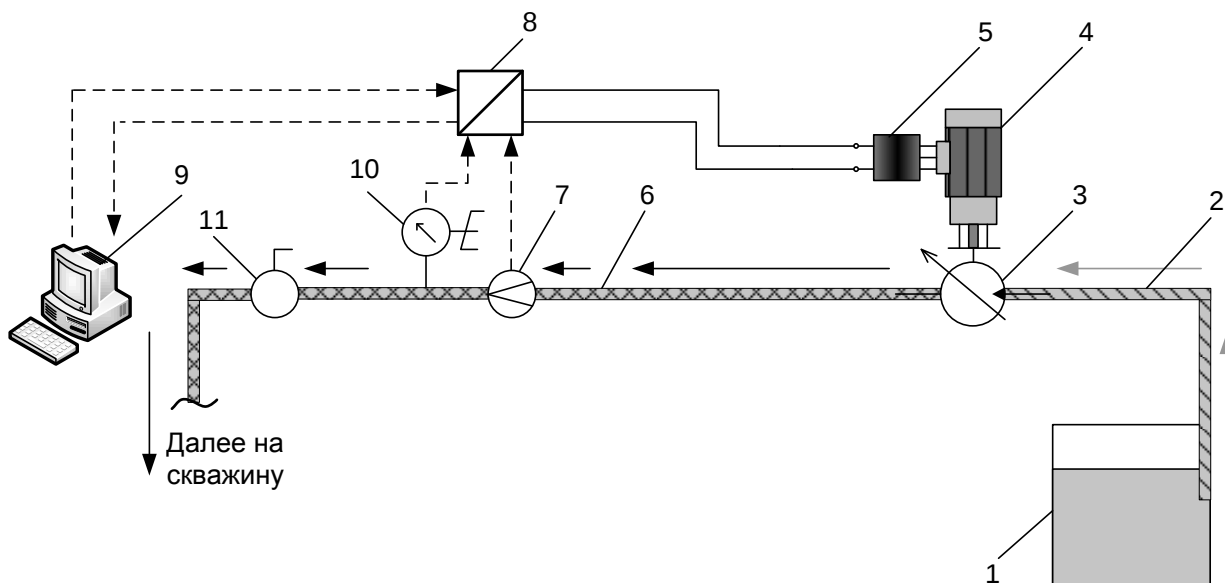


Рисунок 2 – Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин методом репрессии с использованием регулируемого насоса высокого давления

Из емкости 1 по трубопроводу низкого давления 2 вода подводится к регулируемому насосу высокого давления 3, приводимого в движение асинхронным двигателем (АД) 4, скорость которого регулируется преобразователем частоты 5. Далее по трубопроводу высокого давления 6 жидкость направляется через расходомер 7 в скважину. Данные с расходомера 7 снимаются, обрабатываются программируемым логическим контроллером 8, в котором формируется задание для преобразователя частоты 5. Для визуального отображения информации в реальном времени, и записи данных в определенном формате, используется персональный компьютер 9. После достижения в скважине необходимого давления снимаемого электронным манометром 10, нагнетательный трубопровод закрывается при помощи шарового крана 11. Процесс инжектирования закончен. [4]

Данная схема является простой и логичной с одной стороны, но она обладает существенным недостатком. Существующие общепромышленные насосы не смогут обеспечить малый расход при высоком давлении. Расход должен фиксироваться расходомером 7 и составлять 50–300 л/час при давлении более 10 МПа. Проектирование глубоко регулируемого электропривода насоса высокого давления является трудоемкой и неоправданной задачей. [4]

На рисунке 3 представлена схема автоматизации гидродинамических исследований скважин методом инжектирования с использованием проходного регулировочного клапана. Схема работает следующим образом. [4]

Из емкости 1 по трубопроводу низкого давления 2 жидкость подводится к нерегулируемому насосу высокого давления 3, далее по трубопроводу высокого давления 4 жидкость подводится к тройнику 5, разделяющему жидкость на два потока рабочий и сбросной. [4]

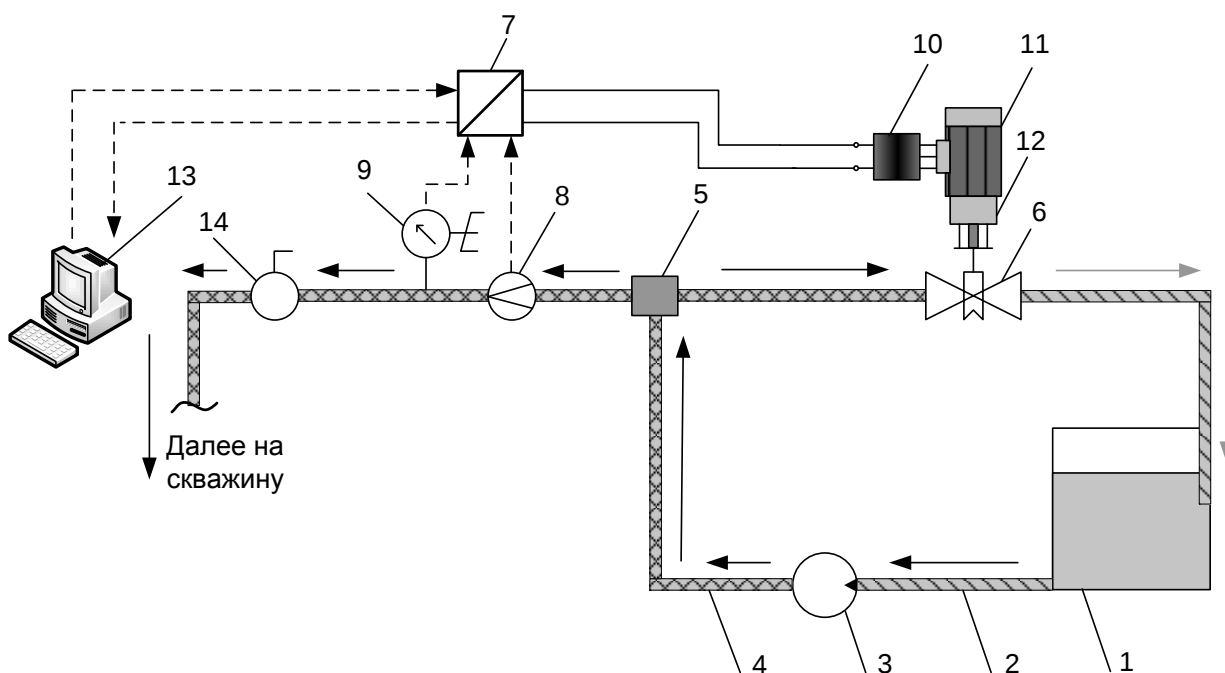


Рисунок 3 –Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин (инжект–тест) с использованием проходного регулировочного клапана

Рабочий поток жидкости после тройника направляется через расходомер в скважину. Так как производительность нерегулируемого насоса больше требуемого расхода нагнетания жидкости в скважину, то часть жидкости направляется по обратному трубопроводу через проходной регулировочный клапан 6 в емкость 1. Таким образом, изменяя количество сбрасываемой жидкости, можно поддерживать расход нагнетания жидкости в скважину на определенном уровне. [4]

Контроль расхода нагнетания жидкости поступающей в скважину, обеспечивает программированный логический контроллер 7, основываясь на данных получаемых с расходомера 8 и датчика давления 9. Сигналы снимаются, обрабатываются, и формируется задание на преобразователь частоты 10, который в свою очередь управляет асинхронным двигателем 11. Далее двигатель через понижающий редуктор 12 поворачивает шток регулировочного клапана 6, тем самым изменяя количество проходящей жидкости.

Для визуального отображения информации в реальном времени, и записи данных, используется персональный компьютер 13. [4]

После достижения в скважине необходимого давления снимаемого электронным манометром 9, нагнетательный трубопровод закрывается при помощи шарового крана 14. [4]

Предложенная схема обладает рядом недостатков, таких как низкий КПД системы, т.к. бóльшая часть жидкости, подаваемая насосом 3 сбрасывается обратно в емкость 1. Расходомер 8 должен являться точным прибором, позволяющий измерять небольшой расход 50–300 л/час при высоком давлении (более 10 МПа). Однако, приведенная схема позволяет с высокой точностью производить процесс инжектирования, а электро- и гидрооборудование, необходимое для реализации является доступным. [4]

Для исключения дорогостоящего расходомера, который включен в трубопроводе высокого давления, можно видоизменить схему, путем переноса расходомера в сбросной трубопровод. Измененная схема представлена на рисунке 4. Данная схема позволяет использовать более дешевый расходомер 8, который будет измерять более высокий расход с меньшим давлением, но информацию о реальном расходе жидкости, поступающей в скважину будем узнавать косвенно. Косвенное измерение расхода несколько снизит точность процесса нагнетания. [4]

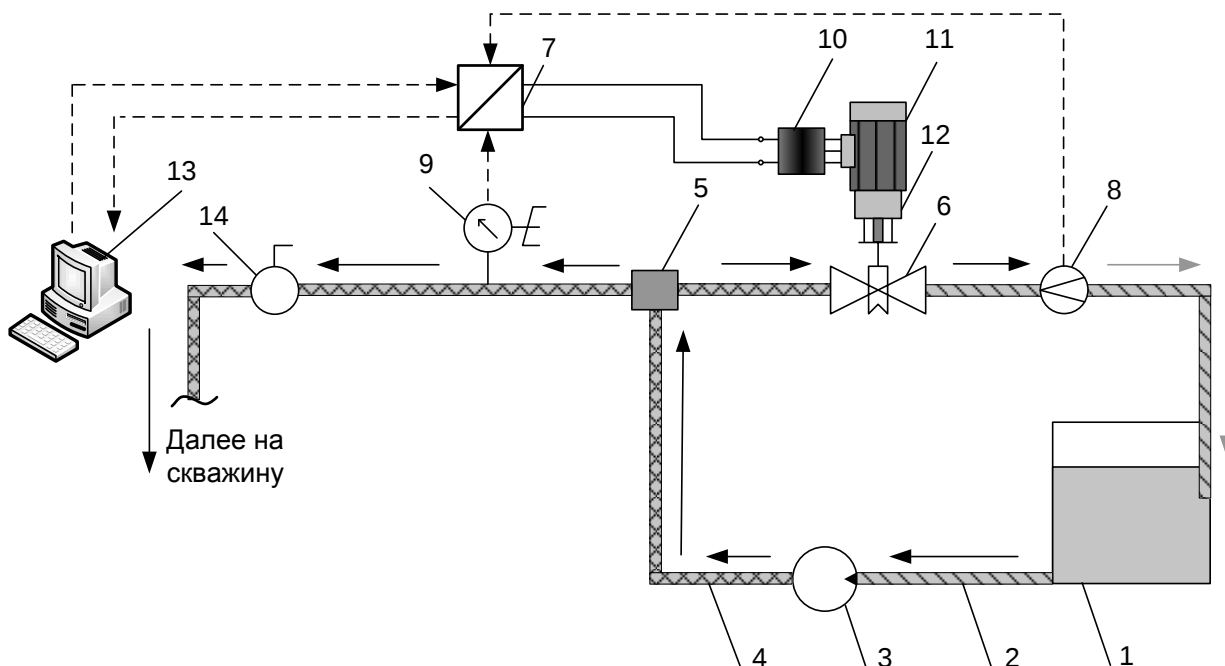


Рисунок 4 – Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин (инжект–тест) с использованием проходного регулировочного клапана

На рисунке 5 представлена схема автоматизации гидродинамических исследований скважин нагнетанием с использованием регулировочного трехходового клапана. Тройник 5 и регулировочный клапан 6 (рисунок 4) совмещены в одном устройстве – трехходовой клапан 5 (рисунок 5), который регулирует разделение потока жидкости на рабочий и сбросной. Данный механический узел облегчает схему автоматизации процесса инжектирования в целом, но является дорогостоящим и уступает схемам, приведенным на рисунках 3 и 4. [4]

1.3 Функциональная схема

В данной дипломной работе была выбрана схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин с использованием проходного регулировочного клапана. Функциональная схема такой системы представлена на рисунке 6.

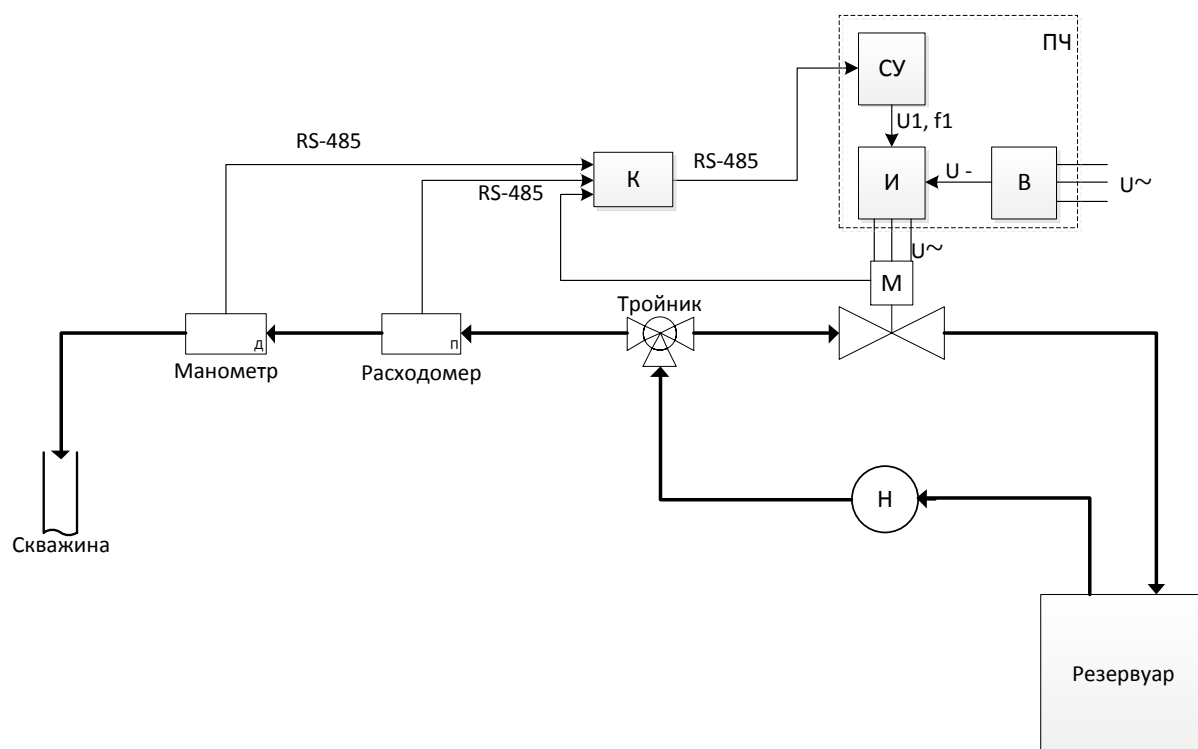


Рисунок 6 – Функциональная схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин с использованием проходного регулировочного клапана

Насос Н подает воду из резервуара в скважину через тройник, расходомер и манометр. Необходимо поддерживать постоянное давление и расход воды. На контроллер К поступают данные с расходомера, манометра и концевых выключателей игольчатого клапана. Если происходит отклонение регулируемой величины на небольшое значение контроллер подает сигнал на преобразователь частоты ПЧ и двигатель М запускается при пониженной

частоте. Если же необходимо изменить положение иглы клапана на большое значение двигатель работает при повышенной частоте.

2. Расчет и выбор оборудования. Выбор метода управления асинхронным двигателем

2.1 Регулировочный клапан с электроприводом

Для реализации данной схемы выбран игольчатый регулирующий клапан с электроприводом марки ПЭМ–А16. Привод изображен на рисунке 7. Параметры данного привода приведены в таблице 1.

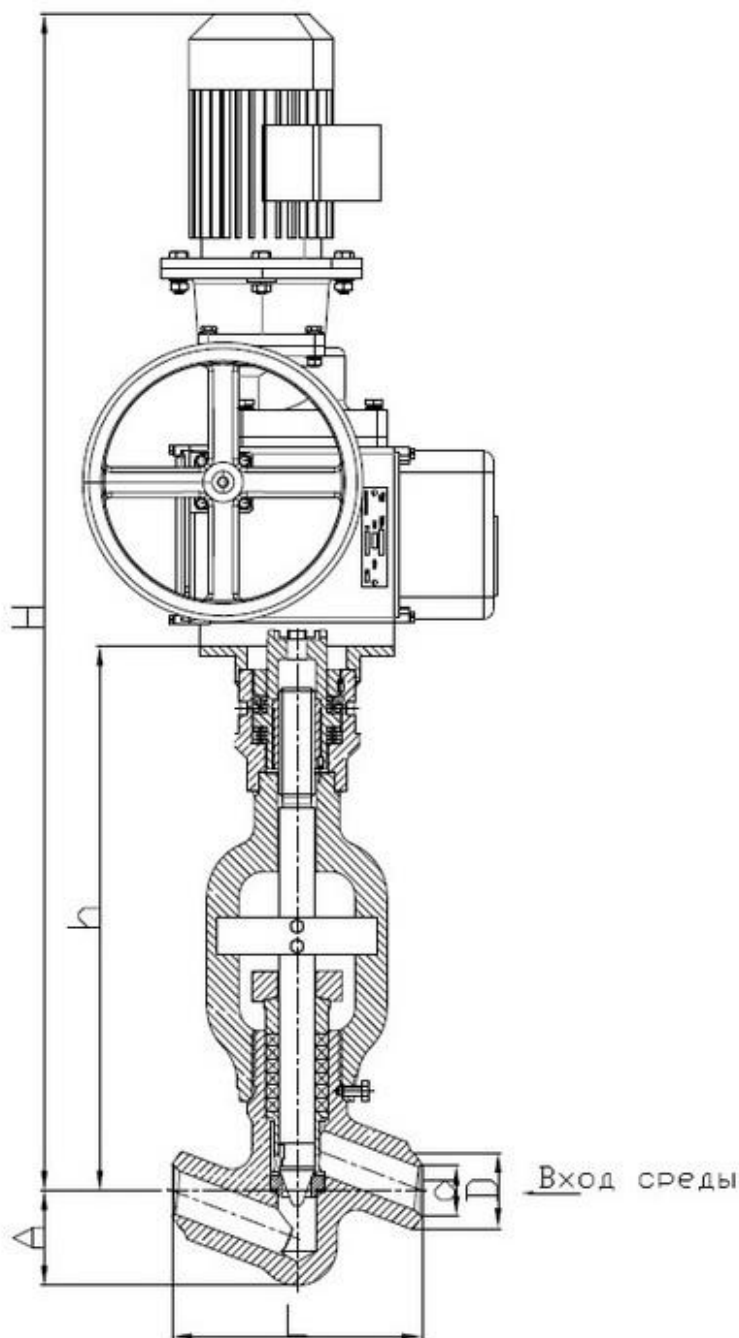


Рисунок 7 – Игольчатый регулирующий клапан с электроприводом марки ПЭМ–А16

Таблица 1 – Параметры электропривода марки ПЭМ–А16

Диапазон настройки крутящего момента на выходном валу, Н·м	Частота вращения выходного вала, об/мин	Число оборотов выходного вала, необходимое для закрытия (открытия) арматуры, об		Передаточное число от маховика ручного привода к выходному валу	Мощность электродви- гателя кВт, не более	Масса, кг
		мин.	макс.			
70–110	24 ± 4,8	10	45	56	0,25	22

Назначение привода

Приводы изготавливаются для работы в кратковременном режиме работы при максимальной нагрузке продолжительностью не более 5% полного хода выходного вала. [6]

Длительный режим работы для приводов допускается при нагрузке на выходном валу не более 60% от максимального момента.

Приводы предназначены для дистанционного и местного управления запорно-регулирующей трубопроводной арматурой, устанавливаемой в закрытых помещениях и на открытых площадках под навесом.

Приводы устанавливаются непосредственно на трубопроводной арматуре или на промежуточных конструкциях с любым расположением привода в пространстве, определяемым положением трубопроводной арматуры.

Приводы позволяют осуществлять:

- открытие и закрытие прохода арматуры с дистанционного пульта управления и установку запорного устройства арматуры в любом промежуточном положении;
- автоматическое отключение двигателя при достижении заданного крутящего момента на выходном валу привода или при заедании подвижных частей арматуры;
- автоматическое отключение электродвигателя при достижении запорным устройством арматуры крайних положений («Открыто», «Закрыто»);
- сигнализацию на пульте управления о положении рабочего органа запорного устройства арматуры и о срабатывании ограничителей крутящего момента;
- указание положения рабочего органа запорного устройства арматуры на шкале местного указателя;
- указание положения рабочего органа запорного устройства арматуры по выходному сигналу; [6]

2.1.1 Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по справочным техническим данным электродвигателя

В электроприводе марки ПЭМ–А16 используется асинхронный электродвигатель марки АИР63В6. Справочные данные двигателя приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Справочные данные двигателя

Тип электродвигателя	n_n , об/мин	n_0 , об/мин	f_{1n} , Гц	z_p	$P_{дв.н}$, кВт	U_{1n} , В
АИР63В6	860	1000	50	3	0,25	220

Продолжение таблицы 2

I_n , А	M_n , Нм	s_n , о.е.	s_k , о.е.	$\cos \varphi_n$, о.е.	$\cos \varphi_{0,75}$, о.е.	η_n , о.е.
-----------	------------	--------------	--------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------

1,036	2,776	0,14	0,842	0,62	0,52	0,59
-------	-------	------	-------	------	------	------

Продолжение таблицы 2

$\eta_{0,75}$, о.е.	$J_{дв}$, кгм ²	$m_{п}$	$m_{к}$	$m_{мин}$	k_i	Степень защиты
0,59	0,0022	2	2,2	1,6	4	IP55

Так как в справочной литературе отсутствуют параметры схемы замещения электродвигателя в относительных единицах, то они в абсолютных единицах могут быть определены по справочным техническим данным двигателя по приведенным ниже выражениям. [9]

Номинальный ток двигателя

$$I_{1н} = \frac{P_{двн}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{250}{3 \cdot 220 \cdot 0.62 \cdot 0.59} = 1.036, \text{ А} \quad (2.1)$$

Ток холостого хода двигателя

$$I_0 = I_{1н} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p*}}{I_{1н}}\right)^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_n)}{(1 - p^* \cdot s_n)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_n)}{(1 - p^* \cdot s_n)}\right]^2}} = 1.036 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{0.926}{1.036}\right)^2 - \left[\frac{0.75 \cdot (1 - 0.14)}{(1 - p^* \cdot s_n)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0.75 \cdot (1 - 0.14)}{(1 - 0.75 \cdot 0.14)}\right]^2}} = 0.791, \text{ А} \quad (2.2)$$

где

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P_{двн}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot (\cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*})} = \frac{0.75 \cdot 250}{3 \cdot 220 \cdot (0.52 \cdot 0.59)} = 0.926, \text{ А} \quad \text{— ток фазы статора при ча-}$$

стичной нагрузке;

p^* — степень загрузки;

η_{p*} , $\cos \varphi_{p*}$ — КПД и коэффициент мощности в режиме частичной загрузки. При отсутствии данных об энергетических показателях при частичной нагрузке могут быть использованы их усредненные значения для низковольтных асинхронных электродвигателей. [9]

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_{двн} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.14)}{2 \cdot 2.2 \cdot 250 \cdot 1.095^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.842} \right)} = 43.237, \text{ Ом} \quad (2.3)$$

где

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\Phi H}} = 1 + \frac{0.791}{2 \cdot 4 \cdot 1.036} = 1.095 \text{ — коэффициент, характеризующий}$$

соотношение $(X_\mu + X_{1\sigma}) / X_\mu$;

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_K + \sqrt{m_K^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)} =$$

$$= 0.14 \cdot \frac{2.2 + \sqrt{2.2^2 - [1 - 2 \cdot 0.14 \cdot 1 \cdot (2.2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.14 \cdot 1 \cdot (2.2 - 1)} = 0.842 \quad (2.4)$$

— критическое скольжение;

$\beta = 0.6 \div 2.5$ — коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора. Значение коэффициента β рекомендуется принимать, ориентируясь на соотношение сопротивлений $\frac{R_1'}{R_2'}$

, приводимых в справочных данных для двигателей, соответствующей мощности и синхронной скорости. В общем случае для двигателей с малым значением номинального скольжения следует выбирать $\beta \geq 1$, а для двигателей с повышенным скольжением — $\beta \leq 1$. [9]

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме

$$R_1 = R_2' \cdot \beta \cdot C_1 = 43.237 \cdot 1 \cdot 1.095 = 47.365, \text{ Ом} \quad (2.5)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме

$$X_{\text{кн}} = R_2' \cdot \gamma \cdot C_1 = 43.273 \cdot 0.641 \cdot 1.095 = 30.368, \text{ Ом}, (2.6)$$

$$\text{где } \gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\text{к}}}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.842}\right)^2 - 1^2} = 0.641 - \text{коэффициент, характеризующий соотношение}$$

$$X_{\text{кн}} / R_2'$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 0.42 \cdot 30.368 = 12.754, \text{ Ом}. (2.7)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{12.754}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.041, \text{ Гн}. (2.8)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме

$$X_{2\sigma}' = 0.58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{30.368}{1.095} = 16.078, \text{ Ом}. (2.9)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{16.078}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.051, \text{ Гн}. (2.10)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{181.771}{0.791} = 229.869, \text{ Ом}, (2.11)$$

$$\begin{aligned} \text{где } E_1 &= \sqrt{(U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{фн}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sin \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{фн}} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.62 - 1.036 \cdot 47.365)^2 + (220 \cdot 0.78 - 1.036 \cdot 12.754)^2} = 181.771, \text{ В} \end{aligned} \quad (2.12)$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем), в номинальном режиме, В. [9]

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{229.869}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.732, \text{ Гн.} \quad (2.13)$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя:

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 43.237}{104.7 \cdot 0.14 \cdot \left[30.368^2 + \left(47.365 + \frac{43.237}{0.14} \right)^2 + \left(\frac{47.365 \cdot 43.237}{0.14 \cdot 229.869} \right)^2 \right]} = 3.048, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad ;(2.14)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0.7317}{(0.7317 + 0.051)} \cdot 0.818 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{1.036^2 - 0.791^2} = 3.015, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad ;(2.15)$$

$$\text{где } \Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 0.791 \cdot 0.7317 = 0.818, \text{ Вб.} \quad (2.16)$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}}; \quad M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^*.$$

В результате расчета будут определены параметры двигателя, ток холостого хода I_0 и номинальное значение потокосцепления ротора Ψ_{2H} . [9]

2.1.2. Расчет естественной механической характеристики

Таблица 3 – Расчетные параметры двигателя

β	R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	L_m , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом
1	47,365	12,754	0,041	0,7317	43,237	16,078

Продолжение таблицы 3

$L'_{2\sigma}, \Gamma H$	$X_{KH}, \Omega M$	$L_1, \Gamma H$	$L'_2, \Gamma H$	$\sigma, o.e.$	$R_{1\sigma}, \Omega M$	$T_{1\sigma}, c$
0,051	30,368	0,7727	0,7827	0,11476	85,151	0,00104

Продолжение таблицы 3

T_2, c	I_{01}, A	$\psi_{2H}, B\phi$	$M_{\text{эм.н}}, H\cdot M$	$M_{\text{с.дв}}, H\cdot M$	$M_{\text{эм.к}}, H\cdot M$	
0,01810	0,791	0,818	3,048	0,472	6,615	

Естественная механическая характеристика $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1H} = 50$ Гц рассчитывается по выражению

$$M_{\text{эм}}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, \quad (2.17)$$

где $M_{\text{эм}}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M_{\text{эм}})$ (рисунок 1), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \frac{\text{рад}}{c}.$$

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

– значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении s_H

$$\begin{aligned} M_{\text{эм}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 43.237}{104.72 \cdot 0.14 \cdot \left[30.368^2 + \left(47.365 + \frac{43.237}{0.14} \right)^2 + \left(\frac{47.365 \cdot 43.237}{0.14 \cdot 229.869} \right)^2 \right]} = 3.048, H \cdot M \end{aligned} \quad (2.18)$$

– значение критического скольжения

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1'}{X_\mu}\right)^2}{R_1'^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 43.237 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{47.365}{229.869}\right)^2}{47.365^2 + 30.368^2}} = 0.785 ; (2.19)$$

– значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении

$$M_{\text{эм}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_k \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1' + \frac{R_2'}{s_k}\right)^2 + \left(\frac{R_1' \cdot R_2'}{s_k \cdot X_\mu}\right)^2 \right]} = ; (2.20)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 43.237}{104.72 \cdot 0.785 \cdot \left[30.368^2 + \left(47.365 + \frac{43.237}{0.785}\right)^2 + \left(\frac{47.365 \cdot 43.237}{0.785 \cdot 229.869}\right)^2 \right]} = 6.615, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

– значение момента от сил трения двигателя

$$\Delta M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}}^* - M_{\text{дв.н}}, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

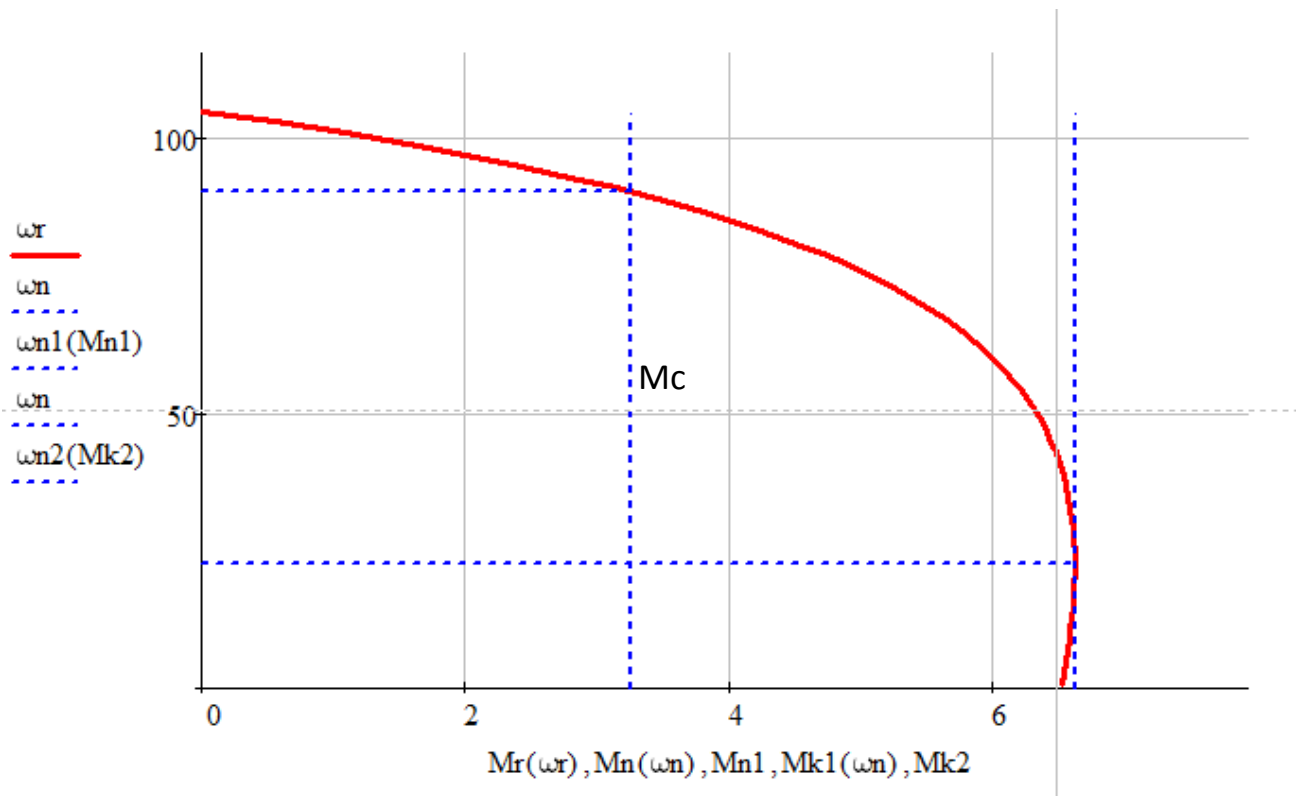


Рисунок 8 – Естественная механическая характеристика

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^{*2} + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0^* \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, (2.21)$$

где $I_1 = I_{1\Phi}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}, (2.22)$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0^* = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{47,365^2 + (12,754 + 229,869)^2}} = 0.89, \text{ А}, (2.23)$$

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}. (2.24)$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (рисунок 9), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s), \frac{\text{рад}}{\text{с}}. (2.25)$$

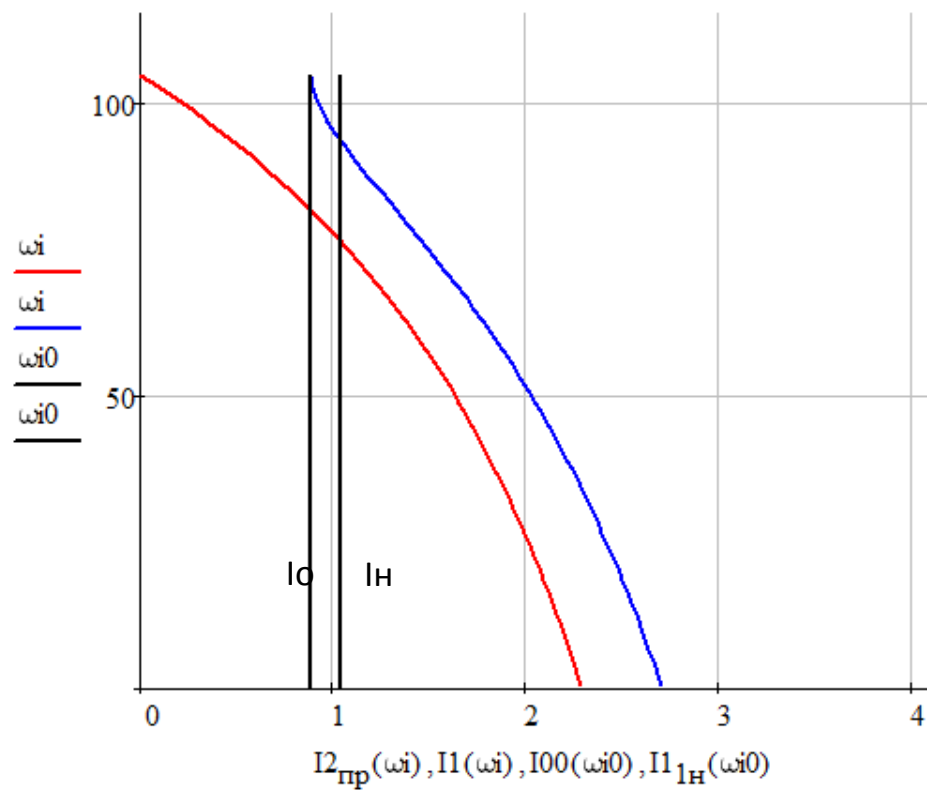


Рисунок 9 – Естественная электромеханическая характеристика

2.1.3. Расчет искусственных статических характеристик двигателя и нагрузки электропривода при частотном скалярном управлении

При скалярном управлении необходимо рассчитать и построить семейство механических и электромеханических характеристик электродвигателя в диапазоне частот от $f_{1\text{мин}}$ до $f_{1\text{макс}}$. Минимальное значение частоты следует принять 3–5 Гц, а максимальная частота определяется исходя из заданного значения максимальной скорости электропривода

$$f_{1\text{макс}} = f_{1н} \cdot \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{\omega_{н}}, \text{ Гц.} \quad (2.26)$$

Рассчитать и построить семейство механических характеристик $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя в выбранном диапазоне частот f_1 . Искусственная механическая характеристика $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя для частоты f_1 рассчитывается по выражению

$$M_{\text{эм}}(s) = \frac{3 \cdot (U_{1\phi н} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}})^2 \cdot R_2'}{\omega_0(\frac{f_1}{f_{1н}}) \cdot s \cdot \left[\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \cdot \frac{f_{1н}}{f_1} \right)^2 \right]}, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.27)$$

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M_{\text{эм}})$ для частоты f_1 , где значение угловой скорости вращения двигателя находится по выражению

$$\omega = \omega_0(f_1) \cdot (1 - s), \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.28)$$

На полученное семейство механических характеристик $\omega(M_{\text{эм}})$ нанести следующие значения или зависимости от скорости электромагнитных моментов двигателя:

- номинального $M_{\text{эм.н}}$;
- минимальной нагрузки $M_{\text{с эм.мин}}(\omega) = M_{\text{с мин}}(\omega) + \Delta M_{\text{с дв}}$;

– максимальной нагрузки $M_{с\text{ эм. макс}}(\omega) = M_{с\text{ макс}}(\omega) + \Delta M_{с\text{ дв}} ;$

– желаемое значение максимального электромагнитного момента двигателя

$$M_{\text{эм. макс}}(\omega) = M_{\text{эп. макс}}(\omega) + \Delta M_{с\text{ дв}} , \quad (2.29)$$

где $M_{\text{эп. макс}}(\omega)$ – желаемое значение максимального момента электропривода, выбирается из условия $M_{\text{эп. макс}}(\omega) = (1.5 \div 2) \cdot M_{\text{дв. н}} . [9]$

Рассчитать и построить семейство электромеханических характеристик $I_1(s)$ электродвигателя в выбранном диапазоне частот f_1 . Искусственные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя для частоты f_1 рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^{*2} + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0^* \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} , \quad (2.30)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi\text{ н}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ н}}}\right)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ н}}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \cdot \frac{f_{1\text{ н}}}{f_1}\right)^2}} \quad (2.31)$$

– приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0^* = \frac{U_{1\phi\text{ н}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ н}}}\right)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ н}}}\right)^2}} , \quad (2.32)$$

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ н}}}\right)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ н}}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \cdot \frac{f_{1\text{ н}}}{f_1}\right)^2}} . \quad (2.33)$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ для частоты f_1 , где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right) \cdot (1 - s), \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.34)$$

На полученное семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ нанести значения или зависимости от скорости следующих токов:

- номинального тока двигателя $I_{1фн}$;
- длительно допустимого тока двигателя

$$I_{1ф \text{ длит. доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{1фн} \cdot \left[k + (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega}{\omega_{дв.н}} \right] & \text{при } \omega \leq 0.5 \cdot \omega_{дв.н}; \\ I_{1фн} & \text{при } \omega > 0.5 \cdot \omega_{дв.н}, \end{cases} \quad (2.35)$$

где k коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном ротор;

- номинального тока инвертора $I_{и.н}$;
- максимального тока инвертора $I_{и.макс}$.

На семействе механических характеристик $\omega(M_{эм})$ выбрать значения частот f_1 , для которых не выполняется условие

$$M_{эм.к}(f_1) \geq M_{эм.макс}.$$

Для этих частот подобрать значения напряжения двигателя

$$U_{1ф}(f_1) = U_{1фн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} + \Delta U_{1ф}(f_1), \text{ где } \Delta U_{1ф} \approx R_1 \cdot I_{1ф}, \quad (2.36)$$

обеспечивающие требуемый максимальный электромагнитный момент двигателя. При этих значениях напряжения двигателя рассчитать новые механические характеристики и нанести их на семейство механических характеристик $\omega(M_{эм})$. [9]

С учетом подобранных значений $U_{1\phi}(f_1)$ рассчитать новые электромеханические характеристики двигателя и нанести их на семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$.

На семействе механических характеристик $\omega(M_{\text{эм}})$ построить расчетную зависимость от скорости длительно допустимого момента электродвигателя $M_{\text{эм.длит.доп}}(\omega)$, соответствующую зависимости длительно допустимого тока двигателя от скорости $I_{1\phi.\text{длит.доп}}(\omega)$. Проверить выполнение условия правильного выбора двигателя по мощности

$$M_{\text{эм.длит.доп}} \geq M_{\text{сэм.макс}} \quad (2.37)$$

во всем диапазоне регулирования скорости. [9]

Выбрать постоянное значение максимального тока электропривода (действующего значения фазного тока) $I_{\text{эл.макс}} = I_{1\phi.\text{макс}}$ из условия

$$I_{\text{эл.макс}} < I_{\text{и.макс}} \cdot \quad (2.38)$$

На семействе электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ построить зависимость кратковременного допустимого тока электродвигателя

$$I_{\text{эл.макс}}(\omega) = \text{const}.$$

На семействе механических характеристик $\omega(M_{\text{эм}})$ построить расчетную зависимость от скорости максимального электромагнитного момента $M_{\text{эм.макс}}(\omega)$, соответствующую выбранному постоянному значению максимального тока электропривода $I_{\text{эл.макс}}(\omega) = \text{const}$. Проверить выполнение условий правильного выбора двигателя по мощности:

$$M_{\text{эм.макс}}(\omega) < M_{\text{эм.к}}; \quad (2.39)$$

$$M_{\text{эм.макс}}(\omega) = (1.5 \div 2) \cdot M_{\text{эм.н}} \quad (2.40)$$

во всем диапазоне регулирования скорости. [9]

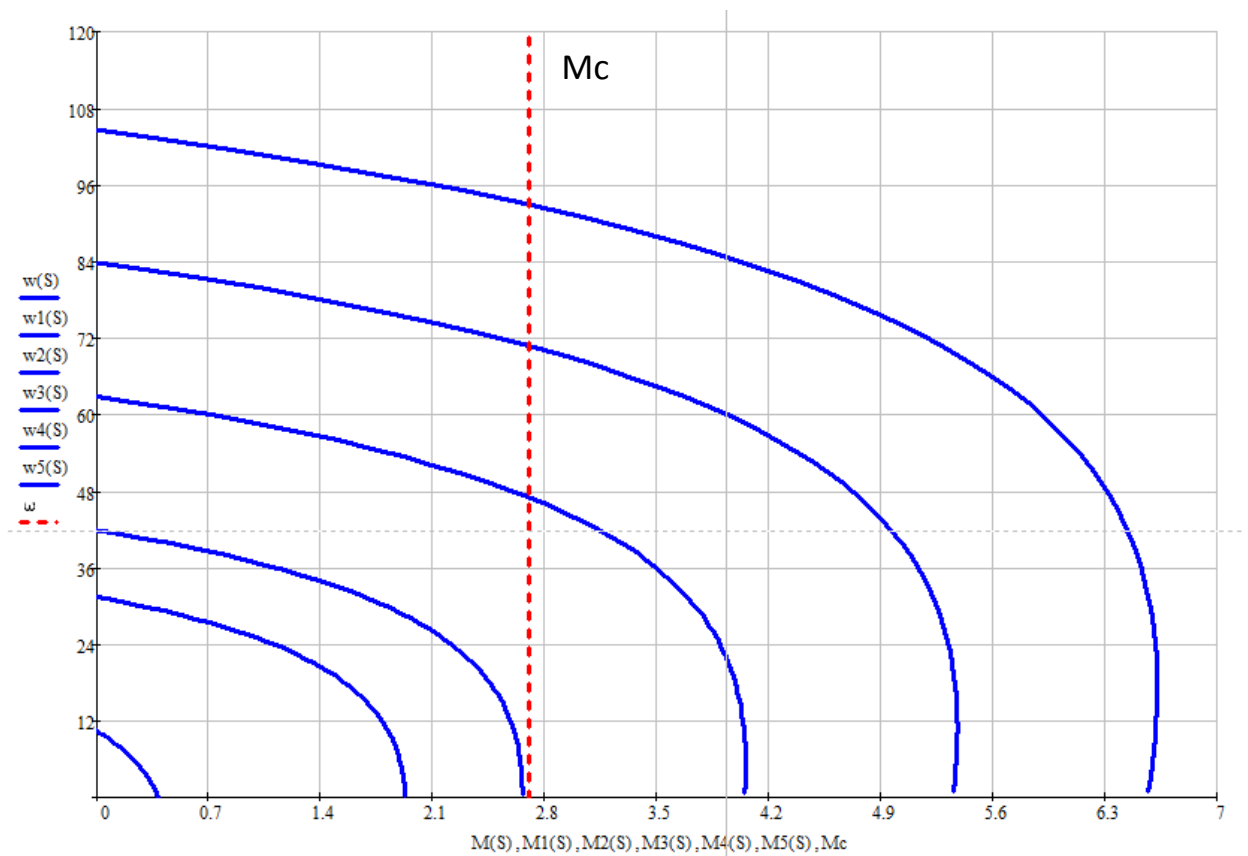


Рисунок 10 – Семейство механических характеристик

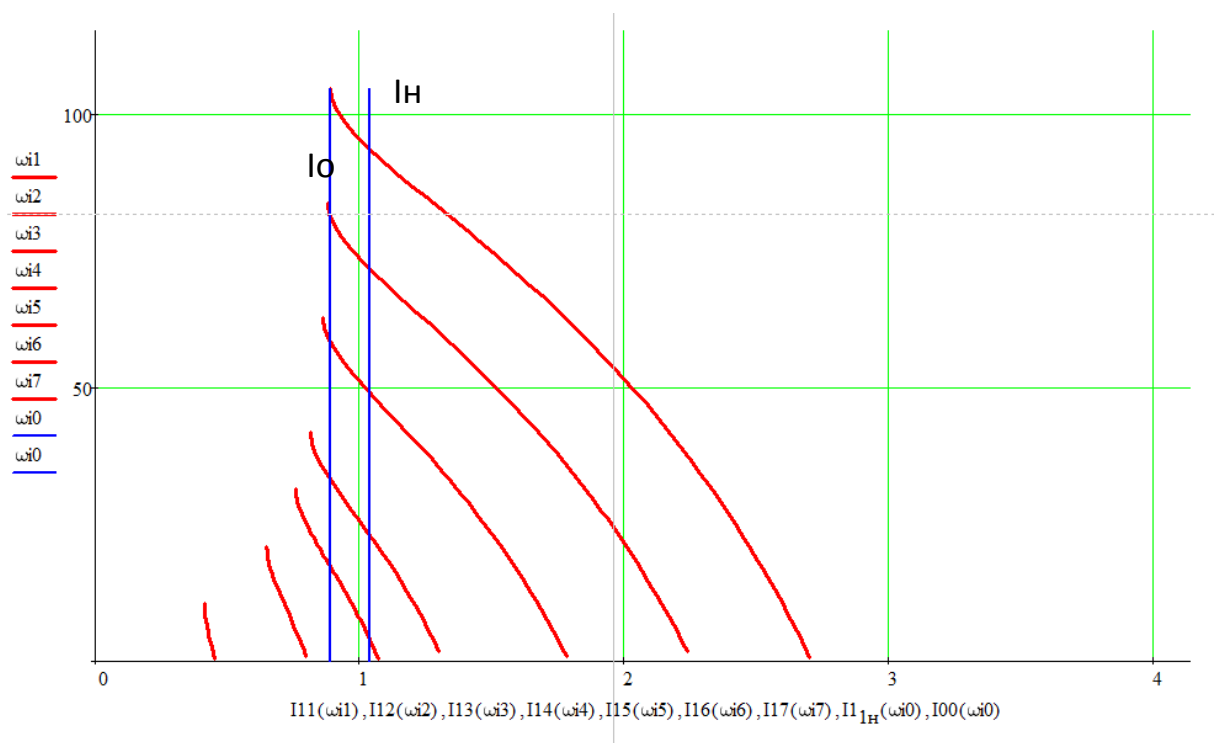


Рисунок 11 – Семейство электромеханических характеристик

2.2. Выбор преобразователя частоты

Для данной системы нужен преобразователь частоты управление которым можно осуществлять при помощи цифрового сигнала.

Выбираем преобразователь частоты –HYUNDAI N700E–370HF представлен на рисунке 12. Схема электрических соединений частотного преобразователя HYUNDAI N700E–370HF представлена на рисунке13.

Частотный преобразователь предназначен для трехфазных асинхронных двигателей с питанием от 380 до 480В, общепромышленного назначения для точных и тяжелых типов задач. Производитель – Корея.[11]



Рисунок 12–преобразователь частоты –HYUNDAI N700E–370HF
Параметры преобразователя представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры преобразователя частоты HYUNDAI N700E–370HF

Пылевлагозащита	IP20
Мощность двигателя, не более (кВт)	37
Номинальный ток двигателя, не более (А)	75
Номинальное входное напряжение (В)	3–фазы 380–480В ($\pm 10\%$) 50/60 Гц
Номинальное выходное напряжение (В)	3–фазы 380–480В (Соответствует входному напряжению)
Диапазон выходных частот (Гц)	0,1 – 400 Гц
Точность частоты	Цифровая установка : $\pm 0.01\%$ от максимальной частоты, аналоговая : $\pm 0.1\%$ ($25 \pm 10^\circ\text{C}$)
Разрешение по частоте	Цифровая установка : 0.01 Гц, Аналоговая установка : макс. частота / 1 000
Метод управления	ШИМ система модуляции пространственно- го вектора
Характеристика напряже- ние/частота	Вольт./частотное управление (постоянный вращающий момент, сниженный вращаю- щий момент), свободное вольт/частотное управление
Цифровой интер- фейс/протокол	порт RS485/ Modbus
Перегрузочная способность	150%/ 60 сек
Пусковой вращающий момент	150% при 0,5 Гц
Динамическое торможение (кратковременное)	Тормозной прерыватель BRD–VZ3–370H и тормозной резистор RB–11P2–HD–12
Минимальное значение тор- мозного резистора (Ом)	12

Продолжение таблицы 4

Время ускорения/замедления	0.1~3600. сек (линейные/нелинейные значения установки)
Торможение постоянным током	Торможение активируется при заданной частоте или при подаче внешнего управляющего сигнала (Мощность торможения, время, частота программируются произвольно).
ПИД–управление	ПИД–регулятор встроен
Дистанционное управление	1. Съемная панель управления, вынос 1,5 – 3 метра 2. Цифровой оператор OPE–N7 с функцией копирования (опционально), вынос 1,5 – 3 метра 3. Клеммы цепи управления 4. Порт RS485 (RJ45)
Аналоговая входная команда	Входное напряжение: пост.тока 0 ~ +10В, –10 ~ +10В (Входное сопротивление 10 Ом), Входной ток: 4~20мА (входное сопротивление 250 Ом)

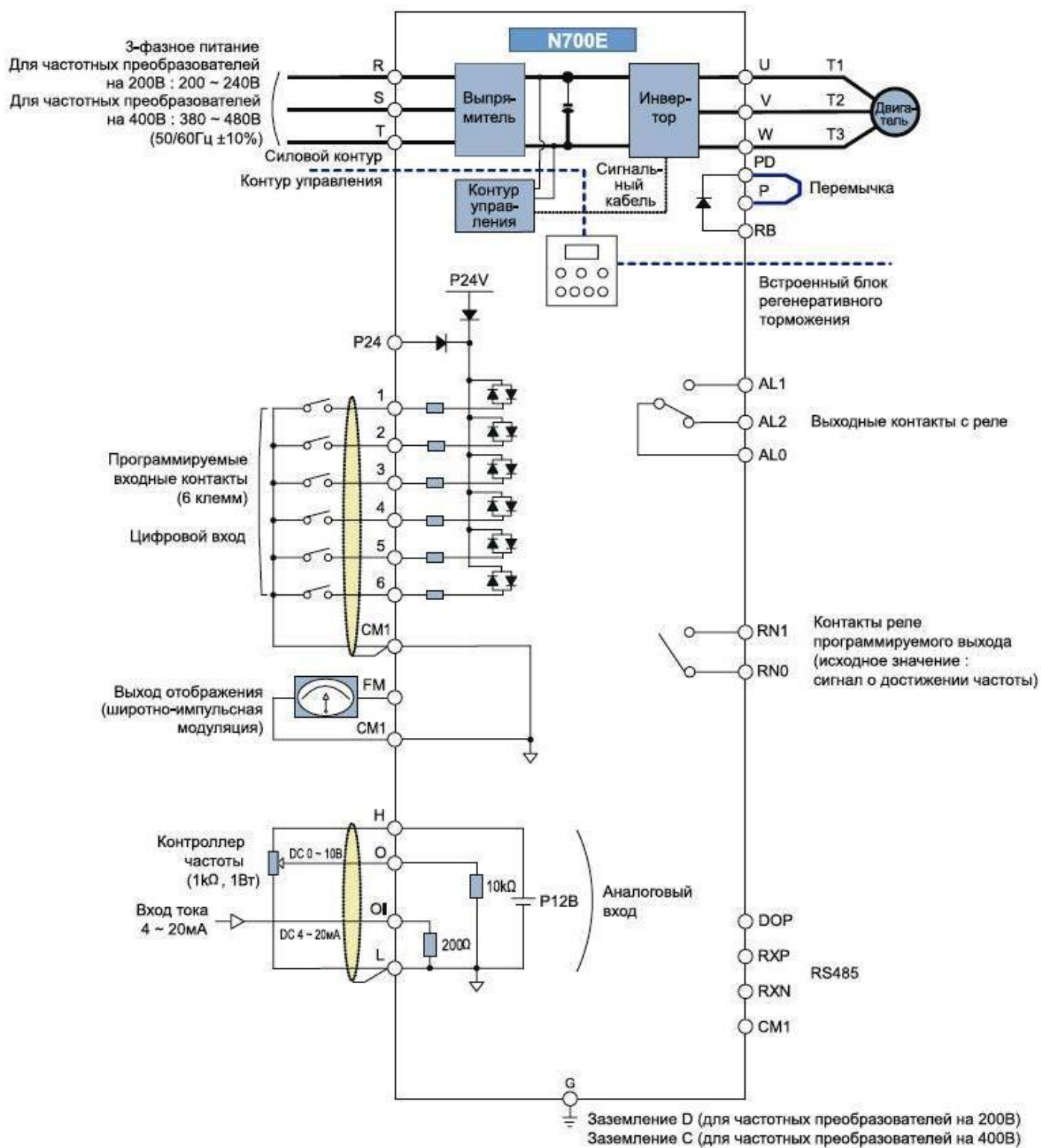


Рисунок 13 –Схема электрических соединений частотного преобразователя HYUNDAI N700E–370HF

2.3. Выбор контроллера

Контроллер необходим для задания сигнала преобразователю частоты, а также контроллер используется в качестве регуляторов положения иглы клапана. На входы контроллера поступают сигналы от манометра, расходомера и датчика положения иглы. Для данных целей выбран контроллер марки SchneiderModiconM238, изображенный на рисунке 14.

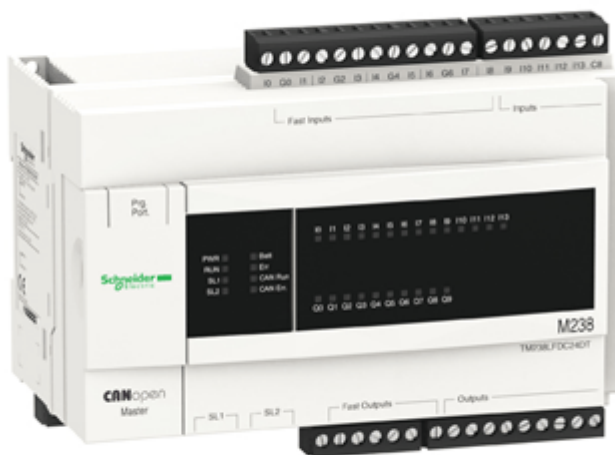


Рисунок 14 – Контроллер марки SchneiderModiconM238

Встроенный ведущий CANopen позволяет создавать простые и адаптируемые архитектуры. 8 входов для быстродействующих счетчиков до 100кГц, 4 выхода РТО/ШИМ, 2 последовательных порта RS232/RS485 для подключения ЧМИ или других периферийных устройств. [5]

Логический контроллер Modicon M238 поддерживается и программируется программным обеспечением для программирования SoMachine, которое предоставляет следующие языки программирования согласно стандарту МЭК 61131–3:

- InstructionList (IL), язык списка инструкций;
- StructuredText (ST), язык структурированного текста;

- Функциональный блок Diagram (FBD), язык функциональных блоковых схем;
- SequentialFunctionChart (SFC), язык последовательных функциональных блоков;
- LadderDiagram (LD), язык многоступенчатых схем;
- ContinuousFunctionChart (CFC), язык непрерывных функциональных блоков.

Логический контроллер Modicon M238 может управлять максимум семью задачами (одна главная задача (MAST) и до шести других задач).

Питание контроллера Modicon M238 может быть следующим:

- 24 В пост.тока;
- 100...240 В пер. тока.

Контроллер Modicon M238 с питанием переменным током имеет следующие характеристики:

- 14 дискретных входов, в т.ч. 8 быстродействующих;
- 10 дискретных выходов, в т.ч. 6 релейных. [5]

2.4. Выбор расходомера и манометра

Так как при инжект–тесте необходимо поддерживать постоянный расход и давление выбираем одноканальный расходомер марки US–800и цифровой манометр марки ДМ5002Г.

Таблица 5– Параметры расходомера US800 [7]

	Стандартно	Специсполнение
Температура жидкости, °С	–40...+150	–40...+200
Давление жидкости в трубопроводе, МПа	до 1.6	2.5, 4.0, 6.0, до 20
Температура окр. среды в месте установки УПР, °С	–40...+60	
Температура окр. среды в месте установки Эл.блока, °С	+5...+50	
Степень защиты Эл.блока / УПР	IP65 / IP67	IP65 / IP68
Длина соединительных кабелей, м	до 500	до 1000
Длина прямолинейных участков (Ду 15–2000 мм однолучевые)	до 10 / после 3	
Длина прямолинейных участков (Ду 100–2000 мм двухлучевые)	до 5 / по- сле 1	
Число знакомест для индикации	9	
Напряжение питания прибора	187...242 В АС	12–24–36 V DC
		бесперебойное питание от ак- кум. до 1 мес
Максимальная потребляемая мощность,Вт	не более 8	
Полный средний срок службы, лет	25	

Межповерочный интервал, год	4	
-----------------------------	---	--

Таблица 6 – Параметры манометра ДМ5002Г [8]

Модификация: ДМ5002Г	цифровая индикация текущего значения давления с преобразованием в унифицированный токовый выходной сигнал и сигнализация повышения или понижения давления установленных граничных значений
Диаметр	100 мм
Класс точности	в зависимости от предела измерения 0,15; 0,2; 0,25; 0,5
Предел измерений, кгс/см ² ДМ5002 ДМ5002 ДМ5002 По заказу приборы поставляются в единицах измерения кПа, МПа	от 0 до 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000; 1600 от –1 до 0 от –1 до 0,6; 1,5; 3; 5; 9; 15; 24
Степень защиты	IP54
Рабочая температура окружающей и измеряемой среды	–40...+50°С
Предел допускаемой погрешности, %	0,25; 0,15; 0,1
Корпус	Алюминиевый сплав
Средний срок службы	8 лет
Выходной сигнал	постоянный ток 4–20 мА

для <u>ДМ5002Г</u> – постоянный ток	
Сопротивление нагрузки приборов (линия связи – трёхпроводная): с выходным сигналом 4–20 мА	не более 600 Ом
Напряжение питания	24 В, 36 В
Потребляемая мощность приборов не более:	4, 2 ВА

2.5. Выбор метода управления асинхронным двигателем

Для данной системы был выбран скалярный метод управления.

Наиболее эффективные возможности управления АД обеспечиваются одновременным использованием в качестве управляющего воздействия в канале регулирования скорости – частоты f_1 , а в канале регулирования потока – напряжения U_1 . [16]

В начале прошлого века академик Костенко М.П. предложил оригинальный способ регулирования скорости вращения АД. Для идеализированного двигателя (принимая $R_1 = 0$) справедлива следующая зависимость

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M_C}{M_H}}. \quad (2.41)$$

На основании сформулированного выражения можно регулировать скорость и момент, развиваемый АД. [16]

Широкое распространение получили способы частотного управления, основанные на законе поддержания постоянства соотношения между U_1 и f_1 . На рисунках 15 и 16 представлены варианты интерпретаций различных законов управления:

$$\text{а) для } \frac{U_1}{f_1^2} = \text{const, б) для } \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const и в) для } \frac{U_1}{f_1} = \text{const}.$$

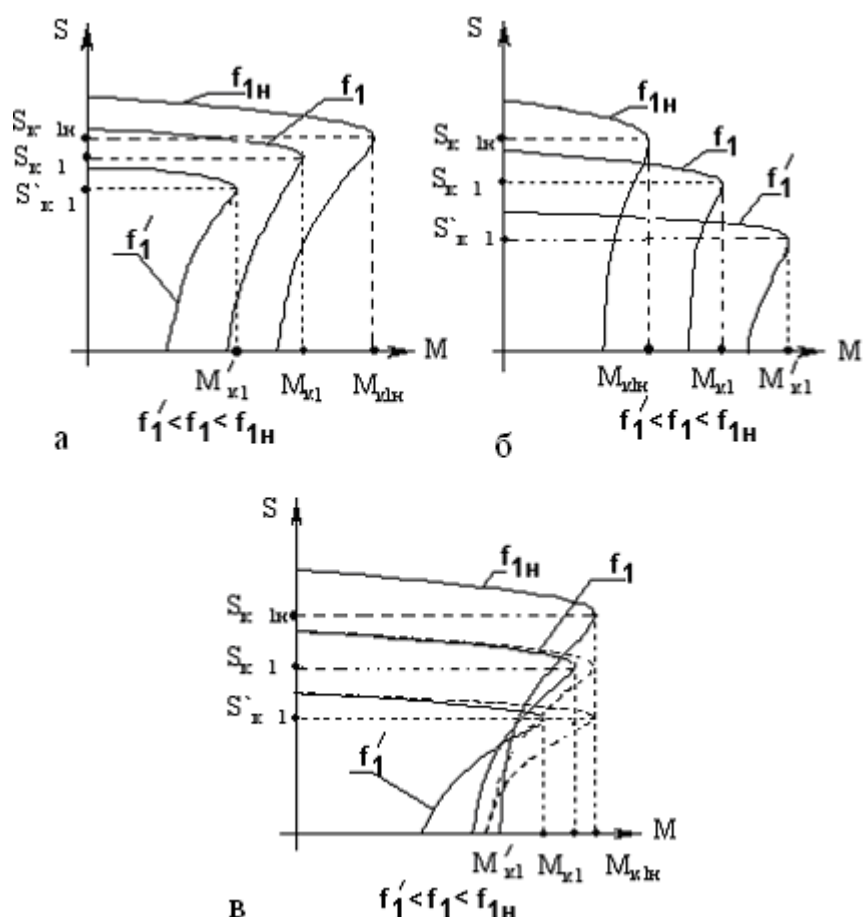


Рисунок15 – Механические характеристики для различных законов частотного управления АД

При законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ можно получить семейство характеристик для механизмов, имеющих вентиляторную характеристику, когда момент, развиваемый АД увеличивается прямо пропорционально квадрату частоты приложенного напряжения, рисунок15(а). При этом способе достигается получение больших моментов на высоких скоростях. [10]

При использовании закона $U_1/\sqrt{f_1} = \text{const}$ получаем семейство характеристик для механизмов, работающих с постоянной мощностью $P = \text{const}$. В данном случае критический момент АД обратно пропорционален частоте приложенного напряжения, рисунок 15(б). Применение этого закона позволяет получить характеристики с высоким пусковым моментом. [10]

Закон регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ теоретически предполагает получение семейства характеристик с постоянным моментом, рисунок 15(в),

пунктирные линии. В реальных условиях при малых частотах падение напряжения на активном сопротивлении статора R_1 приводит к нарушению оптимальности регулирования. Для обеспечения требуемой точности следует компенсировать падение напряжения на активном сопротивлении в статорной цепи. [10]

На практике при создании скалярных систем частотного управления выполняют линеаризацию зависимостей между частотой и напряжением. Рисунок 16 показывает реализацию скалярной системы частотного управления для трёх законов регулирования. На рисунке 16(а) представлена аппроксимация закона $U_1/f_1^2 = \text{const}$, на рисунке 16(б) – $U_1/\sqrt{f_1} = \text{const}$ и на рисунке 16(в) – $U_1/f_1 = \text{const}$ соответственно.

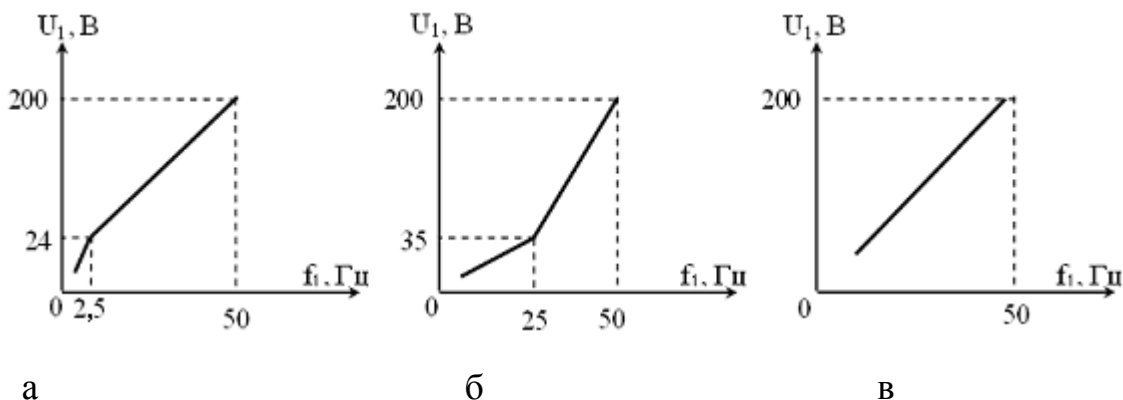


Рисунок 16 – Практическая реализация законов частотного управления скоростью

Упрощенная функциональная схема скалярной системы частотного регулирования скорости с промежуточным звеном постоянного тока приведена на рисунке 17. Заданная частота поступает на вход устройства управления УУ, которое в соответствии с принятым законом регулирования скорости, током нагрузки и номинальным скольжением двигателя формирует частоту f_1 и амплитуду напряжения U_1 . Информация о частоте и амплитуде напряжения подаётся на ШИМ (широтно–импульсный модулятор) – преобразователь, генерирующий выходные сигналы для инвертора И. Сформированное таким образом переменное напряжение подаётся на АД,

который развивает требуемую угловую скорость. Дополнительную точность регулирования частоты вращения получают введением импульсного датчика скорости ИДС, устанавливаемого на валу двигателя, на рисунок17 (показано пунктиром). Контур обратной связи по скорости позволяет с высокой точностью поддерживать заданную скорость АД $\omega_{\text{зад}}$, компенсируя скольжение и влияние нагрузки на вал двигателя. [16]

Электроприводы со скалярными системами частотного управления среди частотно–регулируемых электроприводов переменного тока отличаются относительной простотой и дешевизной. Но наряду с положительными качествами имеется ряд недостатков: низкие динамические показатели, отсутствие возможности точного регулирования момента на валу АД. [10]

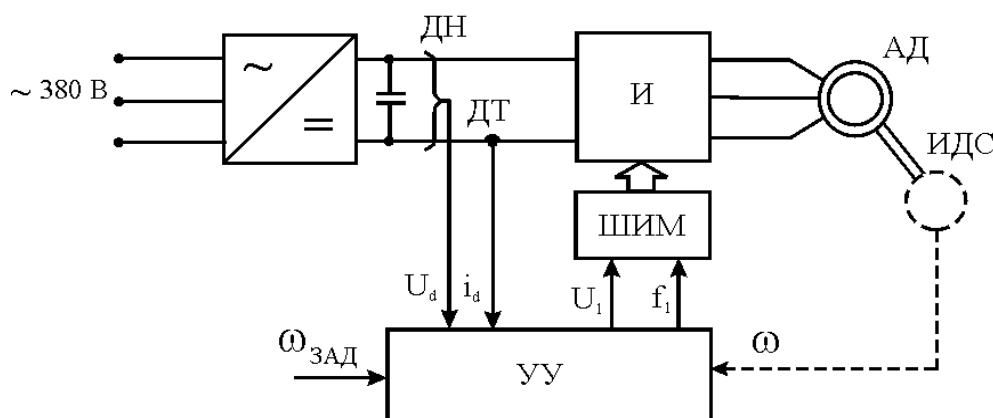


Рисунок17 – Упрощенная функциональная схема скалярной системы частотного управления АД

3. Имитационные исследования электропривода в среде MATLAB

3.1. Имитационная модель асинхронного двигателя.

3.1.1. Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии в АД

При описании электромагнитных процессов мы получаем систему дифференциальных уравнений высокого порядка. В теории электромеханического преобразования энергии существуют различные методы упрощения исходных уравнений. Наиболее распространенным из них является представление электрической машины в виде идеализированного двухфазного электромеханического преобразователя. В идеализированной машине в воздушном зазоре имеем круговое поле, а высшие гармоники отсутствуют. Методы перехода от исходной трехфазной машины к идеализированной хорошо разработаны в общей теории электромеханического преобразования энергии – на них останавливаться не будем. Отметим лишь, что в результате преобразований мы получим идеализированную машину, имеющую две обмотки на роторе и две обмотки на статоре, расположенные по ортогональным осям α и β . Для такой машины справедлива система уравнений:

$$\begin{aligned} u_{\alpha}^s &= r_{\alpha}^s i_{\alpha}^s + \frac{d}{dt} L_{\alpha}^s i_{\alpha}^s + \frac{d}{dt} M_{\alpha}^r; \\ 0 &= \frac{d}{dt} M_{\alpha}^s + r_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + \frac{d}{dt} L_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + L_{\beta}^r \omega_p i_{\beta}^r + M \omega_p i_{\beta}^s; \\ 0 &= -M \omega_p i_{\beta}^s - L_{\alpha}^r \omega_p i_{\alpha}^r + r_{\beta}^r i_{\beta}^r + \frac{d}{dt} L_{\beta}^r i_{\beta}^r + \frac{d}{dt} M_{\beta}^s; \\ u_{\beta}^s &= \frac{d}{dt} M_{\beta}^r + r_{\beta}^s i_{\beta}^s + \frac{d}{dt} L_{\beta}^s i_{\beta}^s; \\ M_s &= \frac{m}{2} M (i_{\beta}^s i_{\alpha}^r - i_{\alpha}^s i_{\beta}^r), \end{aligned} \tag{3.1}$$

где $u_{\alpha}^s, u_{\alpha}^s$ – напряжения на обмотках статора;

$i_{\alpha}^s, i_{\alpha}^r, i_{\beta}^s, i_{\beta}^r$ – токи в обмотках статора и ротора по осям α и β ;

$L_{\alpha}^s, L_{\alpha}^r, L_{\beta}^s, L_{\beta}^r$ – полные индуктивности обмоток статора и ротора по осям α и β ;

m – число фаз двигателя;

M_s – электромагнитный момент двигателя. [12]

Полная индуктивность каждой обмотки может быть записана уравнением:

$$L = M + L_{\delta}$$

где M – взаимная индуктивность между обмотками ротора и статора по осям α и β ;

L_{δ} – индуктивность рассеяния обмотки.

Для упрощения описания математических процессов осуществляют преобразования исходных уравнений. В частности, если в первых четырех уравнениях системы (3.1) провести замену $d/dt \leftrightarrow j\omega$, получим систему уравнений двигателя в установившемся режиме:

$$\begin{aligned} U_{\alpha}^s &= r_{\alpha}^s I_{\alpha}^s + j\omega L_{\alpha}^s I_{\alpha}^s + j\omega M I_{\alpha}^r; \\ 0 &= j\omega M I_{\alpha}^s + r_{\alpha}^r I_{\alpha}^r + j\omega L_{\alpha}^r I_{\alpha}^r + L_{\beta}^r \omega_p I_{\beta}^r + M \omega_p I_{\beta}^s; \\ 0 &= -M \omega_p I_{\beta}^s - L_{\alpha}^r \omega_p I_{\alpha}^r + r_{\beta}^r I_{\beta}^r + j\omega L_{\beta}^r I_{\beta}^r + j\omega M I_{\beta}^s; \\ U_{\beta}^s &= \omega M I_{\beta}^r + r_{\beta}^s I_{\beta}^s + j\omega L_{\beta}^r I_{\beta}^r. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Так как рассматривается симметричная машина, целесообразно параметры обмоток обозначить $L_s = L_{\alpha}^s = L_{\beta}^s, R_s = r_{\alpha}^s = r_{\beta}^s, L_r = L_{\alpha}^r = L_{\beta}^r, R_r = r_{\alpha}^r = r_{\beta}^r$, а также ввести понятия $x_s = \omega L_s, x_r = \omega L_r$ – сопротивление взаимной индукции. Кроме того, обозначим результирующие векторы напряжений U_s, U_r и токов $I_s, I_r, I_0 = I_s + I_r$. Тогда от четырех уравнений напряжений (3.2), если обратиться к обобщающим векторам напряжений, токов и сопротивлений, можно перейти к двум уравнениям:

$$\begin{aligned} U_s &= R_s I_s + jx_s I_s + jx_0 I_0; \\ 0 &= -R_r I_r - jx_r I(1-v) - jx_0 I_0(1-v), \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\text{где } v = \frac{\omega_p}{\omega}.$$

Введем понятие скольжение ротора относительно поля статора

$s = \frac{\omega - \omega_p}{\omega}$ и ЭДС холостого хода $E_0 = -j\chi_0 I_0$. Тогда систему уравнений асин-

хронной машины можно представить в виде:

$$\begin{aligned} U_s &= -E_0 + R_s I_s + j\chi_s I_s; \\ 0 &= E_0 s - R_r I_r - j\chi_r I_r s; \\ I_0 &= I_s + I_r. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Обозначим $z_s = R_s + j\chi_s, z_r = R_r + j\chi_r$, разделим второе уравнение системы

(3.4) на s и с учетом того, что $\frac{R_r}{s} = R_r + R_r \cdot \frac{1-s}{s}$, получим

$$\begin{aligned} U_s &= -E_0 + I_s z_s; \\ 0 &= E_0 s - R_r I_r - j\chi_r I_r s; \\ I_0 &= I_s + I_r. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Полученные процессы описывают электромагнитные процессы асинхронного двигателя в установившемся режиме. [12] По ним строятся векторные диаграммы и схемы замещения двигателя. В частности, если перейти к приведённым параметрам роторной цепи, систему уравнений (3.5) можно представить в виде

$$\begin{aligned} U_1 &= -E_1 + I_1 z_1; \\ 0 &= E_2 - jI_2 \chi_2 - I_2 \frac{r_2'}{s}; \\ I_0 &= I_s + I_r. \end{aligned} \quad (3.6)$$

3.1.2. Математическая модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат статора α, β

В модели асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением используются следующая модель асинхронного электродвигателя:

– двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β , структурная схема которого представлена на рисунке 18[9];

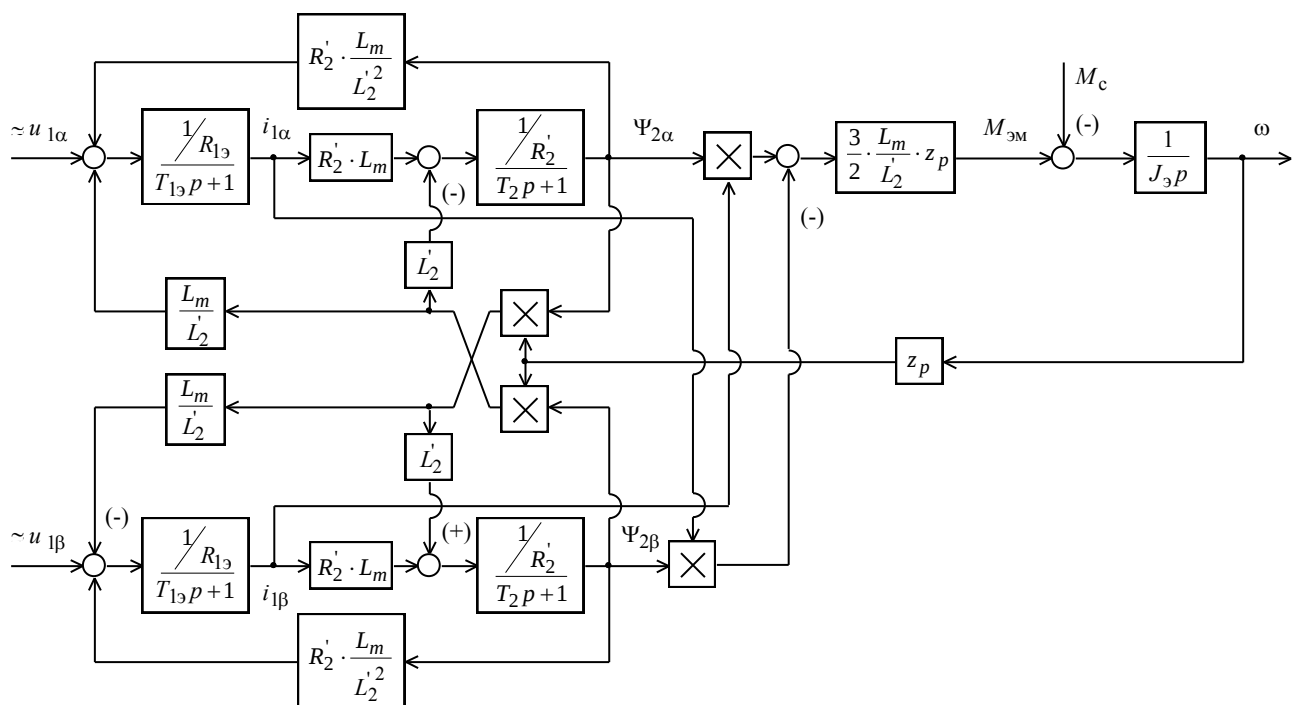


Рисунок 18 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β

Расчет параметров схемы осуществляется следующим образом:

Индуктивность статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.041 + 0.7317 = 0.7727 \text{ Гн.} \quad (3.7)$$

Индуктивность ротора:

$$L_2' = L_{2\sigma}' + L_m = 0.051 + 0.7317 = 0.7827 \text{ Гн.} \quad (3.8)$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 47.365 + 43.237 \cdot \frac{0.7317^2}{0.7827^2} = 85.151 \text{ Ом.} \quad (3.9)$$

Постоянные времени:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0.11476 \cdot 0.7727}{85.151} = 0.00104 \text{ с.} \quad (3.10)$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0.7827}{43.237} = 0.0181 \text{ с.} \quad (3.11)$$

$$\text{где } \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2'} = 1 - \frac{0.7317^2}{0.7727 \cdot 0.7827} = 0.11476. \quad (3.12)$$

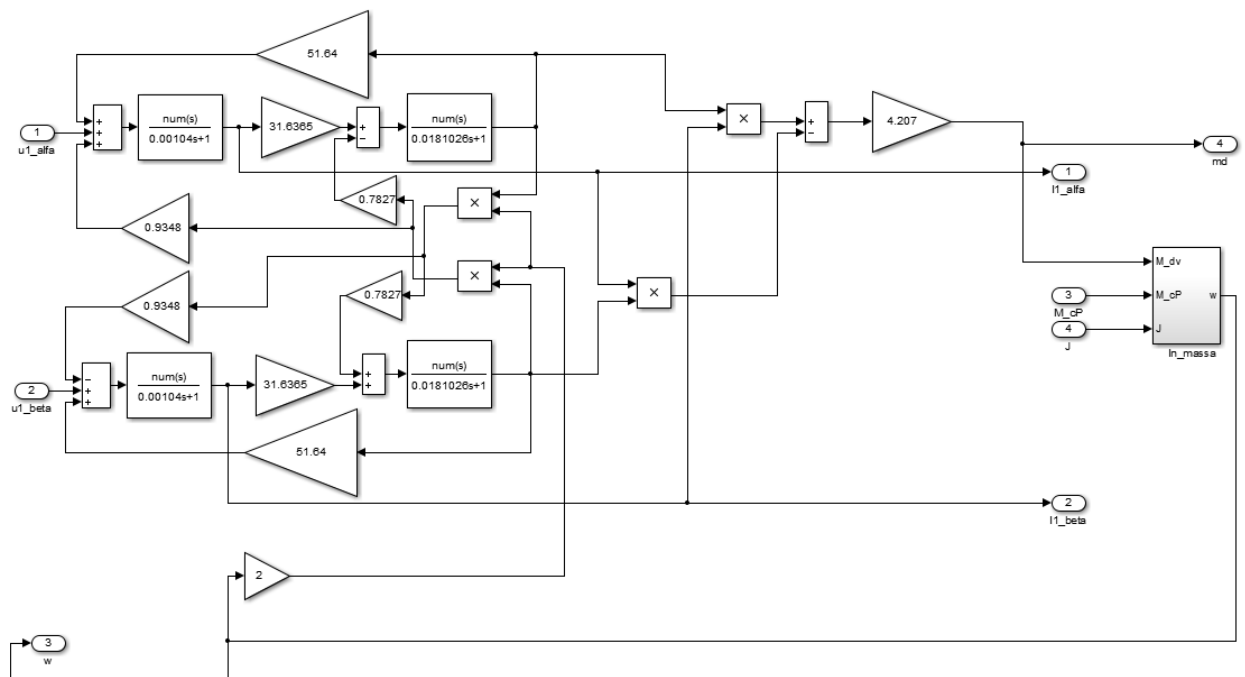


Рисунок 19 – Модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат статора α , β в среде MATLAB

3.2 Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунке 20.

На схеме приняты следующие дополнительные обозначения:

$M_{\text{эм}}$ – электромагнитный момент двигателя, Н · м;

$M_{\text{ср}}$ – статический момент реактивного характера, Н · м;

$J_{\text{э}}$ – эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг · м²;

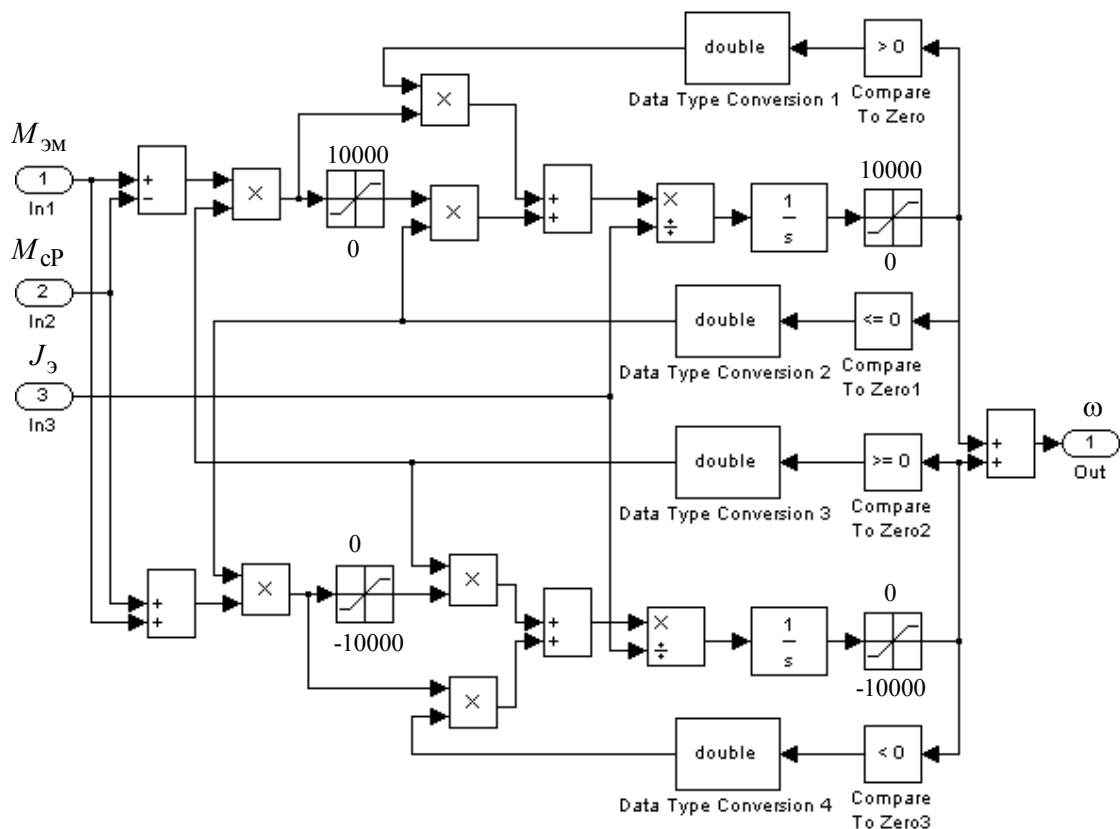


Рисунок 20 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Статический момент нагрузки имеет переменный характер нагрузки, так как сила, воздействующая на иглу клапана равна:

$$F = S \cdot P \quad (3.13)$$

Где P – давление воды, оказываемое на иглу,

S – площадь, на которую оказывается давление.

Из выражения видно, что при одном и том же давлении сила действующая на иглу закрытого клапана будет выше силы действующей на иглу открытого клапана, так как площадь S уменьшится.

3.3 Система управления электропривода клапана

Модель системы управления представлена на рисунке 21.

К системе управления относятся два регулятора положения иглы клапана. Работа регуляторов основана на отрицательной обратной связи. Первый регулятор работает при задании перемещения иглы на не большие расстояния, а именно до 10% от всей величины. При работе этого регулятора двигатель работает при максимальной частоте в 5 Гц. Второй регулятор работает на перемещения иглы на расстояния более 10% включительно. Система сама определяет какой регулятор войдет в работу при помощи переключателя Switch.

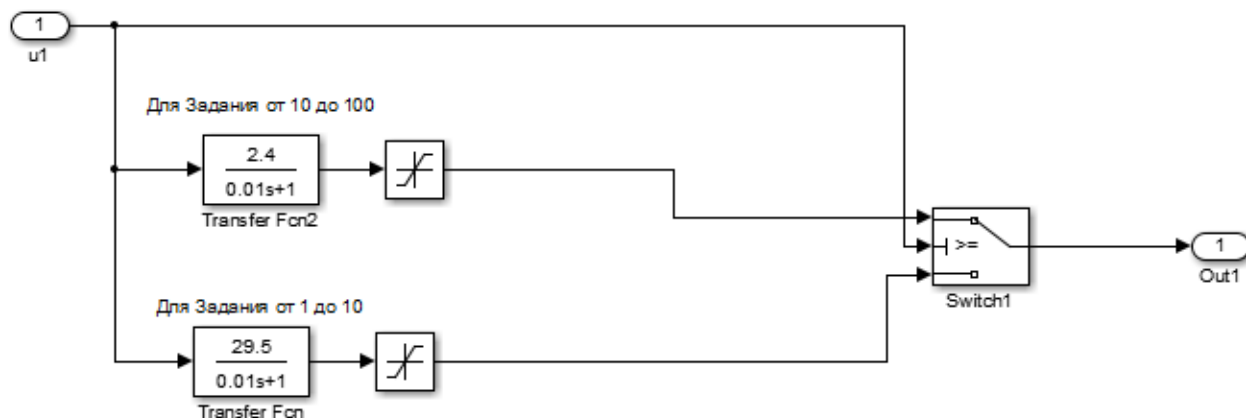


Рисунок 21 – Модель системы управления асинхронным двигателем

3.4 Исследования электропривода запорного игольчатого клапана на имитационной модели

Модель электропривода, выполненная в среде MATLAB, представлена на рисунке 22. На рисунке 22 используются следующие обозначения:

Start – блок задания величины перемещения иглы клапана в %;

Regulator – блок регуляторов, названных выше;

S-Zi – блок плавного пуска двигателя;

Load – нагрузка приведенная к валу двигателя;

J – момент инерции приведенный к валу двигателя;

Formur_U1 – формирователь напряжения в неподвижной системе координат α, β ;

2_phase_AD – модель двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β ;

Reducer – редуктор;

w – скорость вращения выходного вала привода, рад/с;

I – ток двигателя, А;

x – величина перемещения иглы клапана (100% – игла полностью поднята);

M_d – момент на валу двигателя, Нм. [9]

При помощи блока Start задается величина, на которую мы хотим переместить иглу клапана. Далее сигнал поступает в блок регуляторов, где формируется частота тока, при которой двигатель будет работать. Если же величина заданного перемещения больше 10% двигатель будет работать при частоте равной 50 Гц до тех пор пока разница между заданной величиной перемещения и фактической не станет равной 10%. После чего на двигатель будет поступать только частота равная 5 Гц.

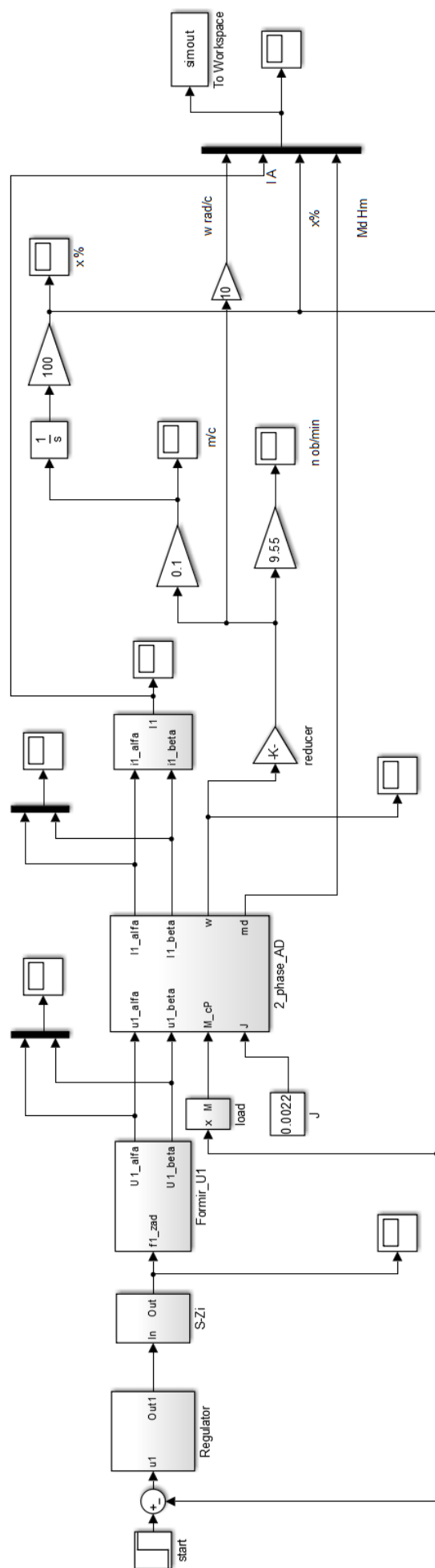


Рисунок 22 – Имитационная модель электропривода запорного игольчатого клапана [9]

При помощи имитационной модели получены следующие графики переходных процессов, изображенные на рисунках 23 – 29.

На рисунках приняты следующие обозначения:

x – величина перемещения иглы клапана, %;

ω – угловая скорость двигателя, рад/с;

I – ток двигателя, А;

M – момент на валу двигателя, Нм.

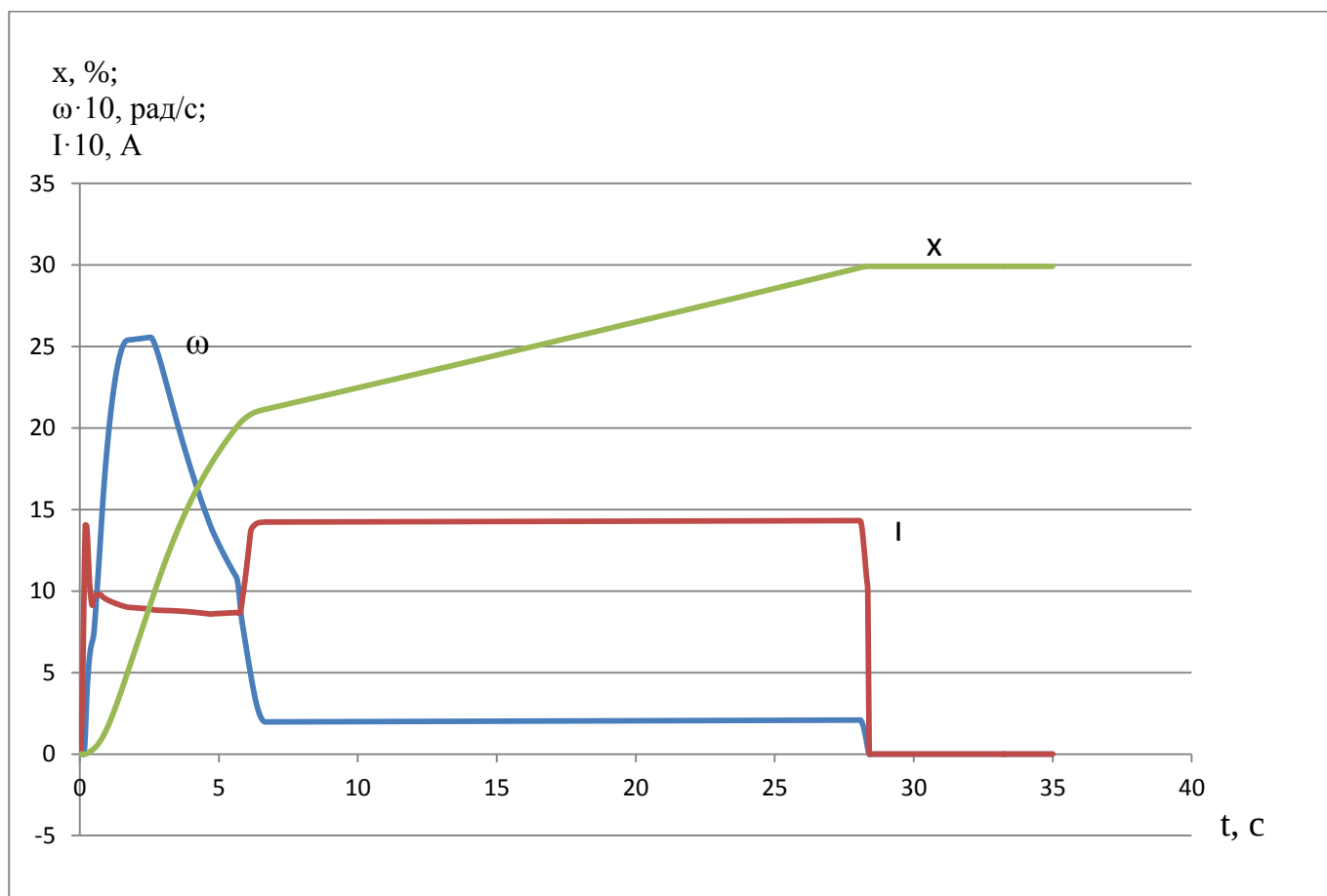


Рисунок 23 – График переходных процессов поднятия иглы запорного клапана

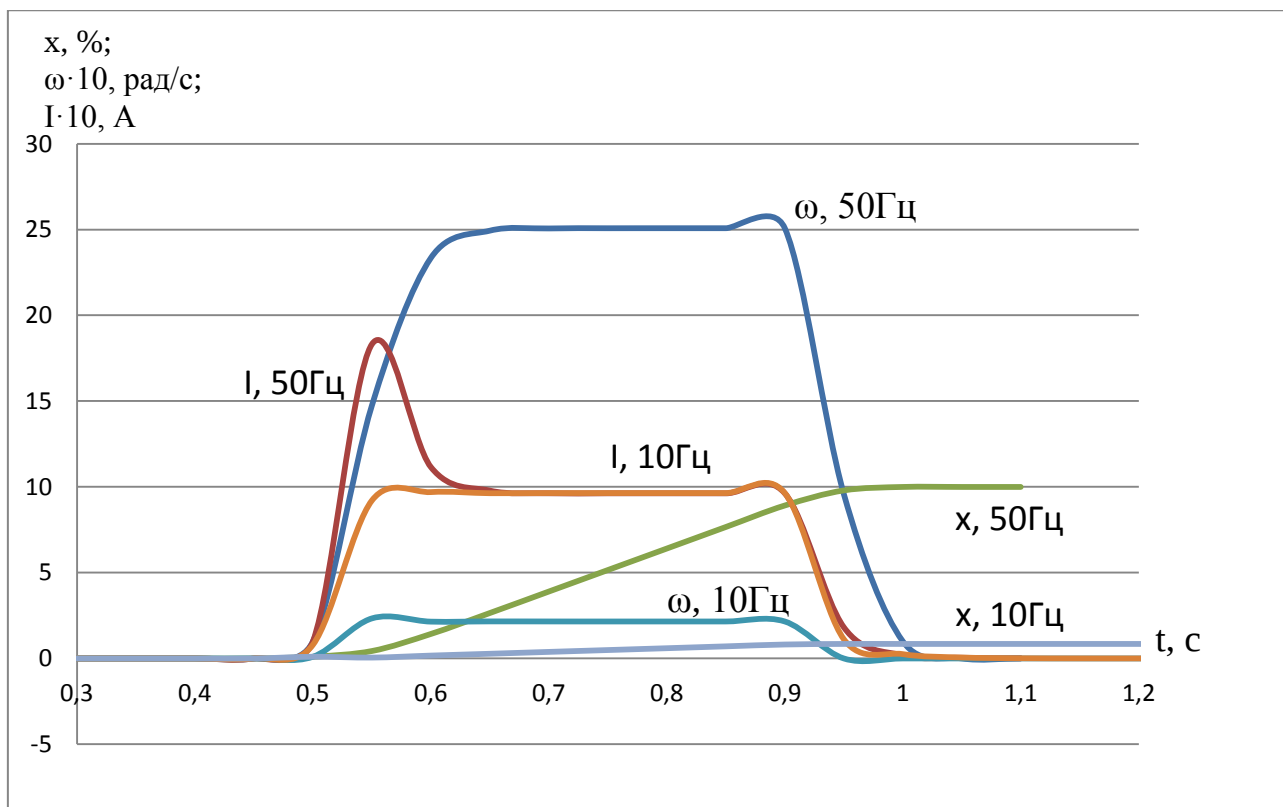


Рисунок 24 – График переходных процессов поднятия иглы запорного клапана при разной частоте

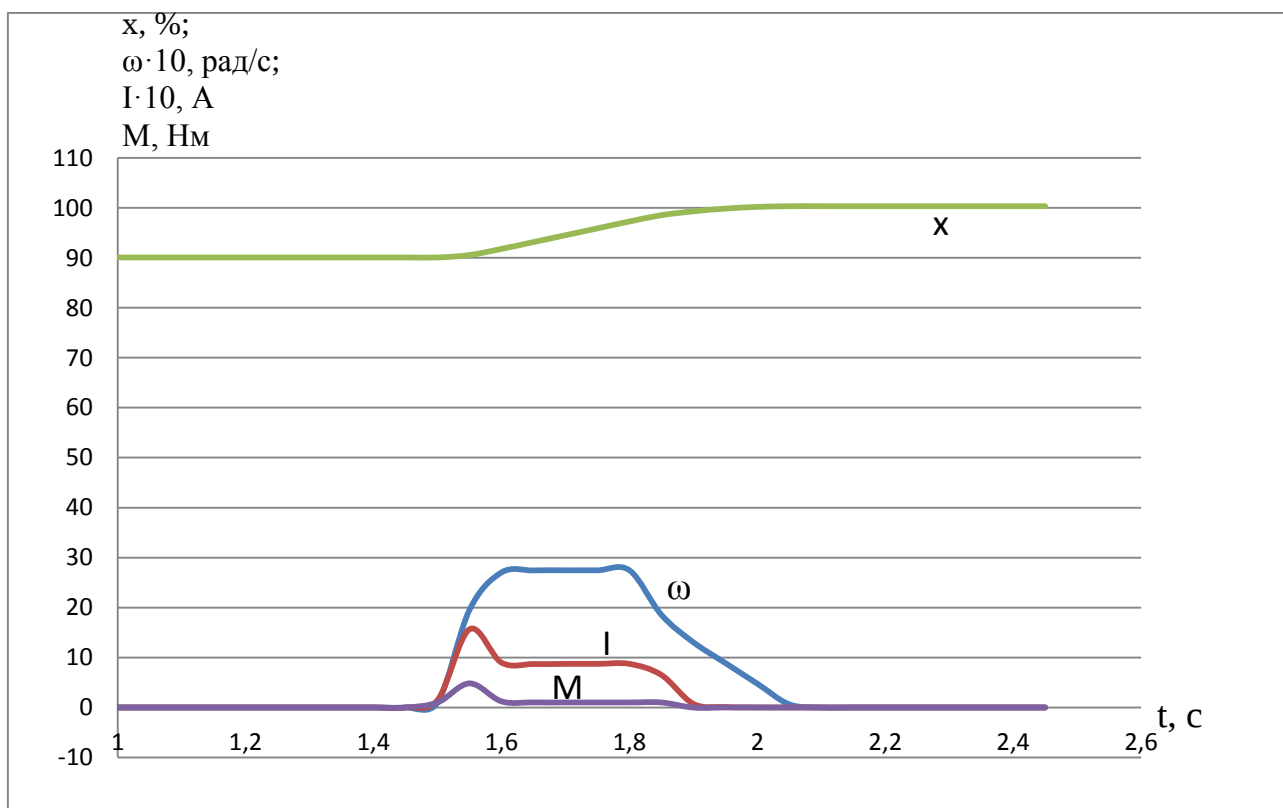


Рисунок 25 – График переходных процессов поднятия иглы запорного клапана на 10% в конце хода

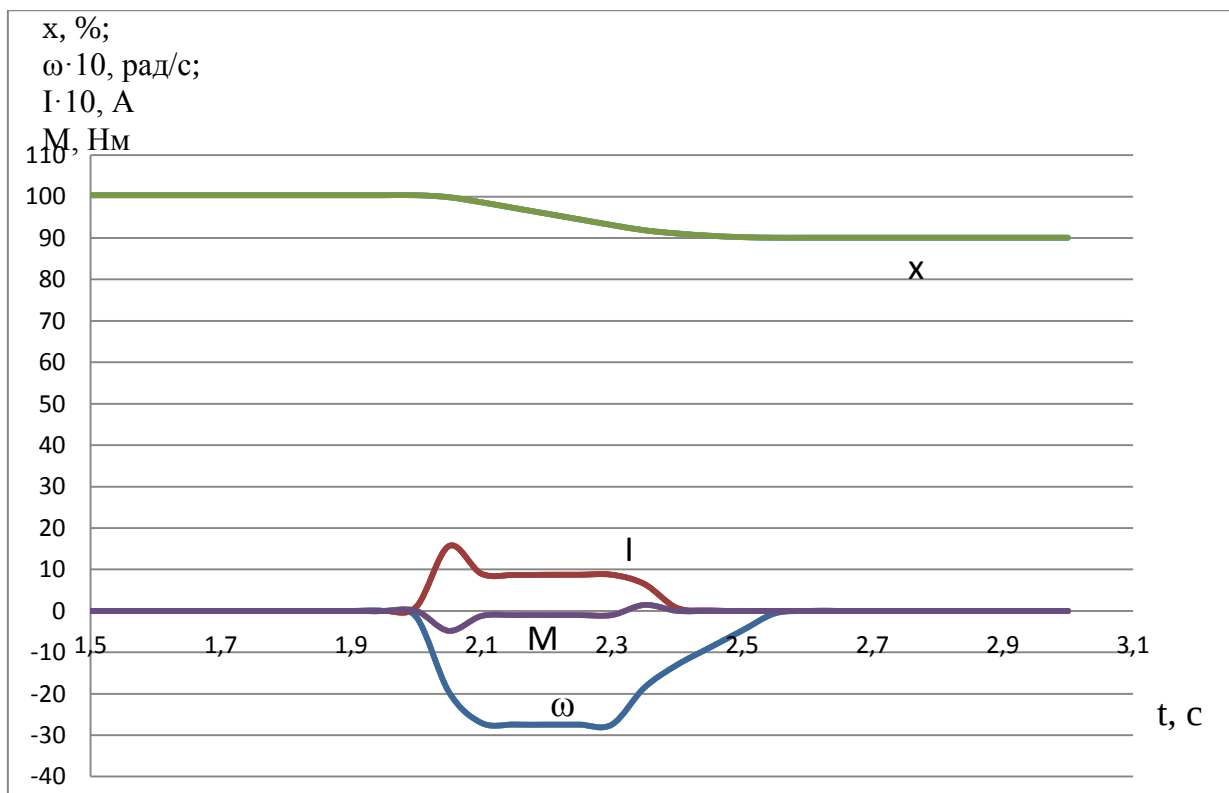


Рисунок 26 – График переходных процессов опускания иглы запорного клапана на 10%

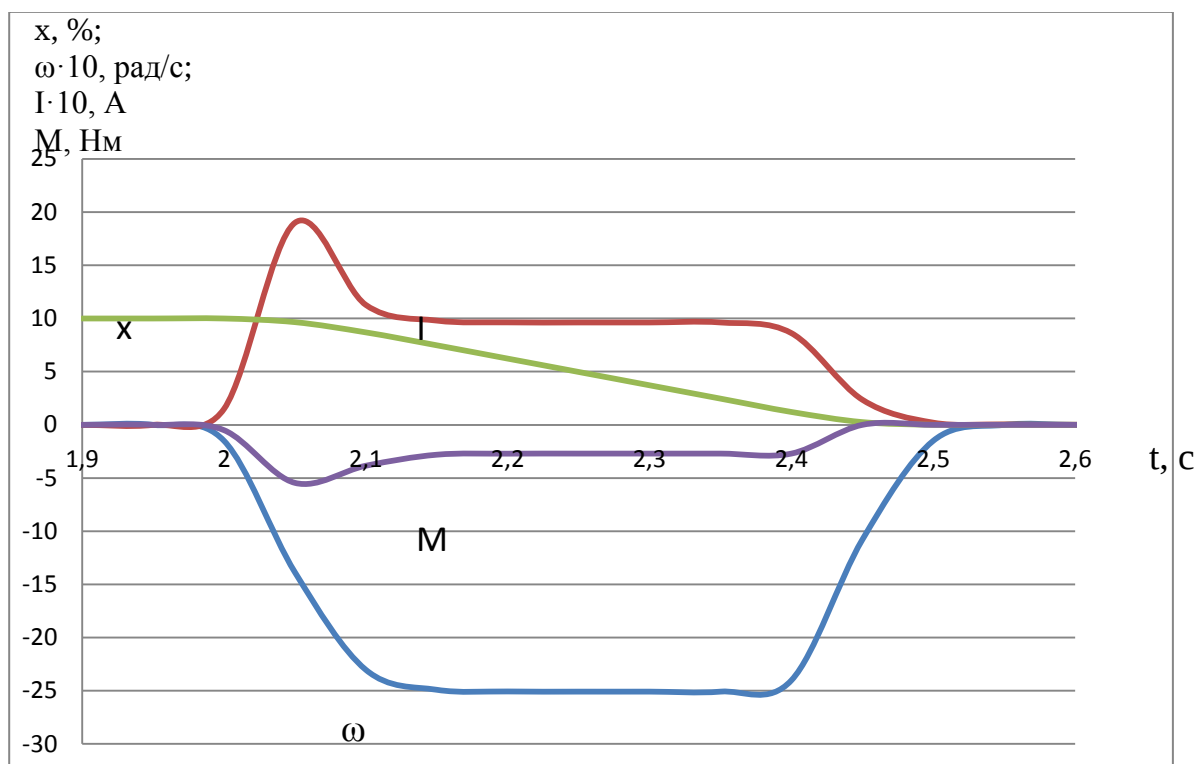


Рисунок 27 – График переходных процессов опускания иглы запорного клапана на 10% в конце хода

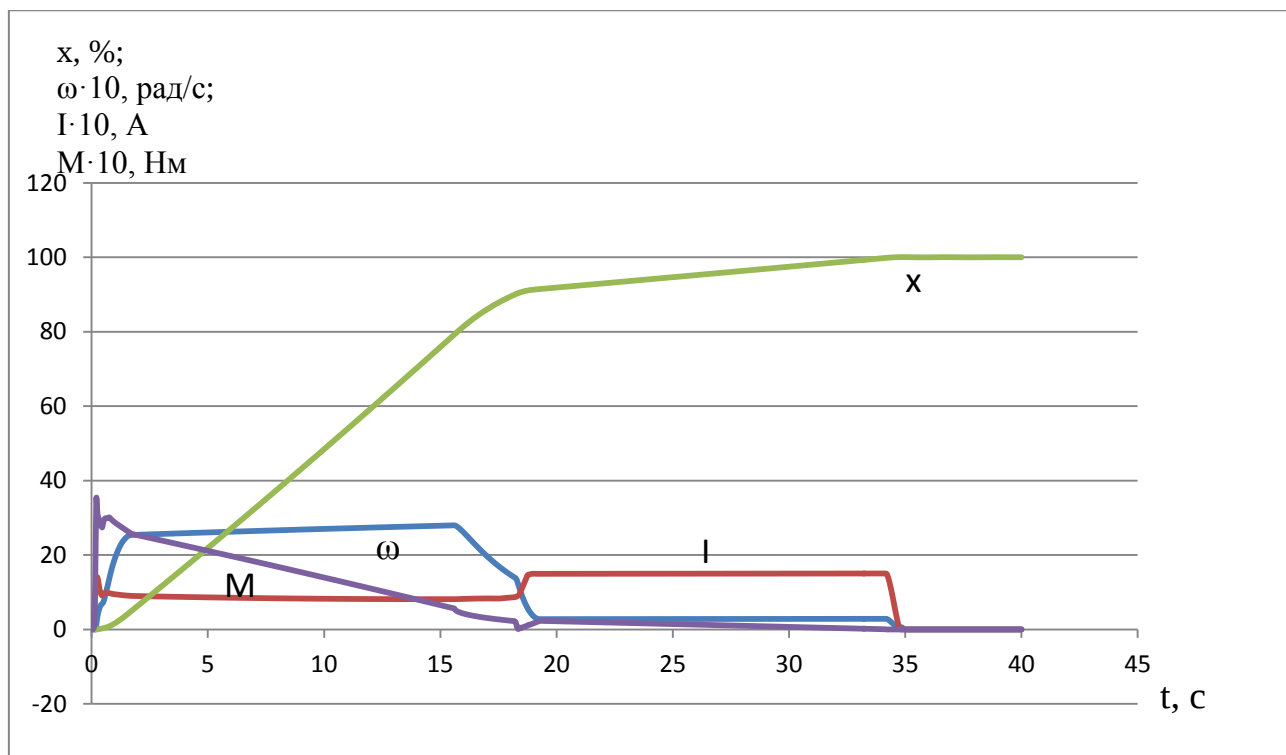


Рисунок 28 – График переходных процессов поднятия иглы запорного клапана на 100%

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Абулхайров Суннат Хасанович

Школа	Инженерная школа энергетиков	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	"Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 100 рабочих дня.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Составление сметы ТП	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.19.
--	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, отделение социально-гуманитарных наук	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Абулхайров Суннат Хасанович		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы Гидродинамических исследований скважин на НГМК (Навоинский горно-металлургический комбинат)
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной эффективности проекта

4.1 SWOT-анализ работы Гидродинамических исследований скважин на НГМК

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 1

Таблица 1 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта С1: Низкая цена элементов схемы С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность	Слабые стороны проекта Сл1. Надежность электроснабжения Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность Сл4: Низкая энергоэффективность
--	---	---

Возможности В1: Прокладка кабелей в эстакадах В2: Снижение расходов на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая заинтересованность инвесторов	В1С1; С3; С5; В2С1; В3С1; В4С1;	В1Сл1; Сл2; Сл3; В4Сл3; Сл4;
Угрозы У1: Значительное увеличение стоимости схемы У2: Повышение цен на компоненты системы У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	У1С1 У2С1; С4;	 У3Сл3; Сл4; У4Сл2; Сл3; Сл4;

Окончание Таблицы 1

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [15].

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 2 и 3, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	-	+	-	+
B2	+	-	-	-	-
B3	+	-	-	-	-
B4	+	-	-	-	-

Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
B1	+	+	+	-	
B2	-	-	-	-	
B3	-	-	-	-	
B4	-	-	+	+	

Окончание Таблицы 2

Таблица 3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				

	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
У1	-	-	-	-	
У2	-	-	-	-	
У3	-	-	+	+	
У4	-	+	+	+	

В результате проведения SWOT – анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта:

- Риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;
- Слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы;
- Для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электроснабжения, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;
- Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как экономичность, надёжность и эргономика;
- Прокладка кабелей в эстакадах – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;
- За счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность;

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что прокладка в эстакадах позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

4.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы гидродинамических исследований скважин НГМК;

4.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4:

№ 1 – Ознакомление с производственной документацией – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к проекту, составление задания и плана;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН – выбор конфигурации схемы электроснабжения, расчет суммарных электрических нагрузок;

№ 5 – Выбор трансформаторов подстанций – выбор защитной аппаратуры, подбор трансформаторов согласно картограммы нагрузок;

№ 6 – Расчет внутризаводской сети предприятия – построение схемы внутризаводского электроснабжения с расчетом и нанесением картограммы нагрузок по заводу, построение схемы внутрицехового электроснабжения.

№ 7 – Моделирование электроснабжения исследований скважин– создать модель электроснабжения ремонтно-механического цеха инструментального завода с использованием профильных САПР.

№ 8 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 10 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№ 11 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Ознакомление с производственной документацией	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы гидродинамическое исследований скважин	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник, научный руководитель
	4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Дипломник, научный руководитель
	5	Выбор трансформаторов подстанций	Дипломник, научный руководитель
	6	Расчет внутризаводской сети предприятия	

	7	Моделирование электроснабжения площадки сбора руды	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, Научный руководитель

Таблица 4 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирование завода, расчеты и проектирование системы гидродинамическое исследований скаважин, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

4.4.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 5 строим план-график проведения работа (таблица 6)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 100 дней. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителем;

Таблица 5 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы		Максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы		Ожидаемая трудоёмкость выполнения i-ой работы	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	7		5
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	1	19	1	23	1	21
4	Построение картограммы нагрузок и определения ЦЭН	1	17	1	25	1	20
5	Выбор трансформаторов подстанций	1	14	1	21	1	17
6	Расчёт внутризаводской сети предприятия	1	3	1	6	1	4
7	Моделирование гидродинамическое исследований скважин	1	14	1	18	1	16
8	Оценка эффективности полученных результатов	1	6	1	8	1	7
9	Составление пояснительной записки	-	3	-	12	-	7
10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
11	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	1	2	3	4	2	3

№	Вид работ	Исполнители	T _{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Ознакомление с производственной документацией	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	5	—												
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Руководитель	1			-										
		Дипломник	21	—	—	—										
4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Руководитель	1					-								
		Дипломник	20				—	—								
5	Выбор трансформаторов подстанций	Руководитель	1							-						
		Дипломник	17						—	—						
6	Расчёт внутризаводской сети предприятия	Руководитель	1								-					
		Дипломник	4								—					
7	Моделирование гидродинамическое исследований скважин	Руководитель	1									-				
		Дипломник	16									—	—			
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1										-			
		Дипломник	7										—			
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	7											—		
10	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1												-	
11	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2												-	
		Дипломник	3												—	

Таблица 6 – Диаграмма Ганта

4.4. Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручка, корректор, USB-накопитель, блокнот, линейка, мульти фора .

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 6.

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Бумага	Лист	145	2.3	333
Ручка	Шт.	1	50	50
USB накопитель	Шт.	1	304	304
Линейка	Шт.	1	85	85
Мульти фора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	52	52
Итого:				942

Полная определены заработная плата определяем исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп} , \quad (3)$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = Т_{р} \cdot З_{дн} , \quad (4)$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Т_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м}}{Д_{мес}} , \quad (5)$$

где: $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$D_{\text{мес}}$ – количество рабочих дней, раб. дн.

Исполнители	Оклад	Месячный основной оклад работника руб.	Средняя заработная плата работника руб.	Продолжительность работ, выполняемых работником раб. дн.	Основная заработная плата одного работника руб.
Руководитель	33664	43763	1683	10	16830
Бакалавр	12300	15990	615	100	61500
Итого Зосн :					78300

Таблица 7 – Расчет основной заработной платы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (6)$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Исполнители	коэффициент дополнительной заработной платы. $k_{\text{доп}}$, руб	Основная заработная плата одного работника $Z_{\text{осн}}$, руб.	Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$, руб.	Полная заработная плата $Z_{\text{п}}$, руб.
Руководитель	15%	16830	2525	19300
Бакалавр	12%	61500	7380	68900
Итого:				88200

Таблица 8 – Расчет полной заработной платы

4.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (7)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный **30,2 %**.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \times 88,2 = 26,6 \text{ тыс. руб}$$

4.4.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

4.4.4 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Смета затрат технического проекта

Наименование раздела	Сумма, тыс. руб	Структура затрат, %
----------------------	-----------------	---------------------

1. Материальные расходы	1,0	0,7
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	88,2	64,3
3. Отчисления во внебюджетные фонды	26,6	19,0
4. Накладные расходы	24,2	16,0
5. Итого	140,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 100 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научный руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 140 тыс.руб, из которых более половины (64 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

4.4.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [14]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиями к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;

2. Ремонтопригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;
3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;
5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;
6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии;
7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Эргономичность	0,13	5
2. Ремонтопригодность	0,16	5
3. Безопасность	0,14	4
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	4
5. Надежность	0,15	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,09	4
7. Энергоэффективность	0,15	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \times 0,13 + 5 \times 0,16 + 4 \times 0,14 + 4 \times 0,18 + 5 \times 0,15 + 4 \times 0,09 + 5 \times 0,15 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность гидродинамическое исследований скважин путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Абулхайров Суннатилло Хасанович

Школа	Инженерная школа энергетиков	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Насосная установка закачки воды в скважины для последующих гидродинамических исследований при разработке скважин и выявления наиболее продуктивных горизонтов в разрабатываемом месторождении.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	1. Отклонение параметров микроклимата 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенный уровень шума 1. Движущиеся машины и механизмы 2. Поражение электрическим током 3. Пожароопасность.
2. Экологическая безопасность	Загрязнение окружающей среды смазочными материалами. Проведение мероприятий по утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	1. Аварии, связанные с поломкой насосной установки. 2. Пожароопасность
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ. Эргономика кабины машиниста насосной установки и ее оснащение.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Абулхайров Суннатилло Хасанович		

Введение.

Рабочее место машиниста – кабина насосной установки, являющаяся ограниченным рабочим пространством. Правильная, научно обоснованная организация рабочего места, учитывающая физиологические особенности организма человека и конкретные условия эксплуатации насосной установки, способствует повышению производительности труда машиниста. Поэтому при организации рабочего места машиниста учитываются эргономические показатели кабины управления оптимальные значения параметров микроклимата и т. п. Конструкция кабины должна обеспечивать хороший обзор любой точки рабочей площадки, защиту машиниста от избыточного тепла, шума и вибраций, электробезопасность, легкость и удобство управления насосной установкой.

5 Производственная безопасность

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1)Технологический процесс 2)монтаж, демонтаж, ремонт оборудования	1. Отклонение параметров микроклимата 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенный уровень шума	1. Движущиеся машины и механизмы 2. Поражение электрическим током 3.Пожароопасность	Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать ГОСТ 12.2.130-91 Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений согласно ГОСТ 12.1.012-90 Уровень шума согласно ГОСТ 12.1.003.83 не должен превышать 80 дБА

5.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Отклонение параметров микроклимата

При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл. 15.

Таблица 15

Сезон года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый период	Не выше +31	25-75	0,2-0,7
Холодный и переходный периоды	От +15 до +23	25-75	0,3-0,4

Примечание. Вертикальный и горизонтальный перепад температур не должен превышать 4 °С.

В районах с повышенной относительной влажностью наружного воздуха допускается для теплого периода года относительная влажность в кабине на 10% выше установленной в табл. 1. Температура металлических поверхностей стен внутри кабины на высоте не более 0,5 м не должна превышать 35 °С.

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Перегрев. При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость,

головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия, тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе — солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами.

Охлаждение. Длительное и сильное воздействие низких температур может вызвать различные неблагоприятные изменения в организме человека. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов и др., а также простудных заболеваний. В особо тяжелых случаях воздействие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.

Повышенная влажность воздуха (более 75...85%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими — способствует перегреванию организма. Относительная влажность менее 25% также неблагоприятна для человека, так как приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей.

Для обеспечения допустимых параметров микроклимата необходимо использование вентиляции и отопления. Вентиляция в кабине машиниста применяется, как правило, приточно - вытяжная с использованием осевого вентилятора. Отопление осуществляется с помощью электрических нагревательных приборов. В новейших разработках получила применение система кондиционирования воздуха.

Повышенный уровень вибрации

Источником вибрации при работе насосной установки является электропривод основного насоса и передаточные устройства.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений, что ведет к снижению работоспособности и производительности труда, соответственно, а также происходит развитие нервных заболеваний, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, нарушение функций опорно-двигательного аппарата, поражение мышечных тканей и суставов, нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни.

Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений, приведенных в табл.16.

Таблица 16

Вид вибрации	Допустимые скорректированные значения виброускорения, м/с
Общая категория: на сиденье машиниста в направлении*	0,27
Локальная: на рукоятках управления в направлении движения руки	2,0

* Технически достижимая вибрационная характеристика должна быть не более 0,54 м/с².

К мероприятиям по защите от вредного воздействия вибрации относят установку демпфированных подвесок кабин управления или кресла машиниста насосной установки.

Повышенный уровень шума

В кабине машиниста насосной установки преобладает шум механического происхождения, возникающий в результате работы механизма насосов, а так же специальной техники, которые используются для подвоза воды, ремонтных и прочих работ.

Воздействие шума является причиной повышенной утомляемости, потери слуха, снижения производительности труда.

Уровень звука, излучаемый насосной установкой в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА по ГОСТ 12.1.003.

5.2. Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Движущиеся машины и механизмы

Основными видами опасности, воздействующими на машиниста насосной установки, являются:

-Механические виды опасности, связанные с ремонтными работами на насосной установке с применением грузозахватных приспособлений, тарой.

-Опасность, вызванная поступательным движением машины, движение во время запуска двигателя насоса; работа установки при отсутствии машиниста на своем месте; движение при отсутствии надежного закрепления всех составных частей, деталей и узлов; слишком высокие колебания насосной установки во время закачки воды в скважины.

Для защиты персонала необходимо, чтобы вращающиеся части были закрыты кожухами, а так же исправное состояние упорных и опорных механизмов, обеспечением которых выступает соблюдение графиков ТО и своевременное проведение ремонтных работ механизмов.

Поражение электрическим током

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опас-

ного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Машинист должен быть обеспечен защитными средствами: изоляционными перчатками, изоляционными галошами и ковриками, а также строго следовать инструкции электробезопасности.

Пожароопасность

На насосной установке как правило имеется большое количество электрооборудования, горюче-смазочных материалов, и как правило не правильная эксплуатация и некачественный ремонт может привести к возгоранию, а как следствие к пожару на насосной установке.

Подробнее рассмотрено в пункте 3.

5.3 Экологическая безопасность.

В процессе эксплуатации насосной установки возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

Для того чтобы исключить или минимизировать вред, требуется, во-первых, проводить своевременные регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту установок.

Во-вторых, оперативно, квалифицированно и своевременно ликвидировать источники загрязнения при их возникновении.

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

- отсортированные материалы устраниются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;
- при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

-смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

При эксплуатации насосной установки возможны различные аварийные ситуации, связанные с поломкой и выходом из строя: двигателя основного насоса, запорной арматуры воды, неисправности приборов и устройств безопасности. В случае их возникновения машинист обязан прекратить работу и сообщить ремонтной службе.

Наиболее опасной для жизни и здоровья работника является ЧС в виде пожара. Причиной тому может стать халатное отношение работника к технике пожарной безопасности, использование недопустимого оборудования, не соблюдение графика проведения ремонтных работ, наличие работающего электрооборудования, которое также необходимо обслуживать и эксплуатировать в исправном состоянии.

При возникновении на установке пожара, машинист должен немедленно отключить рубильник в кабине, через наземных рабочих вызвать пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися на установке противопожарными средствами (порошковым огнетушителем, песком). После ликвидации пожара запрещается включать насосную установку до проверки и разрешения ремонтного персонала.

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

До работ на насосной установке допускаются только обученные и аттестованные машинисты не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по

причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

При проведении работ в зимнее, то согласно ст. 109 ТК РФ машинист имеет право на перерывы на обогрев, которые входят в рабочее время.

Согласно ст.117 ТК РФ машинисту предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для подъема на рабочее место машиниста, на насосную установку, должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм.

Дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм (для исполнения ХЛ - не менее 750 мм) с учетом уплотнения. Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении, в том числе за счет профилирования спинки и сиденья, а также обеспечивать условия для отдыха.

Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

ширина поверхности сиденья, не менее	400
глубина поверхности сиденья	400-420
высота спинки, не менее	500
ширина опорной поверхности спинки, не менее	400
регулируемая высота поверхности сиденья от уровня установки ног	360-450

горизонтальное (продольное) регулирование, не менее	100
высота подлокотников, мм	200-240
ширина подлокотников, не менее, мм	50
длина подлокотников, мм	250-300

Кроме того кабина машиниста должна быть оборудована средствами или устройствами:

1) для предотвращения запотевания и обмерзания стекол при температуре наружного воздуха до минус 40 °С, по требованию заказчика для исполнения ХЛ по ГОСТ 15150 - до минус 55 °С;

2) для защиты глаз машиниста от прямых солнечных лучей (солнцезащитные козырьки, тонированные стекла и др.);

3) для очистки наружной поверхности лобового стекла от загрязнения и атмосферных осадков, обеспечивающими рациональные зоны очистки;

4) для установления, регулирования и поддержания комфортных микроклиматических условий;

5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 5727-88. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

Заключение

Для автоматизации гидродинамического исследования скважин было выбрано следующее оборудование:

- манометр марки ДМ5002Г;
- расходомер марки US-800;
- контроллер марки Schneider Modicon M238;
- преобразователь частоты HYUNDAI N700E–370HF;
- игольчатый регулирующий клапан с электроприводом марки ПЭМ–

A16;

Электропривод игольчатого клапана выпускается в продаже вместе с асинхронным двигателем марки АИР63В6.

Рассчитал и построил механические и электромеханические характеристики жвигателя.

Создал имитационную модель, позволяющую получить графики переходных процессов электропривода регулировочного клапана.

При помощи имитационной модели, созданной в среде MATLAB, были рассмотрены следующие ситуации:

- работа привода под ступенчатой нагрузкой и без нагрузки;
- работа привода под плавно изменяющейся нагрузкой;
- работа привода при различных частотах питающего напряжения;
- изменение величины перемещения иглы клапана на малые (<10%) и большие (>10%) расстояния.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проработаны и получены следующие результаты.

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность гидродинамическое исследований скважин путем улучшения энер-

гоэффициентности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

Conclusion

For automation of hydrodynamic well survey the following equipment has been chosen:

- DM5002G brand manometer;
- flowmeter of the US-800 brand;
- controller of the Schneider Modicon M238 brand;
- converter of frequency HYUNDAI N700E–370HF;
- the needle adjusting valve with the electric drive of the PEM-A16 brand;

The electric drive of the needle valve is issued on sale together with the asynchronous engine of the AIR63V6 brand.

I have calculated and has constructed mechanical and electromechanical characteristics of a zhvigatel.

I have created the imitating model allowing to receive schedules of transition processes of the electric drive of the adjusting valve.

By means of the imitating model created in the environment of MATLAB the following situations have been considered:

- operation of the drive under step loading and without loading;
- operation of the drive under smoothly changing loading;
- operation of the drive with various frequencies of the feeding tension;
- change of size of movement of a needle of the valve on small ($\leq 10\%$) and big ($\geq 10\%$) distances.

During acquaintance with the existing GDIS system it has been found out that at present control of the locking valve in JSC Gazprom Promgaz is exercised in the manual mode. In this regard it is possible to tell that automation of process of forcing at hydrodynamic well surveys with use of the adjusting valve through passage

is a hot topic. The payback period of the equipment will make 12 months.

Список использованной литературы

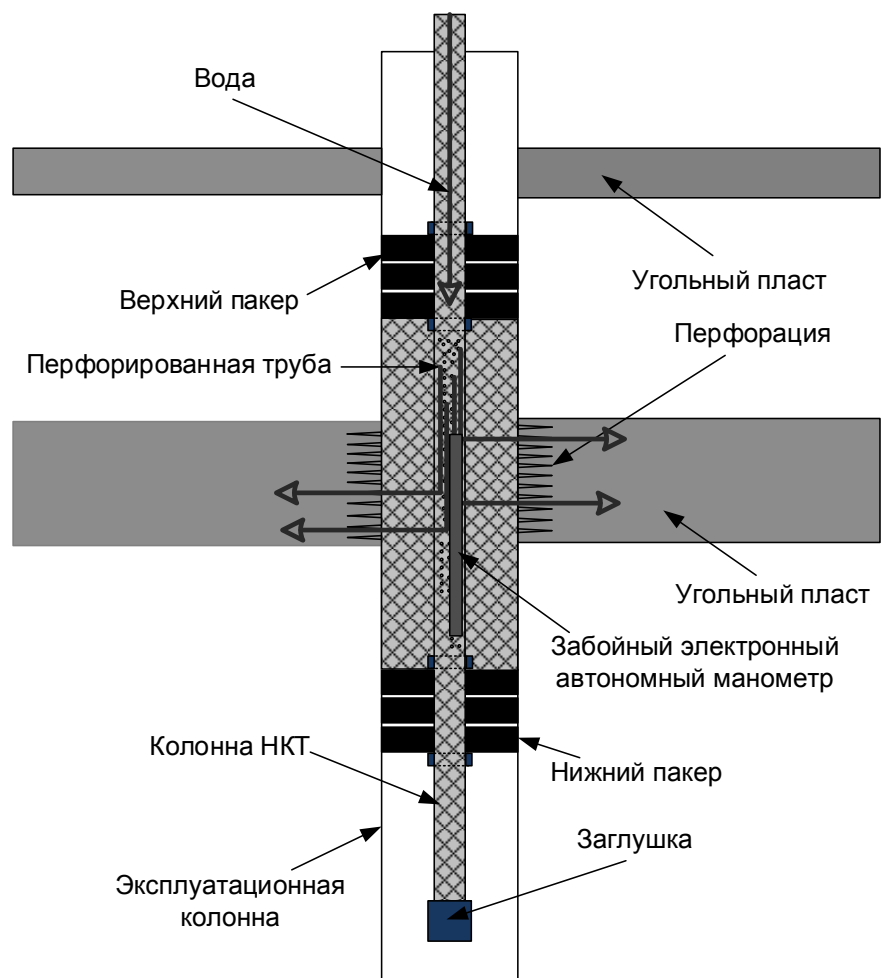
1. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистров всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ. На/Сост. Ю.В.Бородин, В.Н.Извеков, Е.В.Ларионова, А.М.Плахов. - Томск: Изд – во Томского политехнического универ-та, 2014. – 20 с.
2. Вредные и опасные факторы при работе с компьютером. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/vrednye-factory-pri-rabote-na-pk.html> (дата обращения: 22.05.2014).
3. Вред окружающей среде при добыче сланцевого газа – [Электронный ресурс]. – URL: <http://orgproduct.jimdo.com/> (дата обращения: 22.05.2014).
4. И.Г. Однокопылов, В.В. Гнеушев, Д.А. Сизиков, В.В. Шишляев. Автоматизация процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях фильтрационных характеристик угольных пластов. Томский политехнический университет, ОАО «Газпром промгаз», г. Москва
5. Логический контроллер Modicon M238 – Руководство по эксплуатации, 2011г.
6. Приводы электрические многооборотные ПЭМ – Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421312.014 РЭ. ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация», г. Москва.
7. Расходомер – счетчик жидкости ультразвуковой US–800 – Руководство по эксплуатации. ООО «Водотеплоприборы», г. Москва
8. Манометр цифровой ДМ5002Г – Руководство по эксплуатации 5Ш0.283.342 РЭ.
9. Н.В.Кояин, О.П.Мальцева, Л.С.Удудт. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Имитационные модели в среде моделирования MATLAB-Simulink. Методика настройки систем управления электропривода. г. Томск 2014г.

10. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
11. Инструкция, руководство по эксплуатации частотного преобразователя N700E.
12. Электромеханические свойства двигателей переменного тока – [Электронный ресурс]. – URL: http://model.exponenta.ru/epivod/glv_030.htm (дата обращения: 5.05.2014).
13. Исследования фильтрационных свойств угольных пластов – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.uglemetan.ru/field_tests.htm (дата обращения: 10.05.2014).
14. Л.А.Коршунова, Н.Г. Кузьмина. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. Издательство Томского политехнического университета Томск – 2012.
15. Гидродинамические исследования скважин. Википедия – [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 10.05.2014).
16. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.
17. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», утв. Главным госсанврачом РФ 30.05.2003 ((в ред. Изменения № 1, утв. 25.04.2007 № 22).

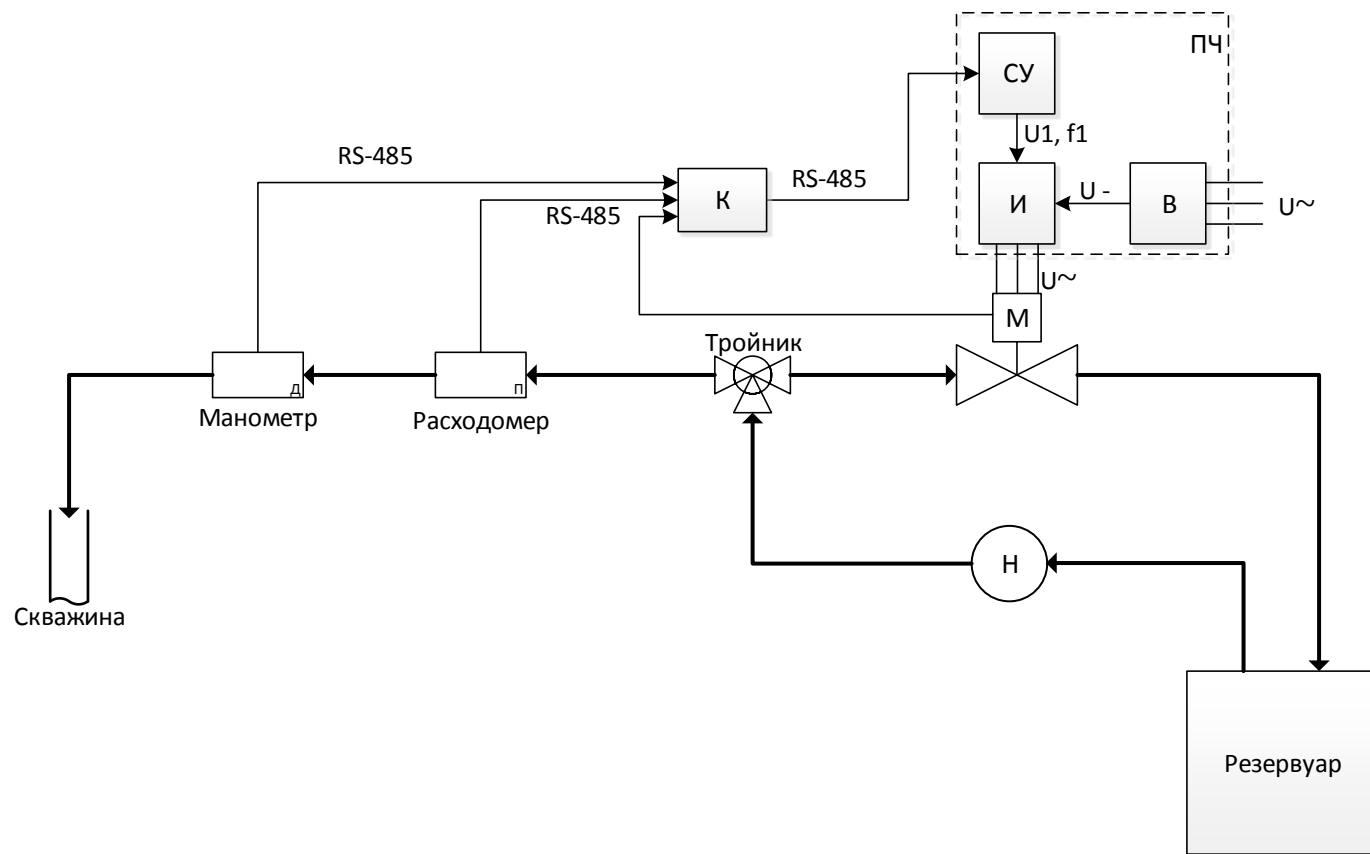
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал

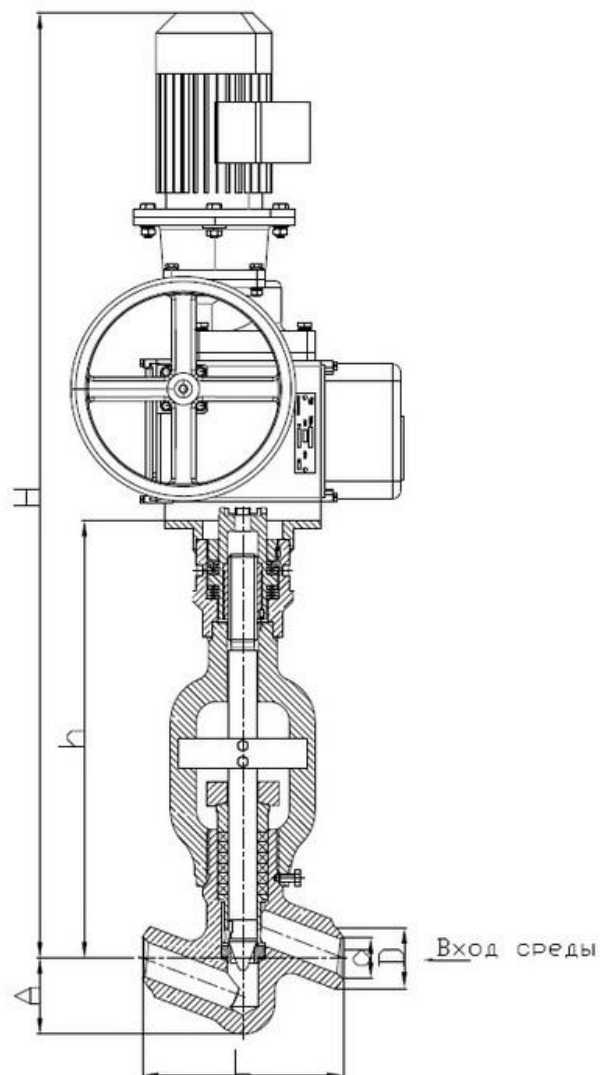
Технологический процесс гидродинамических исследований



Функциональная схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин с использованием проходного регулировочного клапана

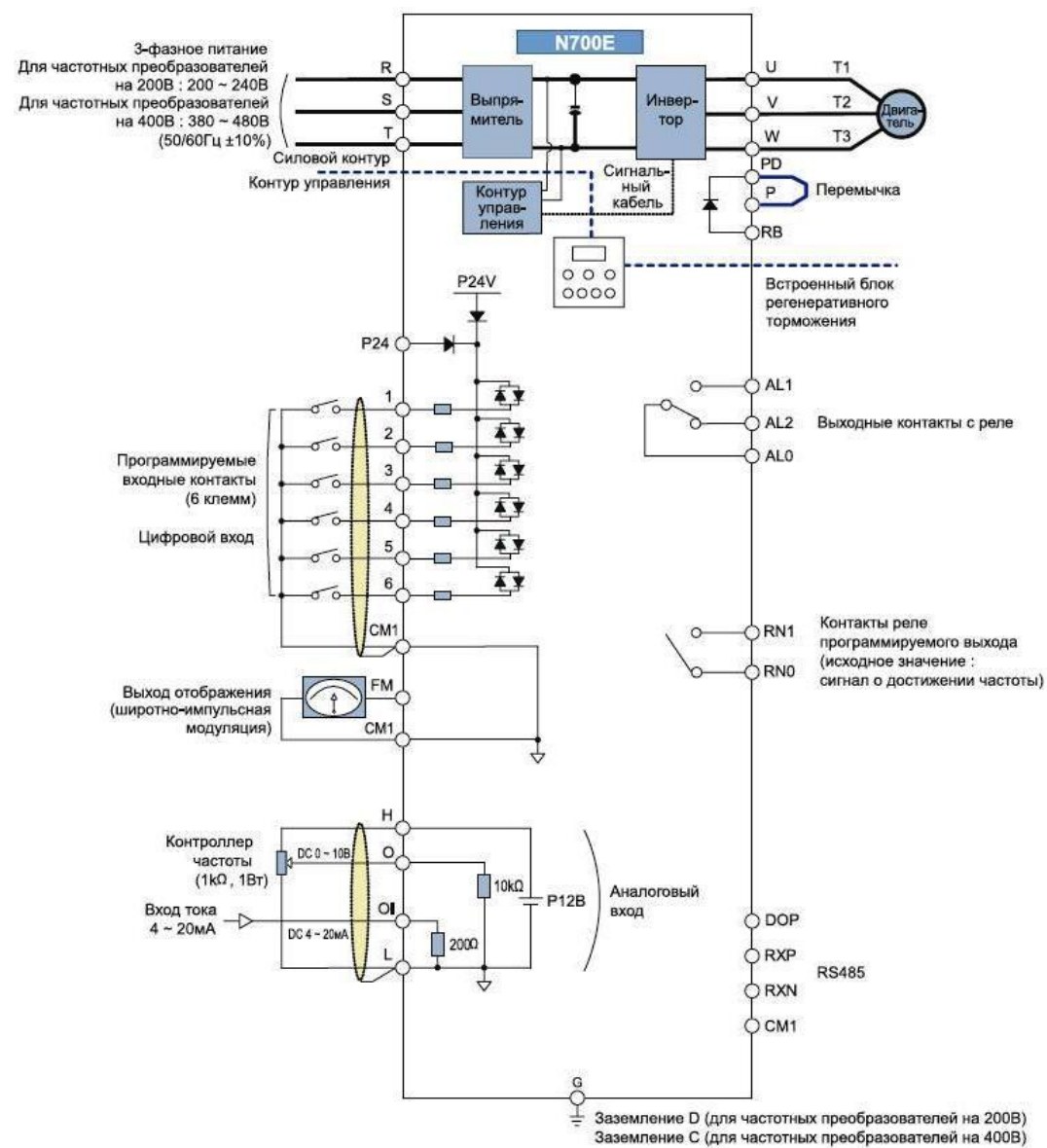


Регулировочный клапан с электроприводом

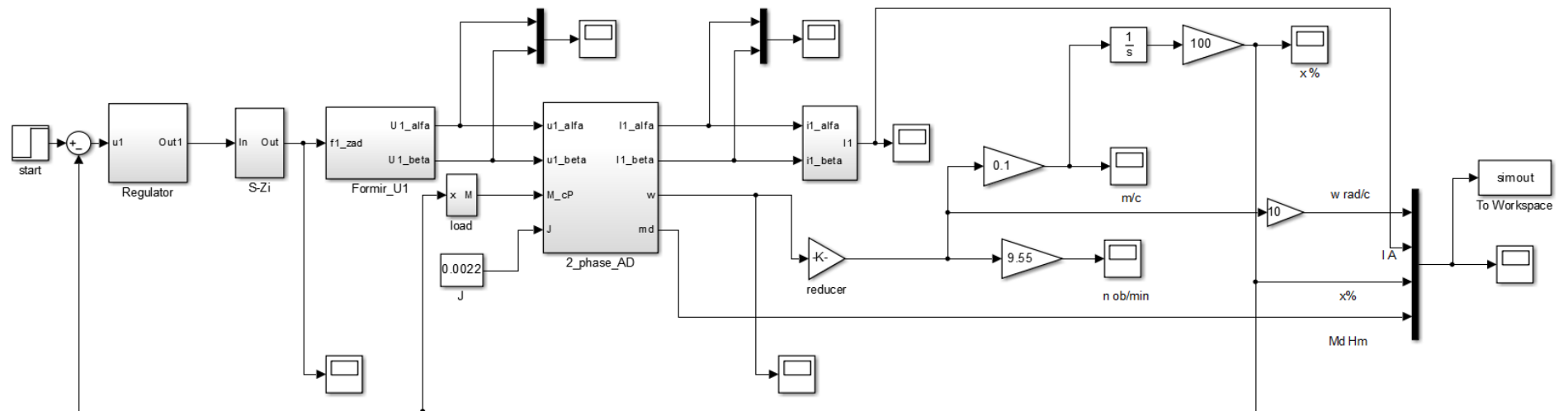


Диапазон настройки крутящего момента на выходном валу, Н·м	Частота враще ния выходн ого вала, об/мин	Число оборотов выходного вала, необходим ое для закрытия (открытия) арматуры, об		Передаточное число от маховика ручного привода к выходному валу	Мощнос ть электро двигате ля кВт, не более	Масса, кг
		мин.	макс			
70–110	$24 \pm 4,8$	10	45	56	0,25	22

Схема электрических соединений частотного преобразователя HYUNDAI N700E-370HF



Имитационная модель электропривода запорного игольчатого клапана



Графики переходных процессов

