

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра - Электропривода и электрооборудования
Профиль подготовки – Электроприводы и системы управления электроприводов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система управления дросселированием при больших перепадах давления

УДК 62-543.2:62-98

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Черемных Анастасия Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гнеушев Виталий Викторович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	К.Т.Н		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>
P7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>
P11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический
 Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра – Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

Ю.Н. Дементьев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Черемных Анастасия Сергеевна

Тема работы:

Автоматизированная система управления дросселированием при больших перепадах давления
Утверждена приказом директора Энергетического института (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)	
--	--

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 методом инжет-тест. Основные требования к оборудованию: надежность, точность измерения и регулирования. Требование к электроприводу запорного клапана - точность, не высокая стоимость, нагрузка реактивная, режим работы периодический. Точность и стабилизация поддержания расхода в процессе нагнетания 100 литров в час, при максимальном рабочем давлении равном 11МПа
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; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные; дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</i>	Теоретические сведения о ГДИС; Выбор схемы автоматизации; Расчет и выбор оборудования; Моделирование пуска АД, проверка на адекватность в Matlab; Моделирования ПЧ в Matlab; Моделирования схем автоматизации в Matlab, изучения оптимальной схемы подробно.

Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кузьмина Н.Г., старший преподаватель
«Социальная ответственность»	Дашковский А.Г., к.т.н., доцент
«Английский язык»	Пташкин А.С., к.ф.н., доцент

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Черемных А.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Черемных Анастасии Сергеевне

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/Электроприводы и системы управления электроприводов

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

1. Стоимость затрат научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад НР – 19500 руб. Оклад инженера 9р. – 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации – 20% Районный коэффициент – 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление во внебюджетные страховые фонды – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Планирование работ и их временных оценок.
2. Разработка устава научно-технического проекта	2. Смета затрат на проектирование
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3. Сравнительный анализ полученных результатов.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Черемных А.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Черемных Анастасия Сергеевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Электроприводы и системы управления электроприводов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Рабочие место: аудитория № 159, расположенная в 8 корпусе НИ ТПУ
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03» Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	- Микроклимат; - Освещенность рабочей поверхности; - Шум и вибрация; - Пожарная опасность; - Электромагнитное излучение.
2. Экологическая безопасность	Вредное влияние на окружающую среду оказывает недостаточная утилизация устаревших комплектующих компьютера.
3. Защита в чрезвычайных ситуациях	Наиболее вероятным ЧС при работе в аудитории является пожар. План эвакуации
4. Правила и правовые законодательные нормы обеспечения безопасности.	Социальное страхование работников.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Черемных Анастасия Сергеевна		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 129 страниц текста, 46 рисунков, 12 таблиц, 34 использованного источника, 2 приложения.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, дросселирование, процесс нагнетания, гидродинамические исследования.

Сокращения: ГДИС – гидродинамические исследования скважин; ИПТ – испытание пластов на трубах; КВД – кривая восстановления давления; КВУ – кривая восстановления уровня; АД – асинхронный двигатель; КПД – кривая падения давления; ПЧ – преобразователь частоты.

В первой главе приведены обзор методов гидродинамических исследований скважин, сравнительный анализ схем реализации, выбор способа регулирования нагнетания жидкости.

Во второй главе произведен расчет и выбор оборудования, выбор двигателя и расчет параметров схемы замещения, построение характеристик и проверка на адекватность расчетов.

Третья глава посвящена имитационному моделированию пуска АД, ПЧ-АД и процесса нагнетания.

Пояснительная записка магистерской диссертации выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007 с использованием пакетов MathCad 13, Microsoft Visio, Matlab.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. Технологический процесс.....	12
1.1. Обзор методов гидродинамических исследований скважин.....	12
1.2. Схема реализации и их сравнительный анализ.....	19
1.3. Обоснование и выбор способа регулирования нагнетания жидкости в скважину.....	24
2. Расчет и выбор оборудования.....	25
2.1. Требования, предъявляемые к электроприводу запорно-регулирующей арматуры.....	25
2.2. Выбор и обоснование способа регулирования ЭП.....	27
2.2.1. Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	29
2.3. Выбор электродвигателя и расчет параметров схемы замещения.....	34
2.3.1. Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.....	39
2.4. Выбор преобразователя частоты.....	40
2.4.1. Выбор автоматического выключателя и пускателя.....	46
2.5. Естественные характеристики электродвигателя.....	48
2.6. Механические и электромеханические характеристики при законе управления $U/f = \text{const}$	51
2.7. Выбор оборудования системы автоматического регулирования процесса нагнетания жидкости в скважину.....	55
3. Имитационное моделирование процесса нагнетания при проведении гидродинамических исследований (метаноугольной скважины).....	65
3.1. Имитационная модель АД, проверка адекватности.....	65
3.2. ПЧ-АД (закон управления).....	71
3.3. Общая схема из блоков Subsystem.....	75
3.4. Сравнительный анализ схем: прямой, сбросной на Matlab.....	77
3.5. Динамические исследования процесса проведения инжет-теста.....	79

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	82
4.1. Планирование работ и их временных оценок.....	82
4.2. Смета затрат на проектирование.....	84
4.2.1. Материальные затраты.....	85
4.2.2. Затраты на амортизацию.....	85
4.2.3. Затраты на заработную плату.....	86
4.2.4. Затраты на социальные нужды.....	87
4.2.5. Прочие затраты.....	87
4.2.6. Накладные затраты.....	87
5. Социальная ответственность.....	90
5.1. Техногенная безопасность.....	90
5.2. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	97
5.3. Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	99
5.4. Региональная безопасность.....	99
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
5.6 Правила и правовые законодательные нормы обеспечения безопасности.....	104
5.6.1 Социальное страхование для работника.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
Публикации.....	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	108
Приложение А.....	111
Приложение В.....	112

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность.

Исследование нефтяных и газовых месторождений основаны на передовых научных разработках, которые базируются на детализированном исследовании свойств угольных пластов и содержащихся в них газов и жидкостей, также изучении происходящих процессов в пластах при их эксплуатации. Изыскательские работы проводятся на протяжении всего срока эксплуатации скважины

Данные, полученные при гидродинамических изысканиях, дают возможность оптимизировать технологический процесс, и способствовать максимальному выделению газа и реализовывать подбор рационального использования технического оснащения на всех этапах эксплуатации скважины

В скважину закачивают жидкость при высоком давлении с одновременной фиксацией ее количества давления и давлений на забое и устье скважины. Во время выполнения исследований, на основании полученных первичных данных с последующей обработкой, можно провести оценку свойств пластов и скважины в целом. Качественное определение и трудоемкость оценки состояния фильтрационных свойств пластов, напрямую зависит от соблюдения технологии проведения изысканий.

Основным технологическим параметром, который требует неизменного постоянства при проведении изыскания, является расход жидкости закачиваемой в скважину. На данный момент имеющиеся методы закачки жидкости в скважину во время выполнения изысканий подразумевают роль оператора, который на протяжении всего процесса закачки обязан поддерживать определенный расход закачиваемой жидкости. Для автоматизации процесса закачивания были разработаны схемы с внедрением регулируемого электропривода, который позволяют автоматизировать процесс закачки с высокой точностью.

Целью работы является создания системы автоматического управления процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях, которая должна обеспечивать в течение длительного времени с помощью вентиля оснащенного электроприводом поддерживать необходимый расход при изменении давления в системе.

Научная новизна работы заключается в имитационном моделировании процесса нагнетания жидкости в скважину.

1. Технологический процесс

1.1 Обзор методов гидродинамических исследований скважин

Гидродинамические исследования скважин (ГДИС) — совокупность различных мероприятий, направленных на измерение определенных параметров и фильтрационных пластов скважины.

Есть способы исследований при стабильных фильтрующих режимах и нестабильных. К первым относится анализ индикаторной диаграммы, ко вторым такие аналитические методики:

- кривая возобновления водяного давления;
- кривая убывания давления;
- восстановление уровня;
- график притока;
- гидропрослушивание.
- гидродинамические исследования методом нагнетания с

последующем восстановления давления.

Испытание пластов на трубах (ИПТ)

Подсистема Испытатель на трубах обеспечивает обработку результатов испытаний нефтеносных и газоносных пластов в открытом стволе при бурении или в обсаженной и перфорированной скважине. Испытания проводятся трубными аппаратами (КИИ) многоциклового действия с регистрацией кривых притока КП и восстановления давления КВД нижним (фильтровым или забойным) и верхним (трубным) манометрами. Эти кривые могут быть введены в компьютер вручную с помощью встроенного редактора (после оцифровки аналоговых кривых), перенесены через Буфер Обмена из других приложений Windows (Excel, Word и т. д.), импортированы из текстовых файлов (в случае цифровой регистрации).

Стандартная обработка КВД методом Хорнера позволяет определить текущее пластовое давление, оценить гидропроводность пласта, радиус

исследования, скин-фактор, фактическую и потенциальную продуктивности скважины. Пользователь имеет возможность непосредственно на графике за экраном компьютера выбрать участок кривой для обработки по первому и второму циклам, оперативно сравнить результаты различных вариантов обработки. При необходимости можно скорректировать положение линии, исключить из обработки недостоверные точки. Такой стандартный метод Хорнера применяется в условиях постоянного дебита притока и полностью восстановленной КВД при малой упругоёмкости подпакерного объема скважины. Но когда дебит скважины существенно менялся в течение притока, а во время закрытого периода давление восстанавливалось медленно, необходимо проводить обработку с учетом фактической истории потока флюида.

Чтобы ввести поправки за переменный дебит притока и “послеприток” в подпакерный объем скважины, нужно сначала рассчитать кривую текущего дебита по кривым давления. В полученную кривую дебита вводится поправка за негерметичность. При дифференцировании кривых давления используется специальный алгоритм с переменной степенью сглаживания. Пользователь может регулировать степень сглаживания, чтобы получать незашумленные и неискаженные кривые дебита при различных временных интервалах и качестве замеров давления. Также можно оперативно, в режиме интерактивной графики, исключить из расчетов отдельные недостоверные точки или участки кривых. Очень важно получить гладкую кривую дебита, так как шумы дифференцирования сильно влияют на качество модифицированного графика.

Кривая восстановления давления (КВД)

Метод кривой восстановления давления (КВД) применяется для скважин, фонтанирующих с высокими и устойчивыми дебитами.

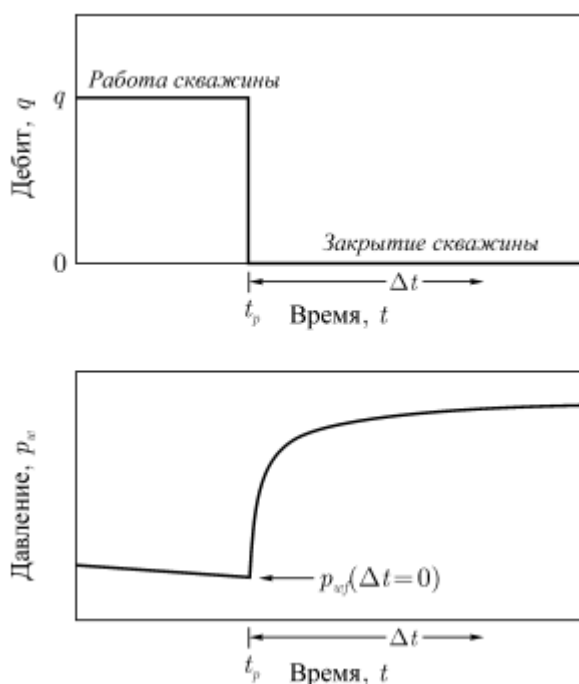


Рисунок 1 – Идеализированная динамика изменения дебита и давления при исследовании скважины методом восстановления давления

Исследование методом КВД – это регистрация давления в непосредственно остановленной скважине (отбор жидкости прекращён), закрытая путём герметизации устья после кратковременной работы с известным дебитом (тест Хорнера) или после установленного отбора (метод касательной).

Для того чтобы определить параметры удалённой от скважины зоны пласта, длительность регистрации КВД должна быть достаточной для исключения влияния "послепритока" (продолжающегося притока жидкости в ствол скважины), после этого увеличение давление возрастает только из-за сжатия жидкости в пласте и её фильтрации из удалённой в ближнюю зону пласта (конечный участок КВД).

Продолжительность исследования эксплуатационной скважины способом КВД возможна от нескольких часов до нескольких недель, поэтому радиус исследования охватывает немалую зону пласта. Однако, конечные участки КВД могут быть изменены влиянием соседних скважин на

распределение давления в удалённой зоне пласта, при значительной длительности исследования

Кривая восстановления уровня (КВУ)

Метод кривой восстановления уровней (КВУ) применяется для скважин с низкими пластовыми давлениями (с низкими статическими уровнями), то есть нефонтанирующих (без перелива на устье скважины) или неустойчиво фонтанирующих.

Вызов притока в таких скважинах производится путём уменьшения уровня жидкости в стволе скважины.

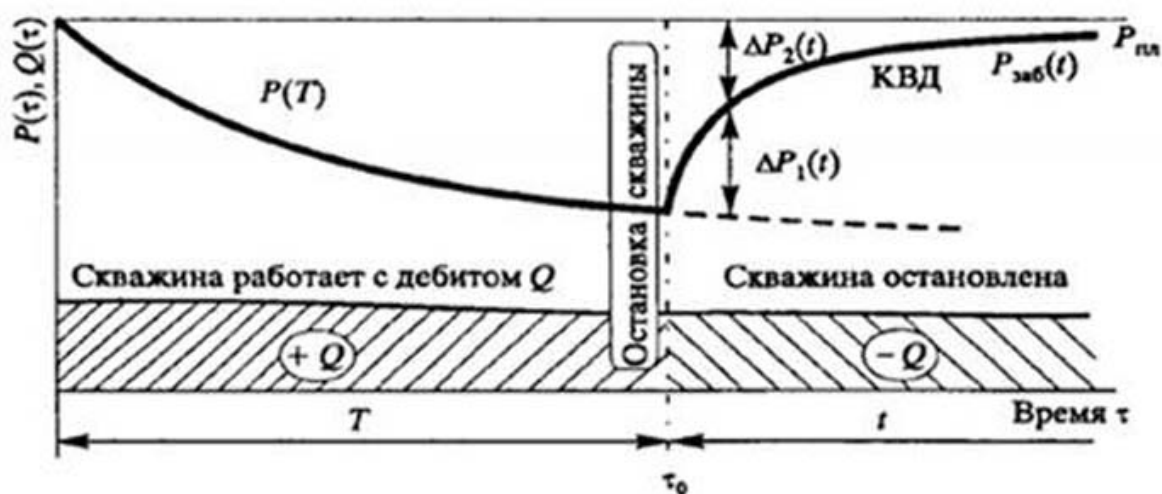


Рисунок 2 – Обратная динамика заполнения полости колодца водой характеризует давление в водоносном слое

КВУ ведется в остановленной скважине (отбор воды прекращён) с не закрытым устьем. Из пласта длится затухающий со временем приток, который сопровождается подъёмом уровня жидкости в стволе скважины. Выполняется фиксация глубины динамического значения воды (ГЖР – газожидкостного раздела) и ВНР (водонефтяного раздела) с течением времени. Взлет значения и подъем столба воды сопрягается с наращиванием давления. Кривая конфигурации давления в данном случае это кривая притока (КП). Впоследствии остановки притока и восстановления давления делают замер статического значения и пластового давления.

Продолжительность регистрации КВУ или же КП зависит от плотности флюида, продуктивности скважины, площади сечения поднимающегося в стволе скважины струи воды и угла наклона ствола скважины.

Обработка КВУ разрешает высчитать пластовое давление, дебит воды и коэффициент продуктивности, а в случае регистрации глубины ВНР - обводнённость продукции. При общей регистрации глубины значения воды и давления глубинным манометром возможно получить оценку средней плотности воды.

Попытки обработать КВУ согласно нестационарным моделям "с учётом притока" с мишенью извлечения гидропроводности удалённой области пласта и скин-фактора, обычно, малоинформативны по причине довольно большущей упругоёмкости ствола скважины с не закрытым устьем или же газовой шапкой. В подобной истории воздействие "послепритока" значимо на всём протяжении КВУ, а способа "учёта притока" нередко не выделяют конкретной интерпретации КП. Для исключения воздействия "послепритока" используется изоляцию интервала проверки пакерами от оставшегося ствола скважины с внедрением ИПТ.

Индикаторные диаграммы (ИД)

Метод снятия индикаторной диаграммы (ИД) используется для определения рационального метода эксплуатации скважины, исследования воздействия режима работы скважины на значение дебита. Индикаторные диаграммы возводятся по сведениям установившихся отборов и предполагают собой подневольность дебита от депрессии или же забойного давления.

Метод установившихся отборов применяется для скважин с высочайшими устойчивыми дебитами, а также учитывает проведение замеров на 4-5 установившихся режимах. Отработка скважины, обычно, ведется на штуцерах с разными диаметрами. При любом режиме определяют забойное давление, дебиты водянистой и газообразной фаз пластового флюида.

Ведущими определяемыми параметрами считаются пластовое нажим и коэффициент продуктивности. Для наиболее совершенной оценки фильтрационных данных пласта нужно комплексирование с способом КВД в остановленной скважине.

Гидропрослушивание

Гидропрослушивание производится для исследования характеристик пласта (пьеzoпроводность, гидропроводность), рядов выклинивания, тектонических нарушений и т. д. Основная идея метода заключается в надзоре за переменной уровня или же давления в реагирующих скважинах, обусловленным изменением отбора воды в примыкающих возмущающих скважинах. Укрепляя начало остановки или же конфигурации отбора воды в возмущающей скважине и начало конфигурации давления в реагирующей скважине, по времени пробега волны давления от одной скважины до иной возможно осуждать о свойствах пласта в межскважинном месте.

В случае если при гидропрослушивании скважина не реагирует на перемены отбора в располагающейся рядом скважине, это указывает на недоступность гидродинамической связи меж скважинами вследствие присутствия герметичного экрана (тектонического нарушения, выклинивания пласта). Этим образом, гидропрослушивание разрешает обнаружить особенности строения пласта, которые не всякий раз видется вероятным ввести в процессе разведки и геологического исследования месторождения.

Гидродинамические исследования методом нагнетания с последующем восстановления давления.

Гидродинамические изучения скважин (ГДИС) считаются желаемым способом получения необходимой информации о фильтрационных свойствах угольных пластов.

Полученные данные при гидродинамических исследования позволяют осуществлять выбор нормального режима технологического оборудования скважины на период ее эксплуатации и освоения. Так же эти данные используются для гидродинамического моделирования как исходные.

В разведочных скважинах нужно подобрать приемлемый способ ГДИС, какой даст возможность приобрести в малые сроки правильные значения фильтрационных данных результативных горизонтов. Результативным способом изучения фильтрационных данных угольных пластов считается инжект-тест до вызова притока флюида с угольных пластов, если главная система трещинных каналов переполнена многопластовой жидкостью.

Инжект-тест реализуется нагнетанием жидкости в пласт в течении конкретного периода времени и дальнейшим закрытием скважины и фиксированием кривой изменения забойного давления. Иностранные эксперты подмечают, то, что при проведении подобных тестирований фильтровальный поток в системе трещин является монофазным, интерпретирование подобных исследований существенно упрощается согласно сопоставлению с технологиями ГДИС при многофазном потоке, предусматривающие условные фазовые проницаемости. Модель компоновки находящийся под землей оснащения, применяемого при проведении инжект-теста, показана в рисунке 3.

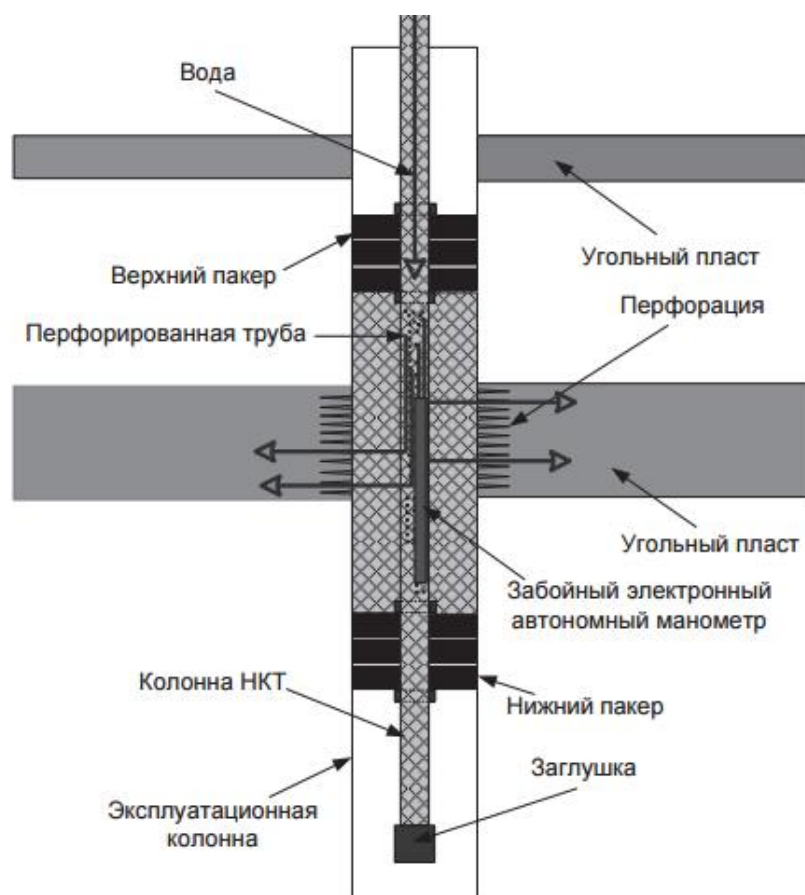


Рисунок 3 – Модель компоновки подземного оборудования, применяемого при проведении инжект-теста

1.2 Схема реализации и их сравнительный анализ

В настоящее время существующие способы проведения инжект- теста предполагают участие оператора, который в течение определенного времени с помощью вентиля должен поддерживать нужный расход и давление в системе. Решения подобных задач ранее не рассматривались. Для автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях разработались схемы с использованием мехатронных узлов, которые позволяют с высочайшей точностью автоматизировать процесс инжектирования. Использование регулируемого насоса высокого давления является одним из простых решений автоматизации гидродинамических исследований скважин на репрессии. Схема автоматизации представлена на рисунке 4.

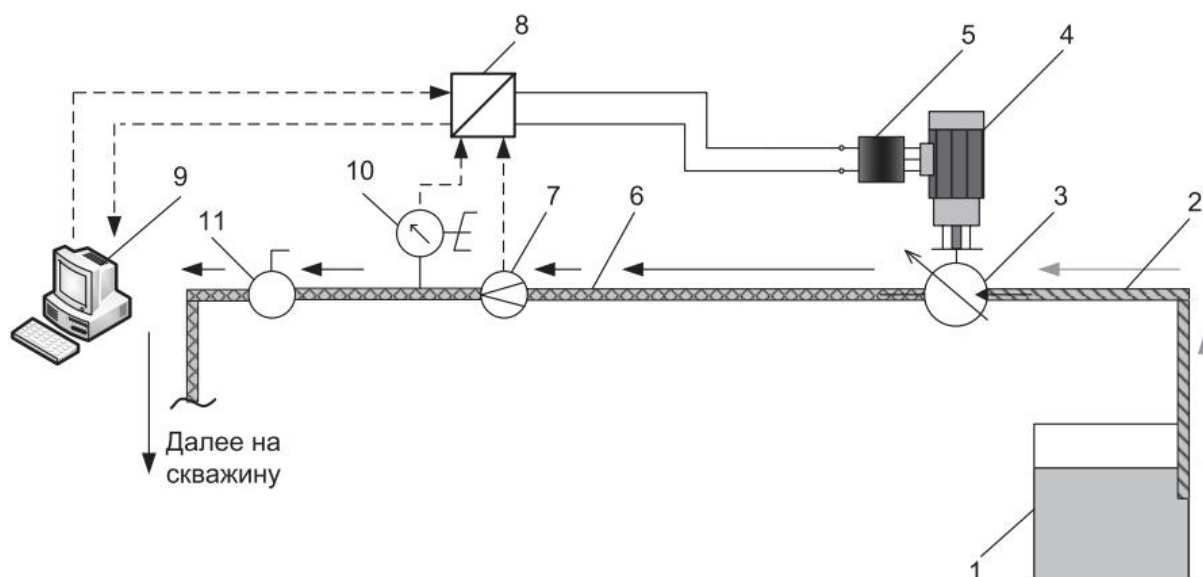


Рисунок 4 – Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин методом репрессии с использованием регулируемого насоса высокого давления

Из емкости 1 по трубопроводу низкого давления 2 вода подходит к регулируемому насосу высокого давления 3, который приводится в движение асинхронным двигателем (АД) 4, его скорость регулирует преобразователь частоты 5(ПЧ). Затем по трубопроводу высокого давления 6 жидкость направляется через расходомер 7 в скважину. Данные полученные с расходомера 7 снимаются, обрабатываются программируемым логическим контроллером 8, в нем формируется задание для преобразователя частоты 5. Персональный компьютер 9 используется для визуального отображения информации в реальном времени и записи данных в определенном формате. После достижения необходимого давления в скважине, которое снимается электронным манометром 10, нагнетательный трубопровод закрывается при помощи шарового крана 11. Процесс инжектирования закончен.

Данная схема является простой, однако, она обладает существенным недостатком. Существующие на данный момент общепромышленные насосы не смогут обеспечить низкий расход при высоком давлении. Расход фиксируется расходомером 7 и составляет 50...300 л/ч при давлении более 10

МПа. Проектирование глубоко регулируемого электропривода насоса высокого давления является непосредственно трудоемкой и неоправданной задачей.

На рис. 5 представлена схема автоматизации гидродинамических исследований скважин методом инжектирования с использованием проходного регулировочного клапана.

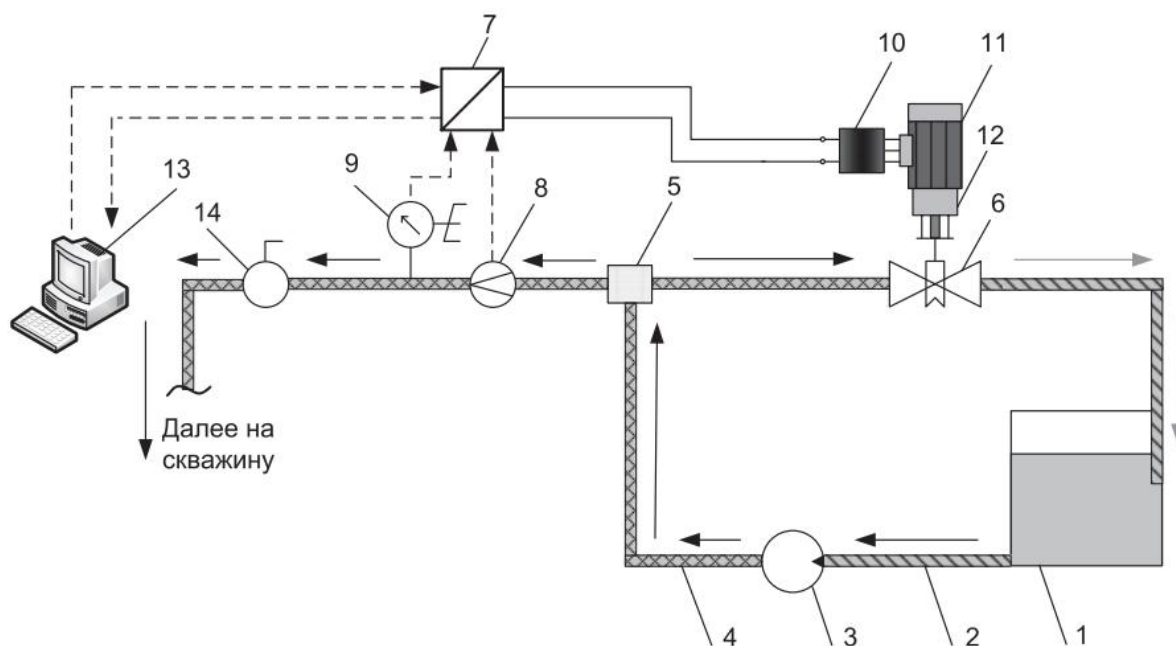


Рисунок 5 – Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях скважин (инжект-тест) с использованием проходного регулировочного клапана

Схема работает следующим образом.

Основное отличие от предыдущего варианта, это разделение потока нагнетаемой жидкости с помощью установленного в магистрали тройника 5 на основной и сбросной 4, так же использование нергулируемого насоса высокого давления 3. Регулировочный клапан 6 установлен в сбросной магистрали, который и осуществляет сброс избытка жидкости по сбросной магистрали в емкость 1.

Данный способ позволяет поддерживать расход жидкости поступающей в скважину на определенном уровне. Регулировочный клапан 6

регулирует сброс лишней жидкости закачиваемой в скважину. Количество поступающей жидкости в скважину измеряет расходомер 8, установленный в магистрали высокого давления. Сигналы с датчиков расхода и давления 9 поступают на вход программируемого логического контроллера 7, который формирует сигнал управления для преобразователя частоты 10, который в свою очередь управляет асинхронным двигателем 11 управляющем штоком клапана 6. Для визуализации процесса нагнетания используется персональный компьютер 13. После достижения в скважине необходимого давления, снимаемого электронным манометром 9, нагнетательный трубопровод закрывается при помощи шарового крана 14. Данная схема имеет недостатки, такие как низкий КПД системы, т. к. большая часть жидкости, подаваемая насосом 3, сбрасывается обратно в емкость 1. Расходомер 8 должен обладать высокой точностью для того, чтобы измерять небольшой расход жидкости (50...300 л/ч) при высоком давлении (более 10 МПа). В этом случае приведенная схема позволяет с высокой точностью проводить процесс инжектирования, а необходимое электро- и гидрооборудование является легкодоступным.

Для того, чтобы исключить дорогостоящий расходомер, который включен в трубопроводе высокого давления, можно видоизменить схему путем переноса расходомера в сбросной трубопровод. Измененная схема представлена на рис. 6.

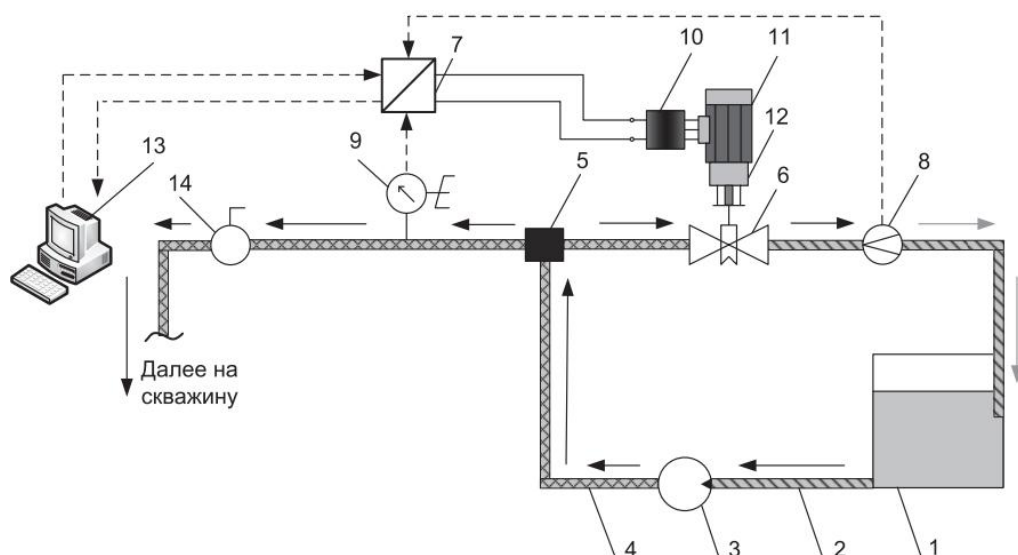


Рисунок 6 – Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследований скважин (инжект-тест) с использованием проходного регулировочного клапана

Данная схема дает возможность для использования более дешевого расходомер 8, который сможет измерять более высокий расход с меньшим давлением. Однако есть недостаток, информация о реальном расходе жидкости, поступающей в скважину, будет косвенной. Такое измерение расхода снизит точность процесса нагнетания.

На рис. 7 представлена схема автоматизации гидродинамических исследований скважин нагнетанием с использованием регулировочного трехходового клапана.

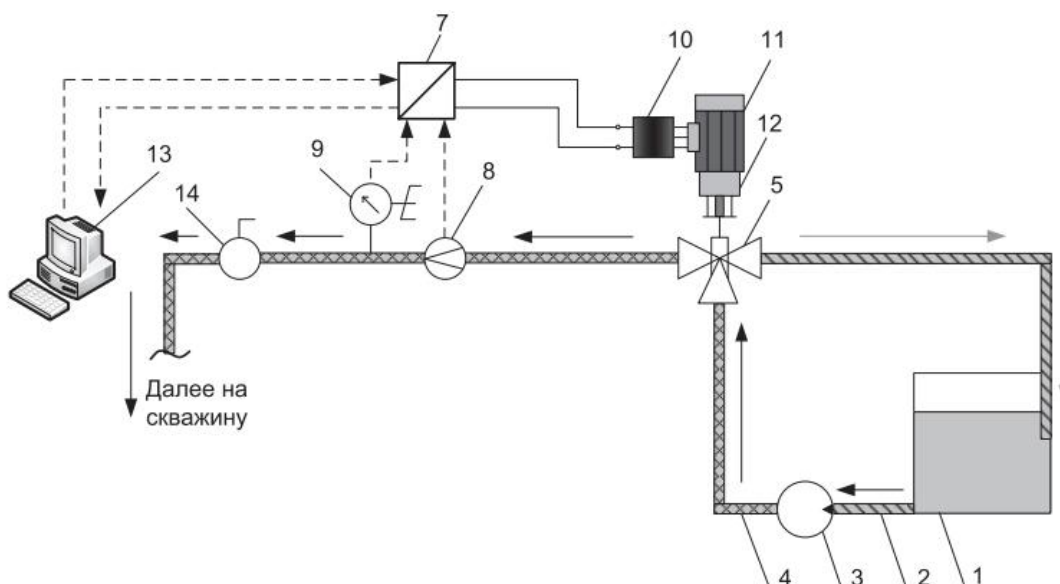


Рисунок 7 – Схема автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследований скважин (инжект-тест) с использованием регулировочного трехходового клапана

Трехходовой клапан 5 (рис. 5) - это тройник 5 и регулировочный клапан 6 (рис. 6), совмещенные в одном устройстве. Он регулирует разделение потока жидкости на рабочий и сбросной. Такой механический узел упрощает схему автоматизации процесса инжектирования, но является дорогостоящим и так же уступает схемам, приведенным на рис. 6 и 6.

1.3 Обоснование и выбор способа регулирования нагнетания жидкости в скважину

Проанализировав разные варианты реализации схем нагнетания жидкости в скважину, можно сделать вывод, что давление в магистрали создаваемое насосом высокого давления будет меньше при реализации варианта с установленным регулировочным устройством в сбросной магистрали.

Данный способ реализации, безусловно, уменьшает нагрузку на насос и элементы гидравлической системы, что в значительной степени увеличивает срок службы оборудования.

Метод закачки жидкости в исследуемый пласт с постоянным мониторингом забойного и устьевого давления, отлично зарекомендовал себя, как прост в реализации и имеет невысокие затраты на исследования.

На основании данных полученных при интерпретации гидродинамических изысканий, самыми продуктивными и удачными являются испытания, в которых в период закачки расход жидкости варьируется около постоянного значения в ходе всего испытания.

Опираясь на анализ данных схем, был сделан вывод о том, что самым лучшим вариантом является использование схемы с установкой проходного регулировочного клапана в сбросной магистрали (рисунок 5). Данная схема позволит управлять величиной расхода в ходе эксперимента с необходимой точностью.

2. Расчет и выбор оборудования

2.1 Требования, предъявляемые к электроприводу запорно-регулирующей арматуры

Подача насоса регулируется, в основном, тремя способами:

- дросселированием трубопровода
- отключением или подключением насосов (ступенчатое регулирование);
- регулированием скорости вращения насоса с помощью регулируемого электропривода

Дросселирование трубопровода считается крайне популярным методом регулировки давления и подачи воды. Стабилизирующим компонентом в данном случае считается автоматическое устройство в виде шибера, дроссель – клапана, задвижки, диафрагмы и т. п., что находится на напорном патрубке насоса и из-за результата собственного передвижения меняет поперечное сечение трубопровода. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ регулировки дросселированием существенно хуже, нежели КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ регулированием скорости вращения, при коем

сбережение энергии зачастую превосходит 50%. Данный метод используется для маломощных установок и характеризуется незначительным спектром регулирования. Превосходством данного метода считается легкость осуществления.

В отличие от прямого пуска, электродвигатель насоса с регулировкой от преобразователя частоты приобретает с сети только долю пускового тока. Подобным способом, габаритные размеры электрооборудования возможно уменьшить и понизить расходы в их приобретение. Вследствие использования привода с преобразователем частоты размеры двигателя возможно сократить в 10-20%.

Постоянная нагрузка на магистраль снижается, так как система не функционирует регулярно при большом давлении. Давление удерживается в установленном уровне.

Динамические перегрузки значительно уменьшаются при «мягком» регулировании в сопоставлении с прерывистым регулированием. Устраняются гидромеханические удары, которые изнашивают трубопроводы и спецоборудование. Период работы оборудования способен даже удваиваться.

Исходя из выше сказанного, выбираем закон управления преобразователь частоты - асинхронный двигатель (ПЧ-АД), а в качестве дросселя - задвижку.

Трубопроводные задвижки периодически перекрывают поток рабочей среды. При оснащении их электроприводом появляется возможность осуществлять управление дистанционно. Изготавливаются из чугуна, стали, нержавеющей или сплавов цветных металлов. Выбор материала, из которого будет изготовлено устройство запорной арматуры, зависит от того, щелочная или кислая среда будет транспортироваться по трубопроводу.

Типа запорной арматуры это задвижка, наша рабочая среда – жидкость (вода).

Задвижка должна работать при максимальном рабочем давлении в 100 бар.

Гидравлические характеристики:

- Максимальное давление в закрытом положении = 160 бар
- Направление подачи среды- двухстороннее

Тип привода – электрический: открытие закрытие задвижки.

2.2 Выбор и обоснование способа регулирования ЭП

Частотное управление - управление электродвигателем переменного тока посредством изменения амплитуды и частоты питающего напряжения. Частотное управление асинхронными электродвигателями осуществляется двумя основными способами (методами):

– скалярный (вольт–частотный) в соответствии с функциональной характеристикой, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя

$$\left(\frac{U}{f} = const - \text{линейный закон управления,}\right.$$

$$\frac{U}{f^2} = const - \text{квадратичный закон управления);}$$

– векторный. Это такой метод управления синхронными и асинхронными двигателями, при котором формируются не только гармонические токи (напряжения) фаз, но и обеспечивается управление магнитным потоком ротора, а именно, моментом на валу электродвигателя. Векторное управление применяется тогда, когда в процессе эксплуатации нагрузка меняется на одной и той же частоте, т.е. не имеет точной зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, и в случаях, когда нужно получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах.

Системы векторного управления разделяются на два класса – это бездатчиковые и с обратной связью. Область применения позволяет

определить применение определенного метода. Если диапазон измерения значения скорости не превышает 1:100, и требования, предъявляемые к точности, колеблются в пределах $\pm 1,5\%$, тогда используется бездатчиковая система управления. Если измерение скорости осуществляется в пределах достигающих значений 1: 10000 и больше, а уровень точности должен быть довольно высоким ($\pm 0,2\%$ при частоте вращения ниже 1 Гц), или же необходимо позиционировать вал или осуществлять регулирование момента на валу при низких частотах вращения, то применяется система, имеющая обратную связь по скорости.

Преимущества векторного способа управления асинхронным двигателем:

- высокая точность при регулировании скорости вращения вала, несмотря на возможное отсутствие датчика скорости,
- осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно,
- если установлен датчик скорости, то можно достичь номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости,
- быстрота реагирования на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода,
- высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на такие преимущества, метод векторного управления имеет определенный ряд недостатков – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, чем при скалярном методе управления.

Сегодняшние частотно-регулируемые асинхронные электроприводы применяют блочно - модульные принципы комплектования и реализуются согласно структурам скалярного и векторного частотного управления. Подбор структуры осуществления и закона скалярного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода с целью определенного производственного механизма определяется условиями к статическим (в главную очередь к диапазону регулирования скорости) и динамическим данным электропривода [1]. Так же реализация скалярного управления проще и более дешевле, чем векторное.

2.2.1 Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением представлена на рис. 8. На схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$\Delta f_{1к}^*, \Delta U_{1к}^*$ – компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

ω – фактическое значение угловой скорости вращения электродвигателя (ротора);

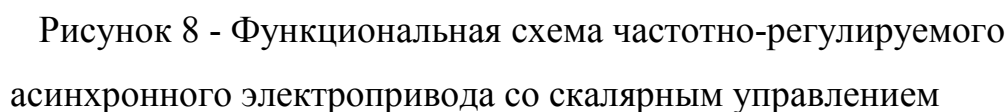
ЗИС – задатчик интенсивности скорости с линейной или S-образной характеристикой;

РС – регулятор скорости;

ФНУ1 – формирователь напряжений управления двухфазным асинхронным двигателем

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f_1, U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f_1;$$

ФНУ2 – преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.



Преобразователь частоты

Блок драйверов

Управление ключами

Задатчик интенсивности

n^*

Действует при $f > f_H$

U/f - характеристика

U_m

U_d - корректор

U^*

f

Регулятор ограничения тока

$I_{\max}^*$

$\hat{i}$

Действует при $f < f_H$

Компенсация скольжения

IR компенсация

Оценка истинного значения тока

i

M

Рисунок 9 - Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

Закон частотного регулирования U/f при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Закон управления с линейной зависимостью меж напряжением и частотой ($U_1/f_1 = const$) реализуются в преобразователях частоты для приводов производственных механизмов с постоянным моментом нагрузки. Поддержание постоянства отношения $U_1/f_1 = const$ гарантирует постоянство потокосцепления и критического момента двигателя во всем диапазоне регулирования скорости изменением частоты. Впрочем, это верно только при малом активном сопротивлении обмотки статора, практически же при снижении частоты снижается и максимальный момент двигателя. В простейшем случае для увеличения момента двигателя на малых скоростях вращения в преобразователях предусмотрена функция увеличения начального значения выходного напряжения (начального напряжения вольт-частотной характеристики), применяются модули Ud -коррекции и IR -компенсации (рис. 9). В результате достигается компенсация уменьшения момента двигателя для нагрузок с постоянным моментом сопротивления (например, конвейеры, поршневые компрессоры и насосы) или достигается увеличение пускового момента двигателя для нагрузок с высоким моментом трогания (например, экструдеры). Квадратичная зависимость напряжения от частоты ($U_1/f_1^2 = const$) применяется для регулируемых электроприводов центробежных насосов и вентиляторов. За счёт наибольшего понижения напряжения двигателя при сокращении частоты достигается снижение потребляемой электроприводом энергии.

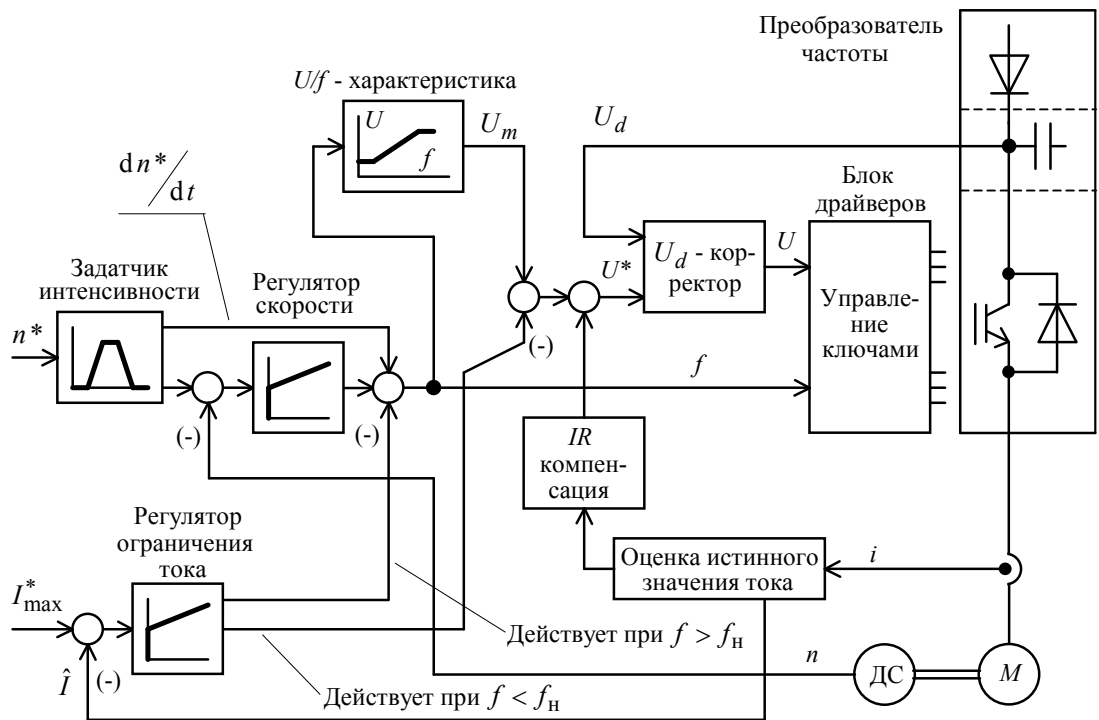


Рисунок 10 - Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением с датчиком скорости

Из-за ограниченной жесткости рабочей части механических характеристик асинхронных двигателей диапазон регулирования скорости в разомкнуты системах частотно-регулируемого асинхронного электропривода не может быть более 1:10. Для расширения диапазона регулирования до 20 применяют компенсационные сигналы по скорости (скольжению) – модуль компенсации скольжения КС (рис. 9), до 100 – замкнутый контур регулирования с регулятором скорости РС и обратной связью по скорости с датчиком и регулятором скорости (рис. 10).

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых невозможны механические перегрузки, используется задатчик интенсивности (ЗИС) с линейной или S-образной характеристикой, устанавливаемый на входе электропривода в канале задания скорости. В электроприводах механизмов, для которых большие кратковременные перегрузки и стопорение двигателя являются рабочими режимами, дополнительно предусматривается система

ограничения максимального допустимого тока электропривода с датчиком тока и регулятором тока. Выходной сигнал регулятора тока должен воздействовать таким образом на напряжение и частоту статора, чтобы одновременно с ограничением тока происходило и ограничение момента двигателя на допустимом уровне.

Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением может быть и двухзонным, когда при частоте (скорости вращения) выше номинальной напряжение двигателя остаётся постоянным, равным номинальному напряжению. Длительно допустимый и кратковременно допустимый моменты двигателя в этом случае должны быть уменьшены на верхних скоростях.

Преобразователи частоты со скалярным управлением могут использоваться в многодвигательных электроприводах (без обратной связи по скорости) для управления параллельно включенными двигателями. Однако в этом случае необходимо будет решить проблемы распределения нагрузок механически взаимосвязанных двигателей и предотвращения перегрузки отдельных не связанных между собой двигателей.

Системы *IR*-компенсации и компенсации скольжения представляют собой нелинейные положительные обратные связи и их применение необходимо только в области малых скоростей двигателя. Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо в системах электроприводов, в которых возможны кратковременные перегрузки. Это исключит аварийное отключение привода средствами защитной аппаратуры. Применение систем управления с датчиками и регуляторами скорости в электроприводах со скалярным управлением представляется нецелесообразным вообще, а тем более для двигателей с самовентиляцией.

Можно рекомендовать в приводах длительного режима работы с постоянной скоростью и диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике применение простейших структур и законов частотного управления:

- при вентиляторном характере нагрузки разомкнутые структуры регулирования с квадратичным законом управления $\frac{U}{f^2} = const$ и возможно с корректировкой вольт-частотной характеристики в интервале малых частот;
- при постоянной нагрузке разомкнутые структуры с линейным законом управления $\frac{U}{f} = const$ с корректировкой вольт-частотной характеристики и возможно IR -компенсации в области малых частот.

2.3 Выбор электродвигателя и расчет параметров схемы замещения

Справочные технические данные асинхронного электродвигателя АИР63А4.

Таблица 1 – Паспортные данные электродвигателя

Типо размер	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{1H}, [В]$	$P_{в.н}, [кВт]$	При номинальной нагрузки		$J_{дв}, [кг \cdot м^2]$
				$\cos\varphi_H$	$\eta_H, \%$	
АИР63А4	1500	380	0,25	0,67	65	0,0012

Продолжение таблицы 1.

$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$	$K_{идв} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$
2,2	2,2	1,8	5

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14159}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.3.1)$$

где n_0 – синхронная частота вращения, об/мин.

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \omega_0 \cdot \left(1 - \frac{s_{\text{н}}}{100}\right) = 157,08 \cdot \left(\frac{8,9}{100}\right) = 141,72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.3.2)$$

где $s_{\text{н}}$ – номинальное скольжение электродвигателя, %.

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,67 \cdot 0,65} = 0,87 \text{ А}, \quad (2.3.3)$$

где $P_{\text{дв.н}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{1\text{фн}}$ – номинальное фазное напряжение, В;

$\cos\varphi_{\text{н}}$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;

$\eta_{\text{н}}$ – КПД при номинальной мощности, %;

$I_{1\text{лн}}$ – ток, потребляемый двигателем из сети при номинальном режиме работы.

Номинальный двигательный момент:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{141,372} = 1,768 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.3.4)$$

Ток статора двигателя при частичной загрузке:

$$I_{1\text{р}^*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{*75} \cdot \eta_{*75}} = \frac{0,75 \cdot 0,25 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,67 \cdot 0,65} = 0,728 \text{ А}, \quad (2.3.5)$$

где $\cos\varphi_{*75}$ – коэффициент мощности при частичной загрузке;

η_{*75} – КПД при частичной загрузке 75% от номинальной;

$p^* = 0.75$ – коэффициент загрузки двигателя.

Ток холостого хода двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p^*}^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)} \cdot I_{1H} \right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)} \right]^2}} = 0,521 \text{ А.} \quad (2.3.6)$$

Из формулы Клосса найдем соотношение для расчета критического скольжения

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

$$= 0,1 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 \cdot [1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,55 \quad (2.3.7)$$

где β – коэффициент, который характеризует соотношение активного сопротивления статора и ротора, принимаем $\beta=1$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_{дв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = 37,759 \text{ Ом}, \quad (2.3.8)$$

где $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{идв} \cdot I_{1\Phi H}} = 1,06$. – коэффициент, характеризующий

соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$.

Активное сопротивление статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,06 \cdot 37,759 \cdot 1 = 40,018. \quad (2.3.9)$$

Коэффициент, характеризующий соотношение приведенного активного сопротивления ротора и индуктивного сопротивления короткого замыкания :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = 1,498. \quad (2.3.10)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме:

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,498 \cdot 1,06 \cdot 37,759 = 59,942 \text{ Ом}. \quad (2.3.11)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенной к обмотке статора в номинальном режиме:

$$X_{2\delta}' = 0,58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{59,942}{1,06} = 32,803 \text{ Ом}. \quad (2.3.12)$$

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

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{32,803}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,104 \text{ Гн}. \quad (2.3.13)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_{1\delta} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 59,942 = 25,176 \text{ Ом}. \quad (2.3.14)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{25,176}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,08 \text{ Гн}. \quad (2.3.15)$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме

$$E_1 = \sqrt{(U_{1фн} \cdot \cos\varphi - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1фн} \cdot \sin\varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1фн})^2} = 180,769 \text{ В}. \quad (2.3.16)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{180,769}{0,521} = 347,251 \text{ Ом.} \quad (2.3.17)$$

Результирующая индуктивность, которая обусловлена магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{347,251}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,10533 \text{ Гн.} \quad (2.3.18)$$

Расчет параметров асинхронного двигателя

Эквивалентная индуктивность обмотки статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,08 + 1,10533 = 1,185 \text{ Гн.} \quad (2.3.19)$$

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,104 + 1,10533 = 1,209 \text{ Гн.} \quad (2.3.20)$$

Эквивалентное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель

$$R_{\Sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 40,018 + 37,759 \cdot \frac{(1,10533)^2}{(1,209)^2} = 71,579 \text{ Ом.} \quad (2.3.21)$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{\Sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\Sigma}} = \frac{0,147 \cdot 1,185}{71,579} = 0,0024 \text{ с,} \quad (2.3.22)$$

где

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{(1,10533)^2}{1,185 \cdot 1,209} = 0,147 \quad (2.3.23)$$

– коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{1,209}{37,759} = 0,032 \text{ с.} \quad (2.3.24)$$

2.3.1 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

Рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$ и $M_{\text{эм.н}}^*$ при найденных параметрах:

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 37,759}{157 \cdot 0,1 \cdot \left[(59,942)^2 + \left(40,018 + \frac{37,759}{0,1} \right)^2 + \left(\frac{40,018 \cdot 37,759}{0,1 \cdot 347,251} \right)^2 \right]} = 1,94 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} = 2,198 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.3.25-26)$$

где $\Psi_{2\text{н}} = 0,814 \text{ Вб.}$

Должны выполняться следующие условия:

$$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}} \equiv 2,198 \approx 1,94;$$

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}} \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} \equiv 1,768 < 1,94 < 1,945.$$

По результатам расчета эти условия выполняются.

Расчетные параметры АД

$$R_1 = 40,018 \text{ Ом}, \quad L_{1\sigma} = 0,08 \text{ Гн},$$

$$R_2' = 37,759 \text{ Ом}, \quad L_{2\sigma}' = 0,104 \text{ Гн},$$

$$L_m = 1,10533 \text{ Гн}, \quad z_p = 2.$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = 141,372 \text{ рад/с}, \quad I_{1\phi\text{н}} = 9,125 \text{ А}, \quad M_{\text{дв.н}} = 1,768 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$I_0 = 0,521 \text{ А}, \quad M_{\text{эм.н}} = 1,94 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad \Psi_{2\text{н}} = 0,814 \text{ Вб},$$

$$s_{\text{кр.расч.}} = 0,527 \text{ о.е.}, \Delta M_{\text{с.дв}} = 0,172 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$X_{\text{кн}} = 59,942 \text{ Ом}, \quad X_{1\sigma} = 25,176 \text{ Ом},$$

$$X'_{2\sigma} = 32,803 \text{ Ом}, \quad X_{\mu} = 347,251 \text{ Ом}.$$

2.4 Выбор преобразователя частоты

На основе выбранного электродвигателя, выбираем преобразователь частоты (ПЧ).

Выбираем преобразователь частоты фирмы SchneiderElectric серии ALTIVAR. Преобразователь частоты ALTIVAR 312 (ATV312) необходим для 3-фазных и 1-фазных асинхронных двигателей с питанием от 220 и 380В до 600В и мощностью от 0,18 до 15 кВт.

Он специализирован для применения на производствах:

- транспортировочное оснащение (небольшие конвейеры, электротали);
- фасовочно-упаковочное оборудование;
- специальные механизмы (мешалки, смесители, текстильные машины);
- вентиляторы, насосы и компрессоры.

Преобразователь Altivar 312 является надежным и компактным и прост в эксплуатации. Интегрированные функции приспособлены для его использования в несложных производственных механизмах.

Современная концепция и простота ввода в эксплуатацию дают возможность предложить экономичное и надежное решение для разработчиков простых компактных машин (ОЕМ) и интеграторов. Из-за предлагаемых дополнительных коммуникационных карт, преобразователь Altivar 312 без затруднений встраивается в большинство систем автоматизации.

Выбор был произведен на основании тока двигателя и мощности (таблица 2).

Таблица 2 – Типы преобразователей

Номер по каталогу	Мощность, кВт	Ток в установленном режиме, А	Перегрузка, 60 сек, А	Мощность рассеивания при номинальной нагрузке, Вт	Габариты, ВхШхГ	Масса, без упаковки, кг.
Трехфазное напряжение питания: 380 - 500 В, 50/60 Гц со встроенными фильтрами ЭМС (3) (5)						
ATV312H037N4	0,37	1,5	2,3	32	143x107x152	1,800
ATV312H055N4	0,55	1,9	2,9	37	143x107x152	1,800
ATV312H075N4	0,75	2,3	3,5	41	143x107x152	1,800
ATV312HU11N4	1,1	3	4,5	48	143x107x152	1,800
ATV312HU15N4	1,5	4,1	6,2	61	143x107x152	1,800
ATV312HU22N4	2,2	5,5	8,3	79	184x142x152	3,100
ATV312HU30N4	3,0	7,1	10,7	125	184x142x152	3,100
ATV312HU40N4	4,0	9,5	14,3	150	184x142x152	3,100
ATV312HU55N4	5,5	14,3	21,5	232	232x180x172	6,500
ATV312HU75N4	7,5	17	25,5	269	232x180x172	6,500
ATV312HD11N4	11	27,7	41,6	397	329,5x245x192	11,000
ATV312HD15N4	15	33	49,5	492	329,5x245x192	11,000

Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току $I_{и.ном}$ и по мощности. Выбираем ПЧ типа ATV312H037N4.

$$I_{и.ном} = 1,5 \text{ А} \geq I_{дв.ном} = 0,87 \text{ А}$$

$$P_{\text{и.макс.дв}} = 0,37 \text{ кВт} \geq P_{\text{ном.дв}} = 0,25 \text{ кВт}$$

На основании выше написанного можно сделать вывод, что преобразователь частоты выбран верно.

Параметры ПЧ:

- максимальная мощность подключаемого двигателя – $P_{\text{и.макс.дв}} = 0,37 \text{ кВт}$;
- номинальный выходной ток – $I_{\text{и.ном}} = 1,5 \text{ А}$;
- масса – 1,800 кг

На рисунке 11 приведен внешний вид преобразователя.



Рисунок 11 – Внешний вид преобразователя ATV312H037N4.

На рисунке 12 приведена схема подключения ПЧ.

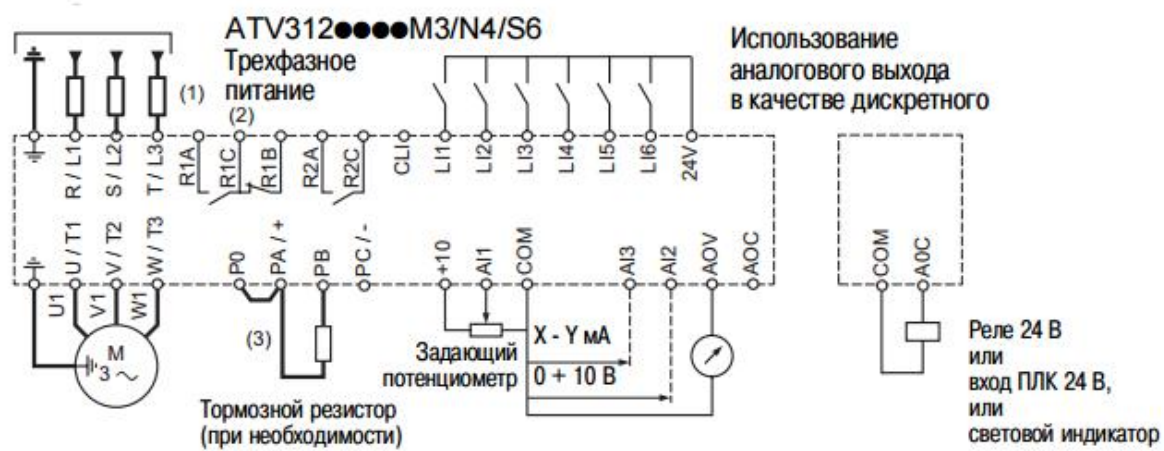


Рисунок 12 – Схема подключения ПЧ

В таблице 3 приведены основные характеристики ПЧ.

Таблица 3 – Основные характеристики ПЧ

Основные характеристики

Коммерческий статус	Коммерциализировано
Семейство продуктов	Altivar 312
Тип изделия или компонента	Привод с регулируемой частотой вращения
Назначение изделия	Асинхронные электродвигатели
Применение изделия	Простая машина
Стиль сборки	С радиатором
Наименование компонента	ATV312
Мощность двигателя, кВт	0.37 кВт
Мощность двигателя, л.с.	0.5 лс
[Us] номинальное напряжение питания	380...500 V (- 15...10 %)
Частота сети питания	50...60 Hz (- 5...5 %)
Число фаз сети	3 фазы
Линейный ток	2.2 А для 380 V, 5 кА 1.7 А для 500 V
Фильтр помех	Встроенный
Полная мощность	1.5 кВт
Макс. переходной ток	2.3 А для 60 с
Рассеиваемая мощность, Вт	32 Вт при номинальной нагрузке
Диапазон скоростей	1...50
Профиль управления асинхронным электродвигателем	Заводская настройка: постоянный момент Бессенсорное векторное управление двигателем с помощью сигнала ШИМ
Электрическое соединение	AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6 зажим 2.5 мм² AWG 14
Питание	Внутреннее питание для регулировочного потенциометра (2,2 - 10 кОм) при 10...10,8 В ≤ 10 мА для защита от перегрузки и короткого замыкания
Протокол порта обмена данными	CANopen Modbus
Степень защиты IP	IP41 на верхней части IP31 на верхней части IP20 на верхней части без закрывающей пластины
Опциональная карта	Profibus DP коммуникационная карта Modbus TCP коммуникационная карта DeviceNet коммуникационная карта Шлейф CANopen коммуникационная карта

Таблица 4 – Дополнительные характеристики

Дополнительные характеристики

Тормозной момент	100 % без тормозного резистора 100 % с тормозным резистором постоянно
Контур регулирования	ПИ регулятор частоты
Компенсация проскальзывания вала двигателя	Регулируем. Автоматически при любой нагрузке Подавляемый
Выходное напряжение	<= напряжение питания
Момент затяжки	0.6 Н·м AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6
Изоляция	Между цепями питания и управления
Номер аналогового входа	3
Тип аналогового входа	AI3 задаваемый ток 0...20 mA, полное сопротивление 250 Ом AI1 задаваем. напряжение 0...10 V, входное напряжение 30 В макс., полное сопротивление 30000 Ом
Длительность выборки	AI1, AI2, AI3 8 мс для аналоговый
Время отклика	R1A, R1B, R1C, R2A, R2B 8 ms для дискретный
Ошибка линеаризации	+/- 0,2 % для выход
Номер аналогового выхода	2
Тип аналогового выхода	AOC задаваемый ток 0...20 mA, полное сопротивление 800 Ом, разрешение 8 бит
Тип дискретных входов	(LI1...LI6)Положительная логика (источник) состояние 0 < 5 В состояние 1 > 11 В (LI1...LI4)Логический вход не подсоединен состояние 1 < 13 В
Количество дискретных выходов	2
Тип дискретного выхода	(R1A, R1B, R1C) задаваем. релейная логика 1 Н.О. + 1 Н.З., электрическая устойчивость 100000 циклы
Минимальный коммутируемый ток	R1-R2 10 mA при 5 V пост. ток
Макс. коммутируемый ток	R1-R2 вкл. резистивные нагрузка, 5 A при 250 V пер. ток, cos phi = 1, L/R = 0 мс R1-R2 вкл. индуктивн. нагрузка, 2 A при 30 В пост. ток, cos phi = 0,4, L/R = 7 мс
Количество дискретных входов	6
Тип дискретного входа	(LI1...LI6) программируемый, 24 V 0...100 mA с PLC, полное сопротивление 3500 Ом
Программы ускорения и замедления	Линейн., задается отдельно, от 0,1 до 999,9 с S, U или по выбранный заказчиком
Торможение до остановки	Подачей пост. тока
Тип защиты	Короткое замыкание между фазами двигателя привод Защита от перегрева привод Исчезновения фаз двигателя привод Функция защиты от значительного уменьшения напряжения 3-фазного питания привод Исчезновение фазы на входе привод
Сопротивление изоляции	>= 500 МОм при 500 В пост. тока в течение 1 минуты
Сигнализация	1 светодиод красный для напряжение привода
Разрешение по частоте	Дисплейный блок 0,1 Гц Аналоговый вход 0,1...100 Гц
Тип разъема	1 RJ45 Modbus/CANopen
Физический интерфейс	RS485 многоточечная последовательная линия
Кадр передачи	RTU
Скорость передачи	10, 20, 50, 125, 250, 500 Кбит/с или 1 Мбит/с CANopen
Кол-во адресов	1...247 Modbus
Кол-во приводов	127 CANopen
С маркировкой	CE
Рабочее положение	Вертикальный +/- 10 градусов
Высота	143 мм
Ширина	107 мм
Глубина	152 мм
Масса продукта	1,8 кг

2.4.1 Выбор автоматического выключателя и пускателя

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot I_n = 6,5 \cdot 1,5 = 9,75 \text{ A} \quad (2.4.1)$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 9,75 = 12,188 \text{ A} \quad (2.4.2)$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{эм}} \geq I_{\text{кр}}$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 10, т.е.

$$I_{\text{эм}} = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ A} \quad (2.4.3)$$

где I_n - номинальный ток преобразователя.

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{\text{кз}} \geq I_{\text{эм}}$$

$$I_{\text{кз}} = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ A} \quad (2.4.4)$$

Выбираем трехполюсный автоматический выключатель серии ВА57-35 с фиксированными и регулируемыми уставками предназначены для применения в цепях с напряжением до 690В переменного тока с частотой 50 Гц для защиты от токов короткого замыкания и перегрузки, недопустимых снижений напряжения, а также нечастых оперативных включений и отключений, номинальным током 16 А [16].



Рисунок 13 – Автоматический выключатель ВА57-35

Для коммутации силовой цепи электродвигателя выбираем контактор малогабаритный КМИ 11810.

Технические характеристики контактора приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики КМИ 11810.

Параметр	Значение
Номинальное рабочее напряжение переменного тока U_e , В	230
Номинальное напряжение изоляции U_i , В	660
Номинальное импульсное напряжение U_{imp} , кВ	6
Номинальный рабочий ток I_e , А	18, категория применения AC-3 (U_e)
Условный тепловой ток I_{th} ($t^\circ < 40^\circ$)	32, категория применения AC-1, А
Номинальная мощность по AC-3, кВт	4 (230 В) / 7.5 (400 В) / 10 (660 В)
Максимальная кратковременная нагрузка	324 (t
Условный ток короткого замыкания I_{nc} , А	3000



Рисунок 14 – Внешний вид контактора КМИ

2.5 Естественные характеристики электродвигателя

Естественная механическая характеристика электродвигателя строится по выражению:

$$M(\omega) = \frac{m \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right) + X_{\text{кн}}^2 \right]}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где m - число фаз двигателя;

$U_{1\text{фн}}$ - номинальное фазное напряжение, В

Критический момент:

- рассчитанный по параметрам двигателя:

$$M_{\text{эмк}} = \frac{m \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}} \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{к}}} \right) + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{к}} \cdot X_{\mu\text{н}}} \right) + X_{\text{кн}}^2 \right]} = 4,106 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.5.1)$$

- рассчитанный по паспортным данным:

$$M_{\text{кп}} = 3,89 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическая угловая скорость:

$$\omega_{\text{к}} = (1 - s_{\text{к}}) \cdot \omega_0 = 74,241 \frac{\text{Рад}}{\text{с}}. \quad (2.5.2)$$

На рисунке 15 представлена естественная механическая характеристика электродвигателя.

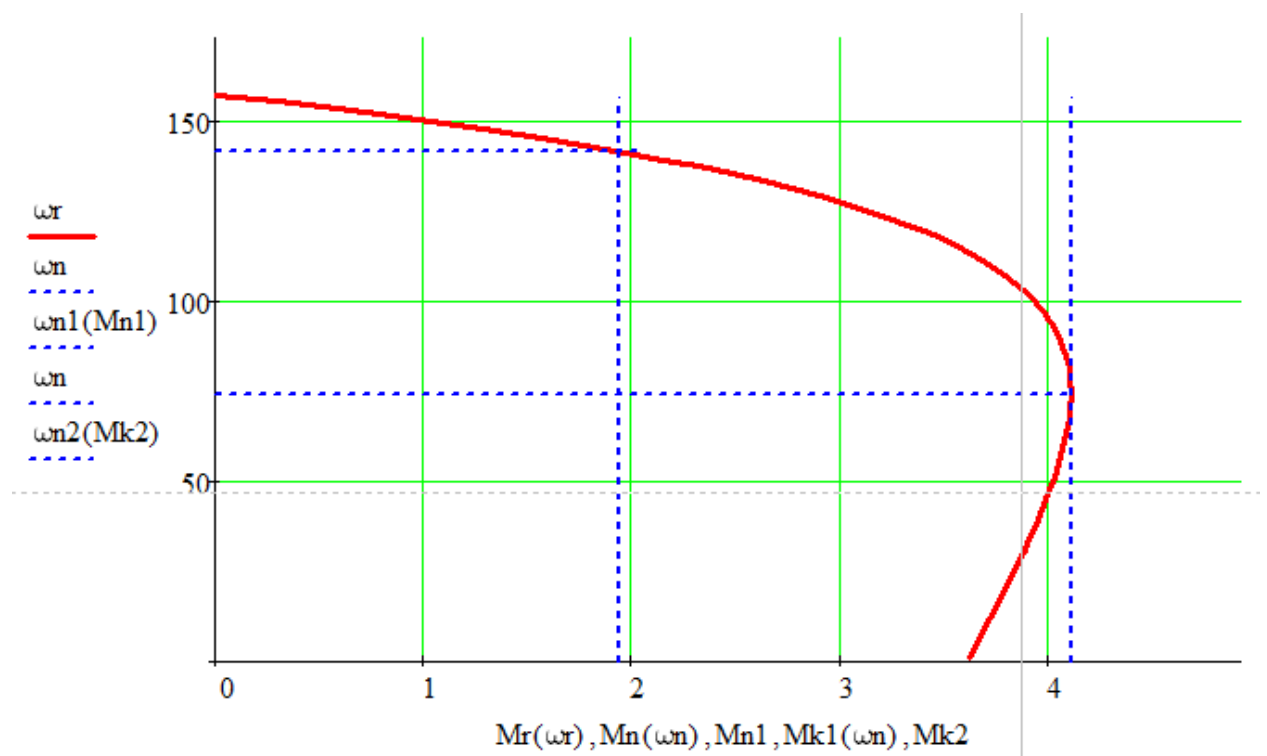


Рисунок 15 – Естественная механическая характеристика двигателя

Естественные электромеханические характеристики электродвигателя строятся по выражениям:

- ток ротора, приведенный к обмотке статора, от скольжения:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}}, \text{A.} \quad (2.5.3)$$

- ток статора:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2}, \text{A} \quad (2.5.4)$$

где

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}}. \quad (2.5.5)$$

На рисунке 16 представлены естественные электромеханические характеристики электродвигателя.

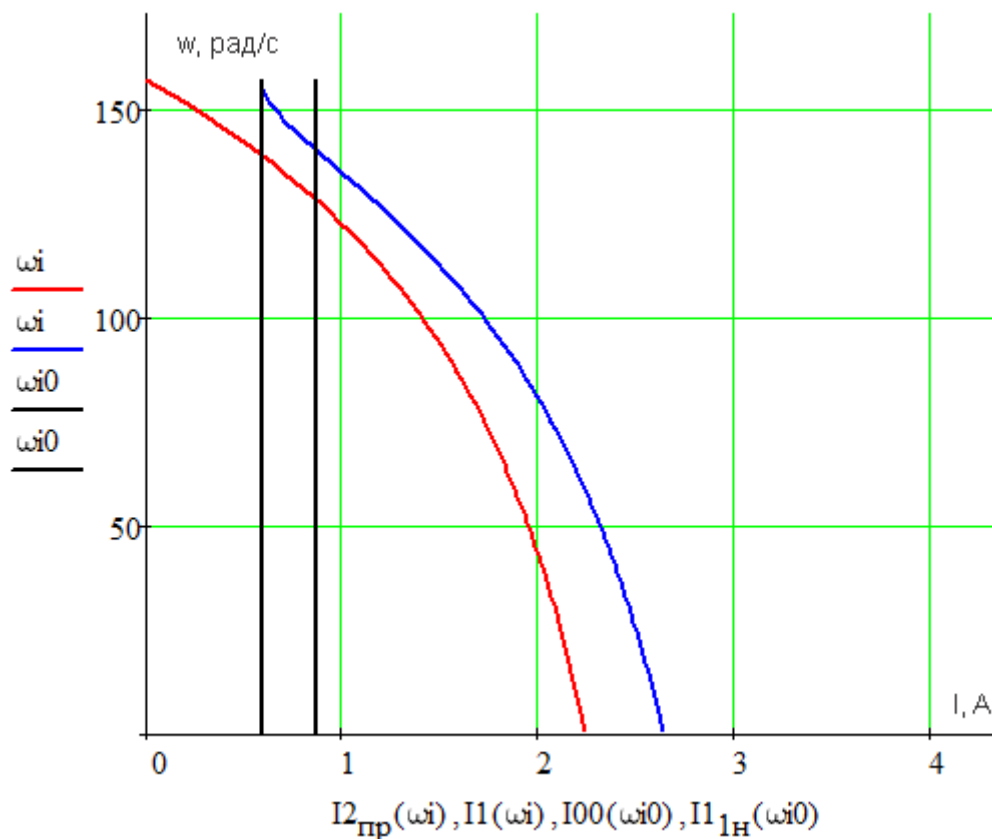


Рисунок 16 - Естественные электромеханические характеристики
электродвигателя

2.6 Механические и электромеханические характеристики при законе управления $U/f = \text{const}$

Механические характеристики двигателя при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по выражению:

$$M_{s, f_1} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot f_1 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} \quad (2.6.1)$$

Электромеханические характеристики двигателя при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по выражениям (2.6.2-3):

$$I_1 s, f_1 = \sqrt{I_0 f_1^2 + I_2'^2 s, f_1 + 2 \cdot I_0 f_1 \cdot I_2' s, f_1 \cdot \sin \phi_2 s, f_1} \quad (2.6.2)$$

$$I_2' s, f_1 = \frac{U_{1\phi} f_1}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\Sigma}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} \quad (2.6.3)$$

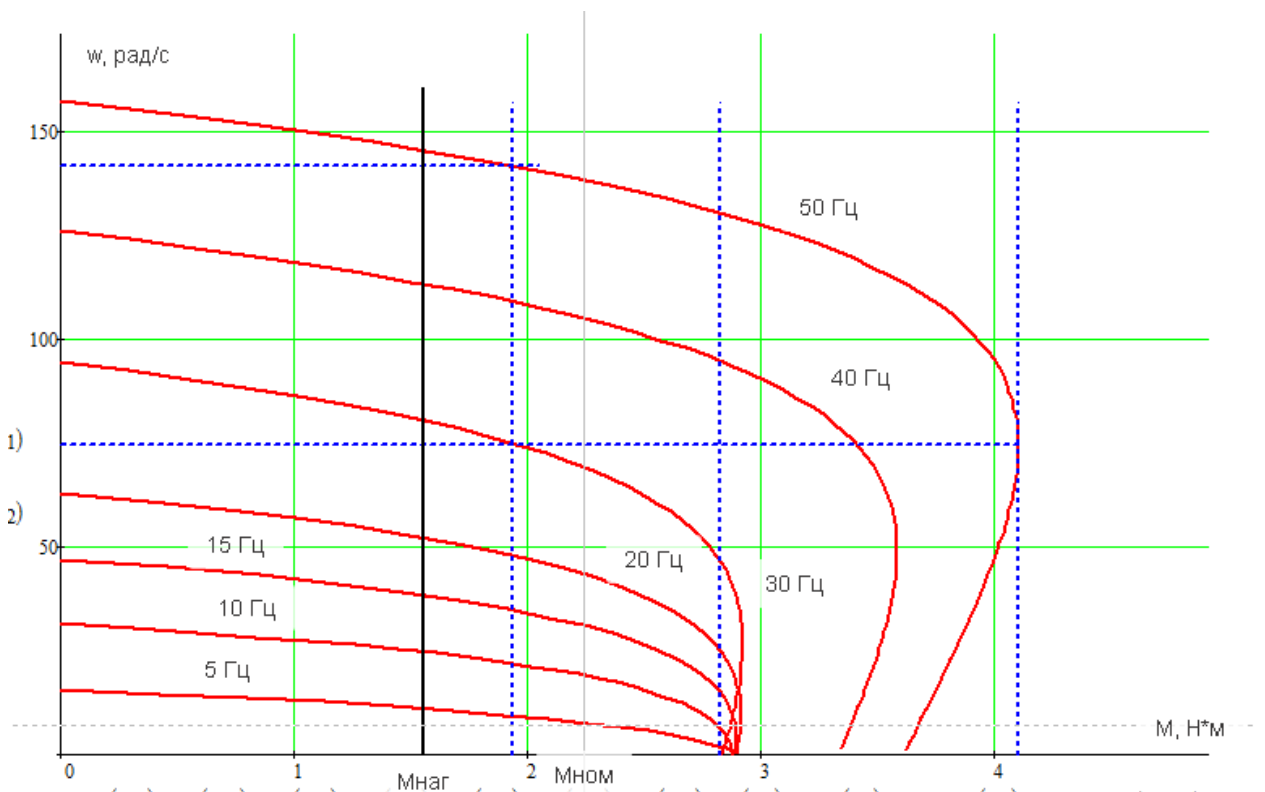


Рисунок 17 – Механические характеристики двигателя при скалярном управлении и законе регулирования $U / f = const$

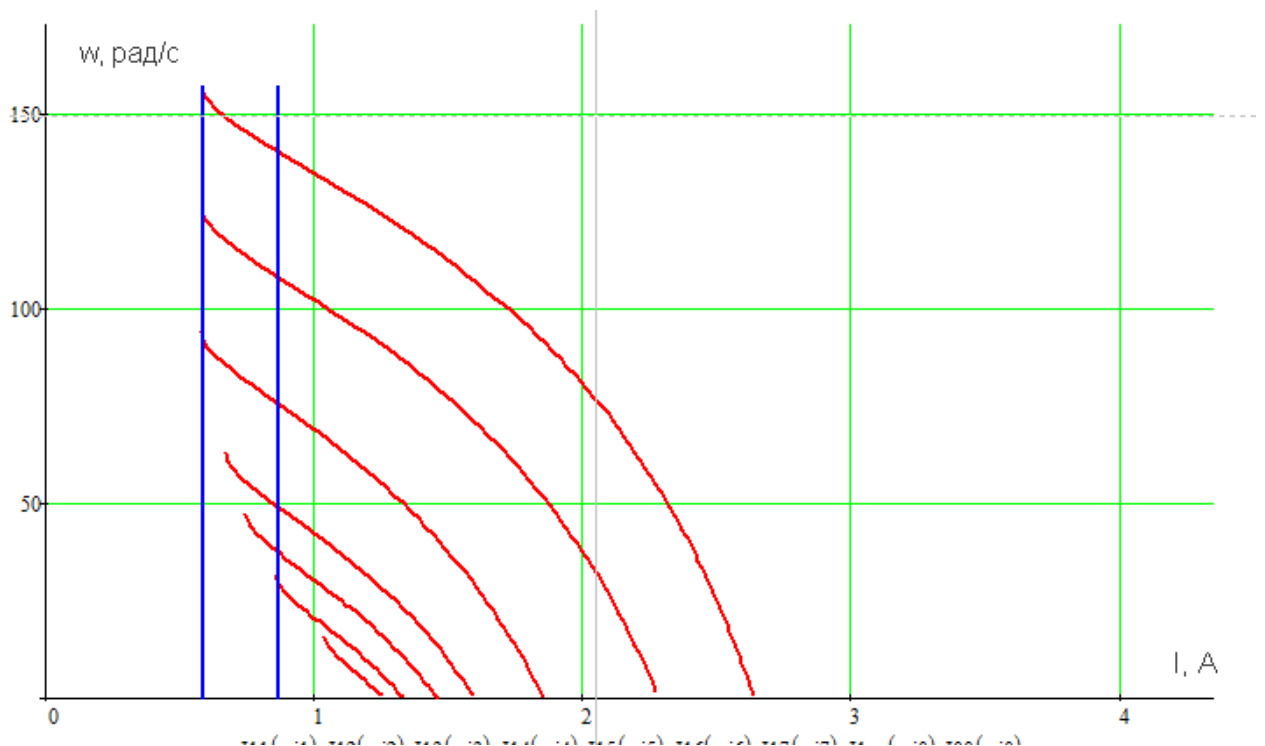


Рисунок 18 – Электромеханические характеристики двигателя при скалярном управлении и законе регулирования $U / f = const$

Расчет параметров преобразователя частоты

Максимальное значение коэффициента усиления ПЧ

$$k_u = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi}}{U_{уп\max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113, \quad (2.6.4)$$

где $U_{уп\max} = 10$ В – максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_u = \frac{0,5}{f_u} = \frac{0,5}{4 \cdot 10^3} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \quad (2.6.5)$$

где f_u - несущая частота инвертора, Гц.

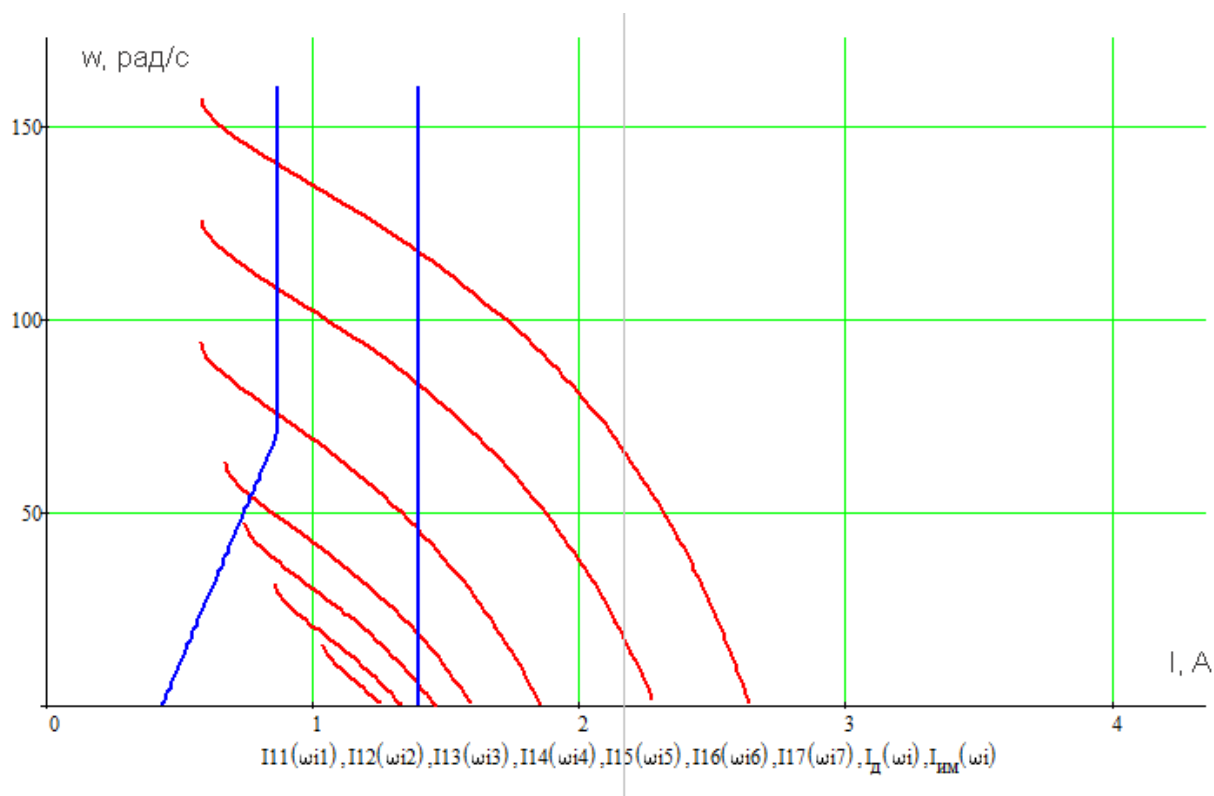


Рисунок 19 – Электромеханические характеристики при длительно допустимом и максимальном токе

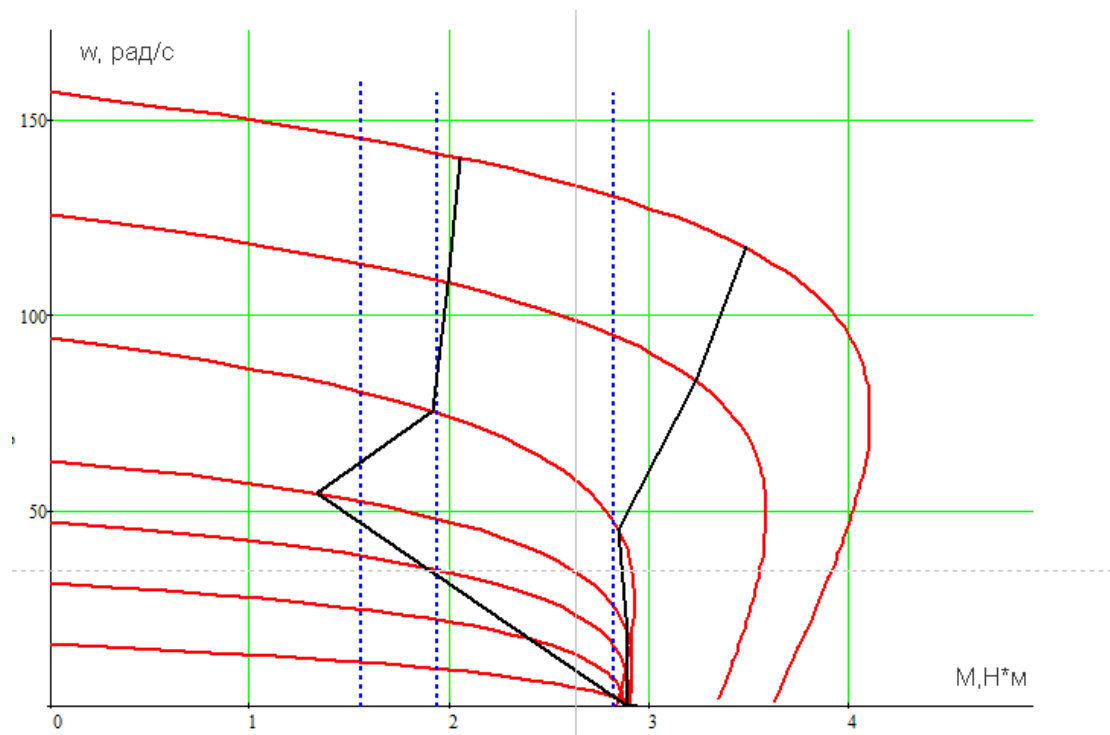


Рисунок 20 – Механические характеристики при длительном и максимальном токе

2.7 Выбор оборудования системы автоматического регулирования процесса нагнетания жидкости в скважину

За контролем расхода установлен ультразвуковой расходомер US-800.

Технические характеристики представлены ниже [10].

Технические характеристики и спецификации в соответствии с таблицей		
	СТАНДАРТНО	ПО ЗАКАЗУ
Температура жидкости, °C	0...+120 (+150)	0...+200
Давление жидкости в трубопроводе, МПа	до 1.6	2.5, 4.0, 6.0, до 20
Температура окр. среды в месте установки УПР, °C	-40...+60	
Температура окр. среды в месте установки Эл. блока, °C	+5...+50	
Степень защиты Эл.блока / УПР	IP65 / IP65	IP65 / IP68
Длина соединительных кабелей, м	до 200	до 500
Длина прямолинейных участков (Ду 15-2000 мм, однолучевые УПР)	до 10 / после 3	
Длина прямолинейных участков (Ду 50-2000 мм, двухлучевые УПР)	до 5 / после 1	
Число знакомест для индикации	9	
Напряжение питания прибора	187...242 V AC	12-24-36 V DC
		с источником бесперебойного питания ИБП (от аккумуля.), до 2 недель
Максимальная потребляемая мощность, Вт	не более 5	
Полный средний срок службы, лет	25	
Межповерочный интервал, год	4	
Гарантийный срок, мес	18	

Рисунок 21 – Краткие технические характеристики

Расход жидкости в зависимости от диаметра условного прохода.

ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД, куб м/час					
ДУ, мм	Q (max) максимальный	Q (p1) переходный t<60 град С	Q (p2) переходный t>60 град С	Q (min1) минимальный t<60 град С	Q (min2) минимальный
15	3,5	1	0,5	0,3	0,15
25	8	1,7	0,8	0,5	0,25
32	30	2,2	1,1	0,7	0,3
40	45	2,7	1,3	0,8	0,4
50	70	3,4	1,7	1,0	0,5
65	120	4,4	2,2	1,3	0,65
80	180	5,4	2,7	1,6	0,8
100	280	6,8	3,4	2	1
150	640	10,2	5,1	3	1,5
200	1100	13,6	6,8	4	2
250	2000	18	9	5	2,5
300	2500	20	10	6	3
350	3500	24	12	7	3,5
400	4500	28	14	8	4
500	7000	34	17	10	5
600	10000	42	21	12	6
700	14000	48	24	14	7
800	18000	56	28	16	8
900	23000	62	31	18	9
1000	28000	68	34	20	10
1000-2000 мм	= 0,034 x ДУ x ДУ	= 0,068 x ДУ	= 0,034 x ДУ	= 0,04 x ДУ	= 0,02 x ДУ

Рисунок 22 – Объемный расход

Расходомеры US-800 относятся к время-импульсным звуковым расходомерам, их особенность работы базируется на измерении разницы времен прохождения импульсов звукового колебания согласно направлению перемещения потока воды и против него.

Возбуждение импульсов выполняется пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП), устанавливаемыми в измерительном месте трубопровода, в котором выполняется фиксирование расхода воды.

В зависимости от установки ПЭП относительно сечения потока, темп последнего измеряется согласно 2 либо 1 лучам звуковых колебаний.

ПЭПы действуют поочередно в порядке приемник-излучатель и гарантируют излучение в жидкость и получение из нее ультразвуковых импульсов под углом к оси трубопровода.

Движение воды провоцирует изменение времени абсолютного распространения ультразвуковых сигналов по потоку и поперек него.

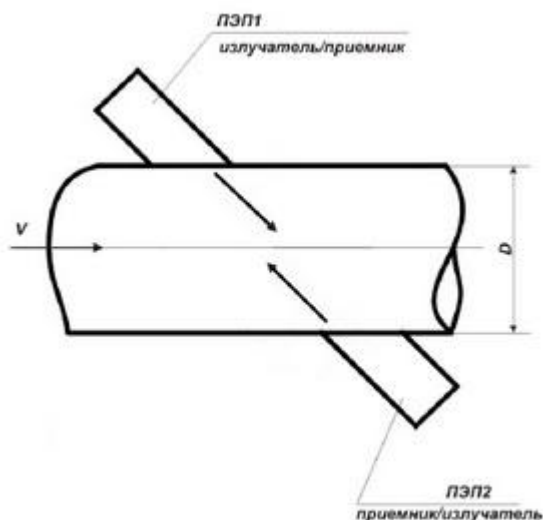


Рисунок 23 - Ультразвуковые расходомеры US-800

ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК (ЭБ) US800-1X, 2X, 3X - устройство, содержащее электронные узлы формирования и преобразования ультразвуковых импульсов, вычисления расхода, объема и вывода информации на основе измеренных времен распространения ультразвуковых импульсов. Конструктивно ЭБ (электронный блок) представляет собой приборный корпус из пластика для настенного монтажа.

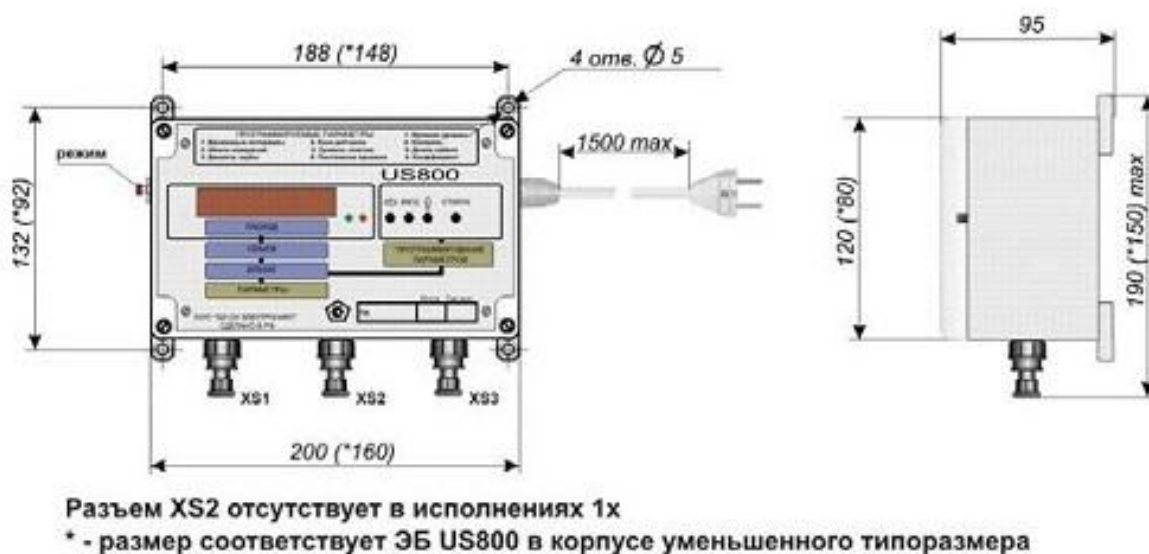


Рисунок 24 – Приборный корпус электронного блока US-800

На лицевой панели ЭБ US-800 расположены:

- функциональная клавиатура из четырех кнопок;
- два единичных светодиодных индикатора "норма-отказ";
- девятиразрядный цифровой индикатор.

Лицевая панель ЭБ защищена прозрачной крышкой, которая крепится четырьмя винтами к корпусу через уплотнение.

На левом торце корпуса ЭБ расположен разъем и сетевой шнур 220 В длиной не более 1 м (если корпус уменьшенного размера, то на левом торце расположен разъем для подключения блока питания, блок питания в комплекте).

На правом торце корпуса ЭБ расположена кнопка оперативного управления индикацией "режим".

В нижней части корпуса расположены:

Исполнение 1х (одноканальный однолучевой):

- разъем XS1 для подключения датчиков ПЭП (от УПР) при помощи высокочастотных кабелей;
- разъем XS3 для подключения входов иных приборов и устройств, принимающих аналоговые, частотные или цифровые сигналы ЭБ.

Исполнение 2х (двухканальный однолучевой):

- разъем XS1, XS2 для подключения датчиков ПЭП (от УПР-1 и УПР-2) при помощи высокочастотных кабелей;
- разъем XS3 для подключения входов иных приборов и устройств, принимающих аналоговые, частотные или цифровые сигналы ЭБ.

Исполнение 2х (одноканальный двухлучевой):

- разъем XS1, XS2 для подключения датчиков ПЭП (от УПР) при помощи высокочастотных кабелей;
- разъем XS3 для подключения иных приборов и устройств, принимающих аналоговые, частотные или цифровые сигналы ЭБ.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАСХОДА (УПР) - участок трубы с установленными датчиками ПЭП.

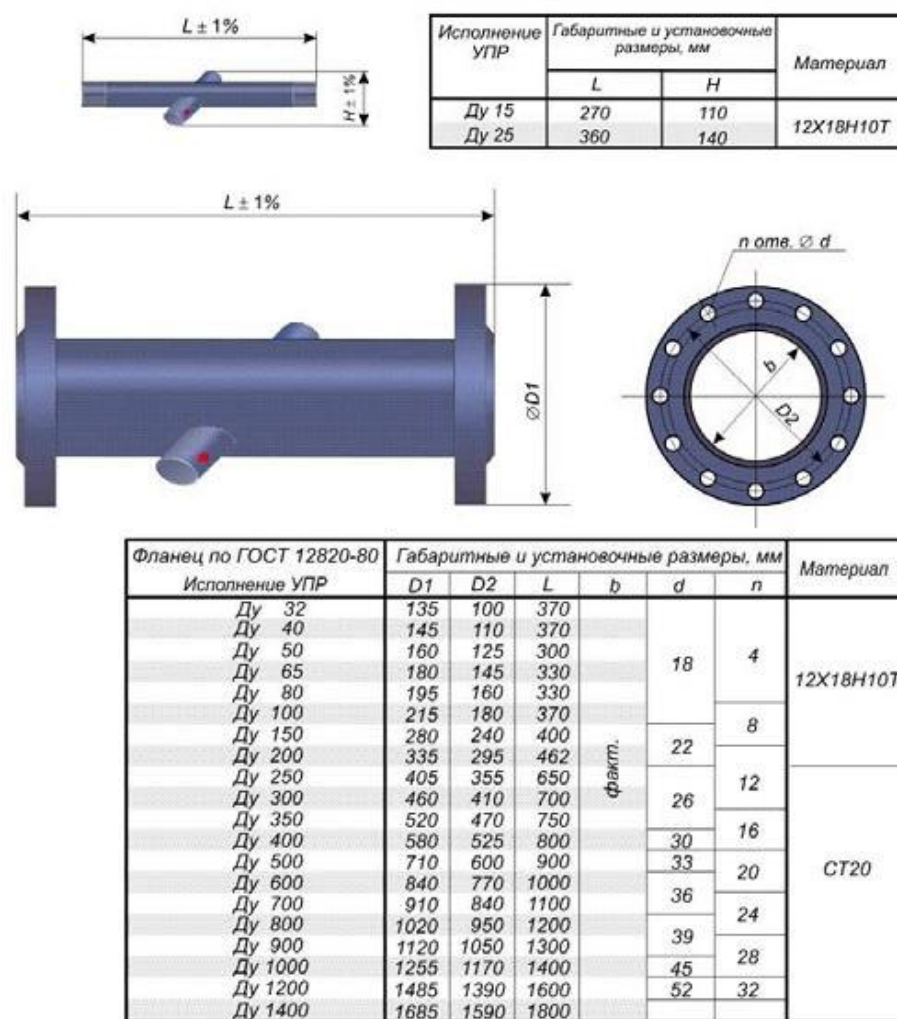


Рисунок 25 - участок трубы с установленными датчиками ПЭП

На однолучевой УПР устанавливается пара ПЭП, которые размещаются на оси проходящей через диаметр поперечного сечения УПР. УПР, изготовленный в заводских условиях, представляет собой отрезок трубы из нержавеющей (или из черной, или кислотостойкой) стали, к торцам которой приварены два черных (или нерж.) фланца по ГОСТ 12820-80, или нарезана резьба, или УПР отторцован под сварку.

В средней зоне трубы приварены держатели. Держатели служат для установки датчиков ПЭП.

ПЭП устанавливаются с паронитовыми прокладками и фиксируются в держателях гайками.

Однолучевые УПР в зависимости от диаметров условного прохода выпускаются в диапазоне Ду 15-1400 мм (для труб диаметрами от 200 до 2000 мм могут быть поставлены комплекты держателей ПЭП для монтажа непосредственно на трубопровод).

На двухлучевой УПР устанавливаются две пары ПЭП, размещенные на осях параллельно друг другу и проходящие через равные хорды поперечного сечения.

УПР на Ду50 и более изготовленный в заводских условиях представляет собой отрезок трубы из нержавеющей (или из черной, или кислотостойкой) стали, к торцам которой приварены два черных (или нерж.) фланца по ГОСТ 12820-80 или УПР отторцован под сварку.

В средней зоне трубы приварены держатели. Держатели служат для установки датчиков ПЭП.

ПЭП устанавливаются с паронитовыми прокладками и фиксируются в держателях гайками.

Двухлучевые УПР в зависимости от диаметров условного прохода выпускаются в диапазоне Ду 50-1400 мм (для труб диаметрами от 200 до 2000 мм могут быть поставлены комплекты держателей ПЭП для монтажа непосредственно на трубопровод).

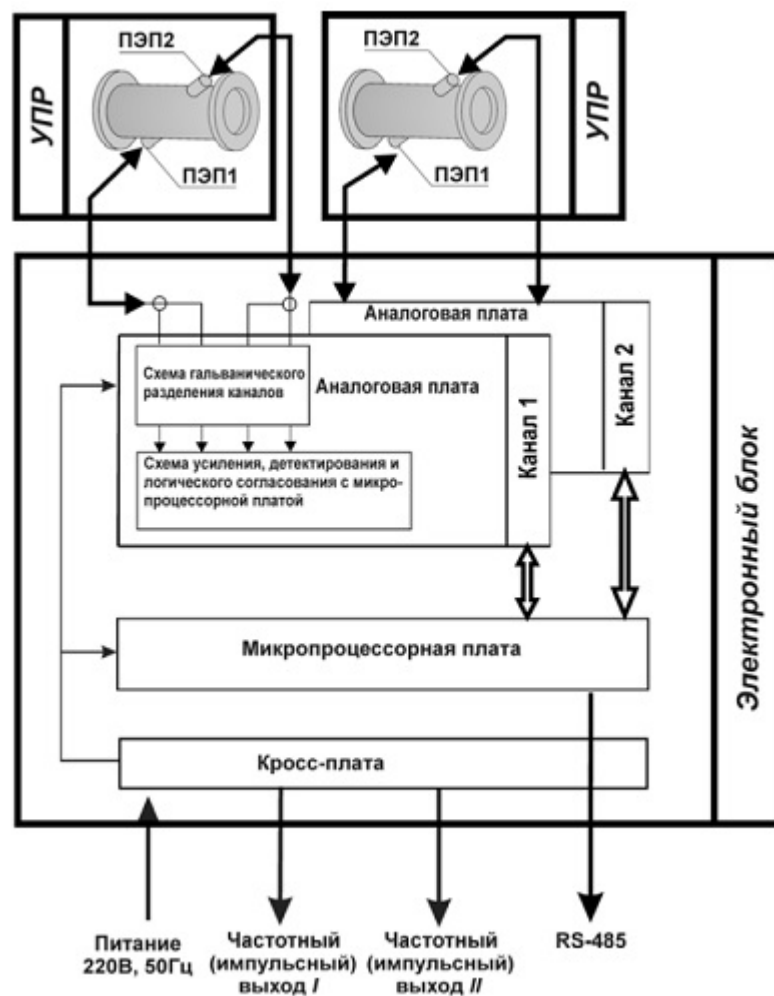


Рисунок 26 – Размещение функциональных узлов в ЭБ

Центральным устройством в системе является программируемый логический контроллер (ПЛК). Сигналы с датчиков расхода и давления поступают на вход программируемого логического контроллера, который формирует сигнал управления для преобразователя частоты. В качестве логического контроллера выбрали Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК110.

датчик-реле давления DMP 333i (рис.27) имеет следующие технические параметры:



Рисунок 27 – Датчик давления DMP 333i

- Диапазоны давления: от 0...60 бар до 0...600 бар (от 0...6 МПа до 0...60 МПа)
- Температурная погрешность менее 0,2% ДИ в диапазоне -20...80 оС
- Выходной сигнал:
 - 4...20 мА / 2-х пров.
 - 0...10 В / 3-х пров.
- Защита от короткого замыкания, смены полярности при подключении, электрического перенапряжения
- Прочная и надёжная конструкция для тяжёлых условий эксплуатации; защита от вибрационных нагрузок
- Продолжительный срок службы
- Дополнительно:
 - Цифровой интерфейс RS-232 для регулировки характеристик датчика (нулевая точка, диапазон, демпфирование)
 - Цифровой интерфейс RS-485 (протокол HART или Modbus)

В качестве нерегулируемого насоса выбираем насос сверх высокого давления фирмы Karcher конструктивного ряда ARP.

Этот конструктивный ряд был разработан специально для перекачки воды, загрязненной зернистыми или волокнистыми твердыми веществами. Конструктивный ряд ARP обладает рабочим давлением до 400 бар и номинальным потоком до 1700 л/мин и всегда надежно работает с жидкостями, содержащими абразивные материалы.

В отличие от других сопоставимых насосов этого класса производительности эта серия рассчитана на температуру подачи до 65°C - термостойкость, которую можно гибко увеличить до 90°C*. Благодаря простой замене сменного комплекта можно изменять показатели производительности. Модульная конструкция устройства позволяет это сделать. Насос соответствует положениям нормы АТЕХ и API** и имеет охлаждение редуктора. Вспомогательный привод обеспечивает дополнительную гибкость, поскольку таким образом Вы можете подсоединить еще один насос. Таким образом Вы можете увеличить производительность в два раза. Насосы конструктивного ряда ARP разработаны как низкоскоростные устройства. Это обозначает продолжительный срок службы и увеличение интервалов технического обслуживания. Выбираем насос из таблицы 6.

Таблица 6 – Характеристики насосов ARP

Тип	150	185	250	400	550	700	1000
макс. мощность привода (кВ)	106	135	183	285	452	525	780
макс. рабочее давление (бар)	320	370	320	340	400	400	400
макс. поток (л/мин)	407	477	476	683	822	955	1679
Вес (кг)	320	329	360	995	1450	1450	2610

Так как наше рабочее давление 100 бар, а максимальное давление 160 бар, выбираем насос типа ARP 150.

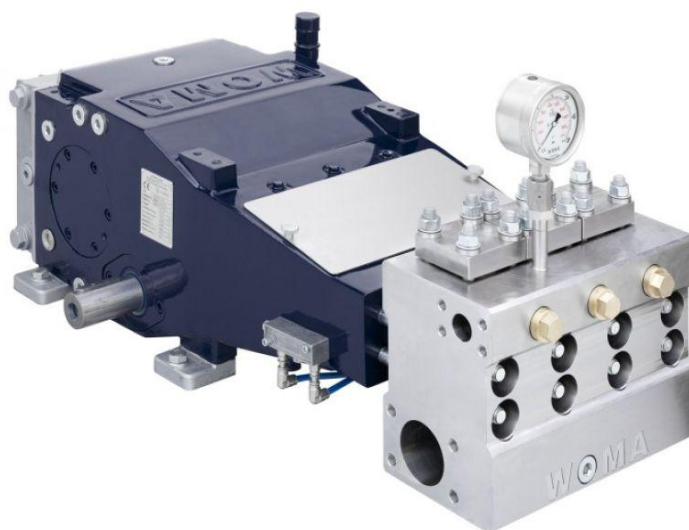


Рисунок 28 – Внешний вид насоса типа ARP 150

В качестве клапана выбираем регулирующий игольчатый клапан типа 9с-5-4Э с электроприводом. Клапан регулирующий игольчатый 9с-5-4Э применяется в качестве регуляторов расхода воды и пара и устанавливаются на трубопроводах впрыска охлаждающей воды РОУ и трубопроводах пара с температурой до 560 °С. Такой клапаны управляется автоматически. Технические характеристики представлены в таблице 7, а внешний вид на рисунке 29.

Таблица 7 – Технические характеристики клапан типа 9с-5-4Э

Обозначение изделия (Аналог ЧЗЭМ)	DN мм	PN МПа	Kvy м³/ч	T °C	H, мм	h, мм	L, мм	Масса, кг
10с-5-4Э /9с-5-4Э/	50	Pp 17,0	29,6	350	890	815	220	40,5

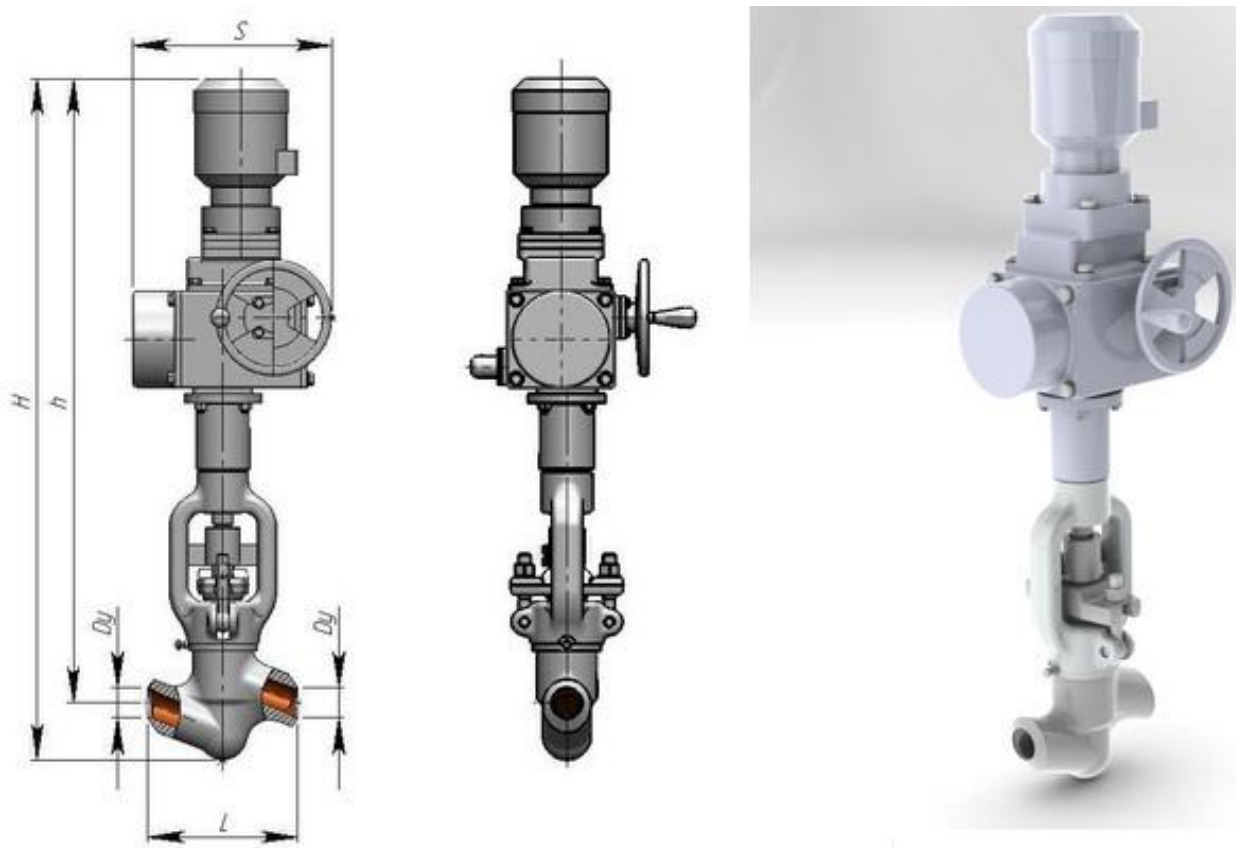


Рисунок 29 – Внешний вид клапана 9с-5-4Э

3. Имитационное моделирование процесса нагнетания при проведении гидродинамических исследований (метаноугольной скважины)

3.1 Имитационная модель АД, проверка адекватности

**Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для
расчета переходных процессов**

Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по вектору потокосцепления ротора [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кс}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кс}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кс}} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_{\text{с}}); \\ R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'}. \end{array} \right. \quad (3.1.1-8)$$

где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\vec{\Psi}_2$, вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q ;

I_{1d}, I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q , А;

$\Psi_{2d} = |\vec{\Psi}_2|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q , Вб.

Уравнениям соответствует приведенная на рисунке 30 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполненная во вращающейся системе координат d, q ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

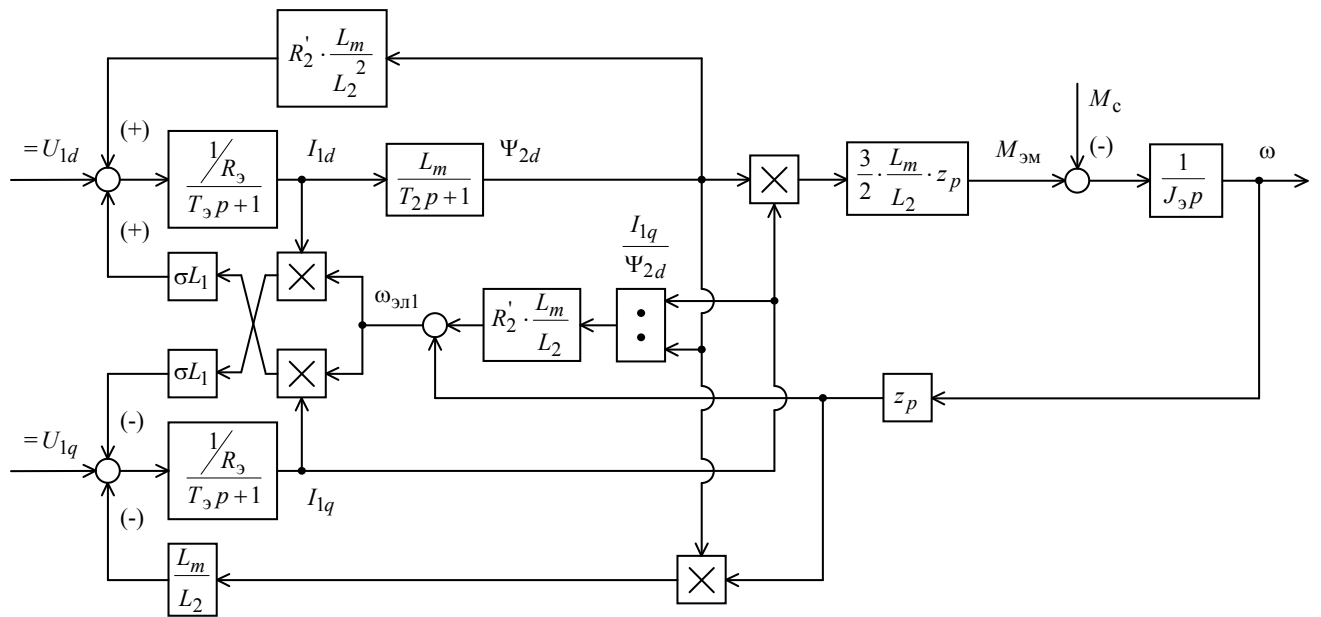


Рисунок 30 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

Далее по структурной схеме имитационной модели АД во вращающейся системе координат собираем такую же модель в среде MatlabSimulink.

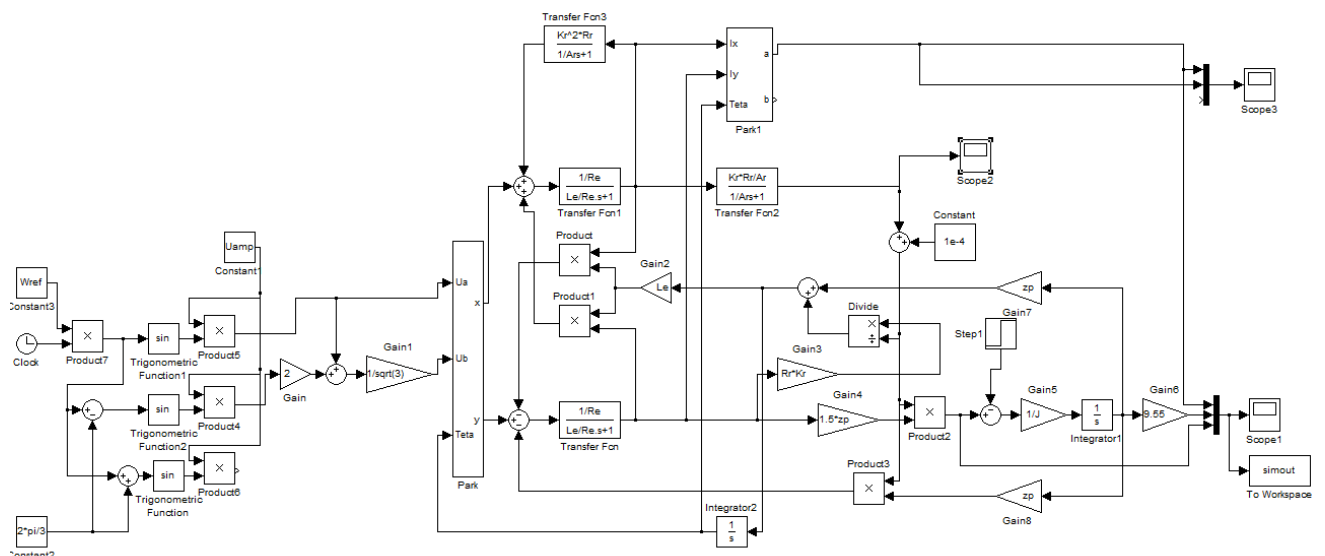


Рисунок 31 – Имитационная модель АД во вращающейся системе координат собранная в среде MatlabSimulink

На вход имитационной модели АД подаем трехфазное напряжение с частотой 50 Гц.

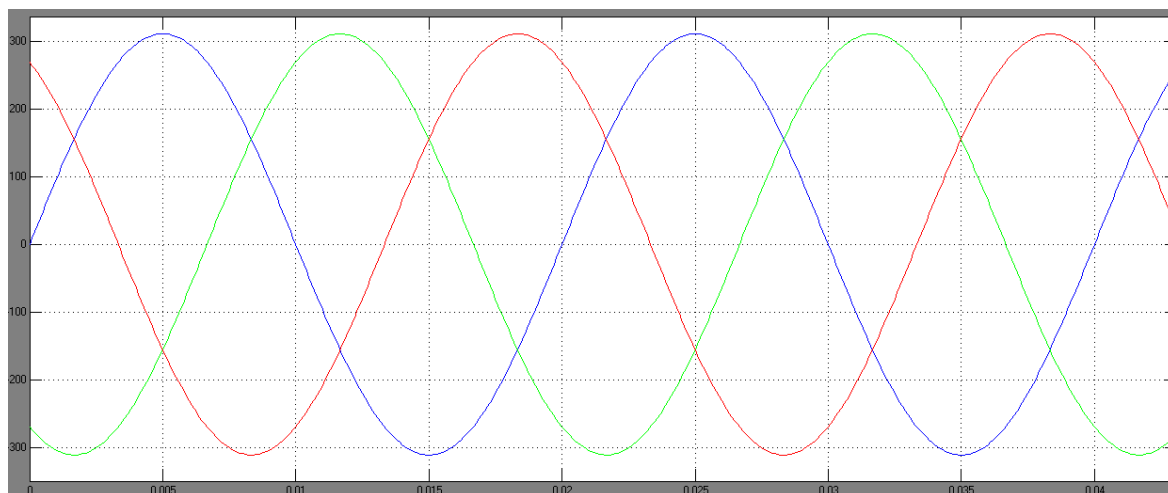


Рисунок 32 – Графики напряжений в трехфазной система координат собранной в среде MatlabSimulink

После делаем преобразование трехфазной системы координат в двухфазную систему координат.

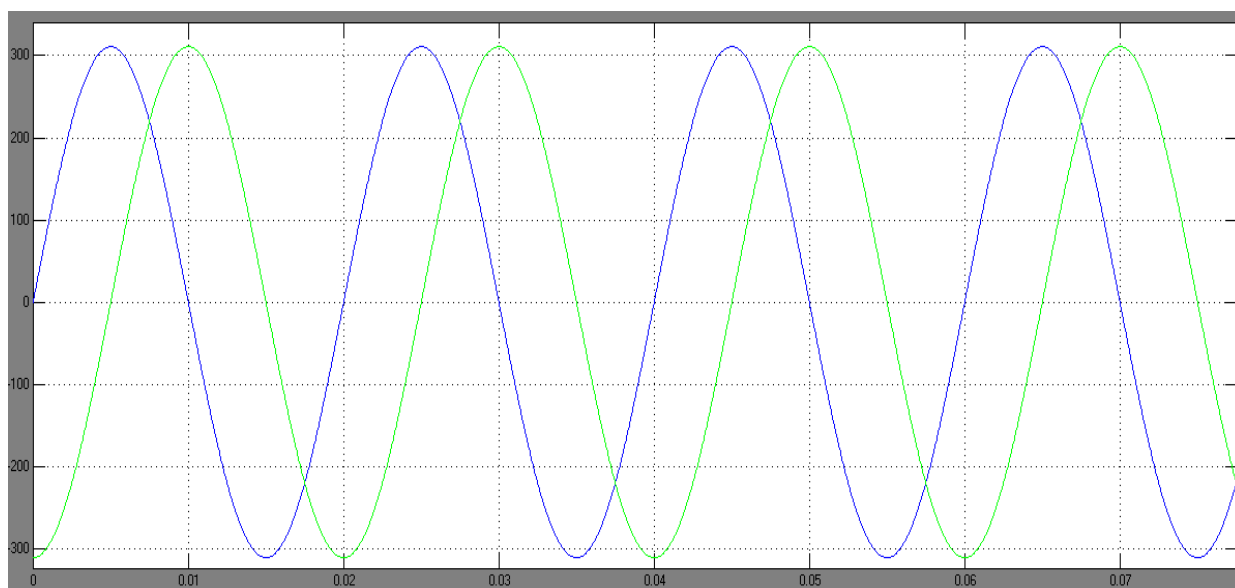


Рисунок 33 – Графики напряжений в двухфазной система координат собранной в среде MatlabSimulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от трёхфазной системы к двухфазной системе координат с частотой 50 Гц. Угол сдвига между фазами составляет 90 градусов.

И последним этапом преобразования напряжения во вращающуюся систему координат.

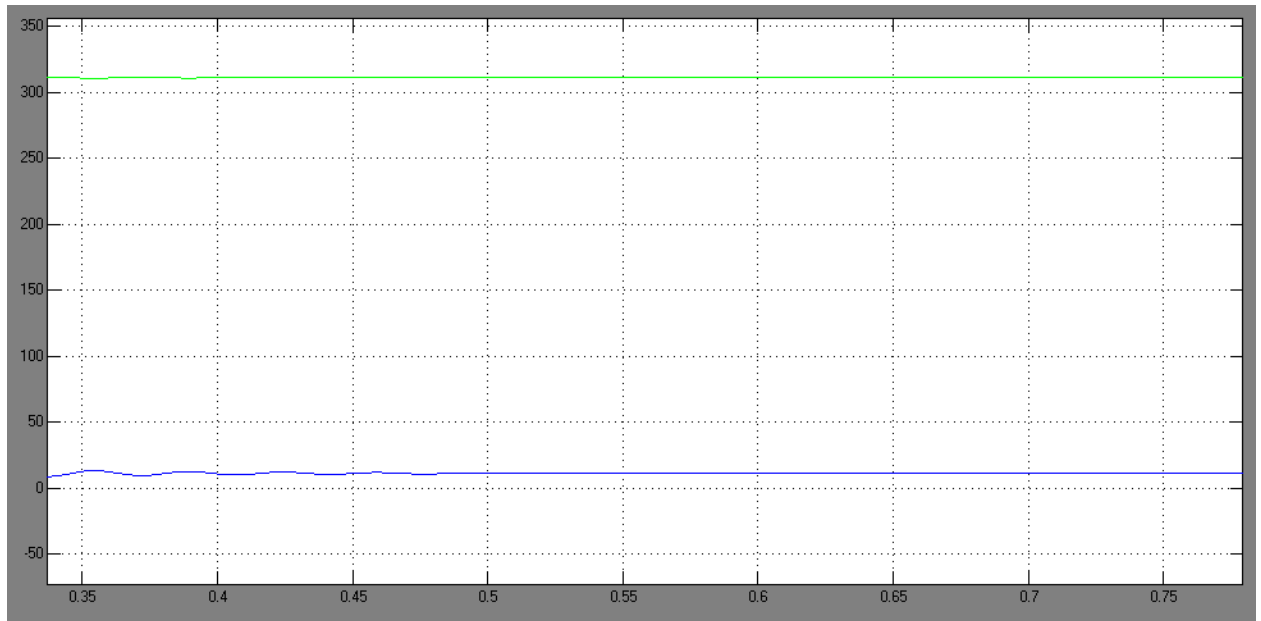


Рисунок 34 – Графики напряжений во вращающейся система координат собранной в среде MatlabSimulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от двухфазной системы к вращающейся системе координат с неподвижными векторами $U_d = 311 \text{ В}$ и $U_q = 0 \text{ В}$.

Далее вводим в M-File паспортные данные и параметры схемы замещения АД.

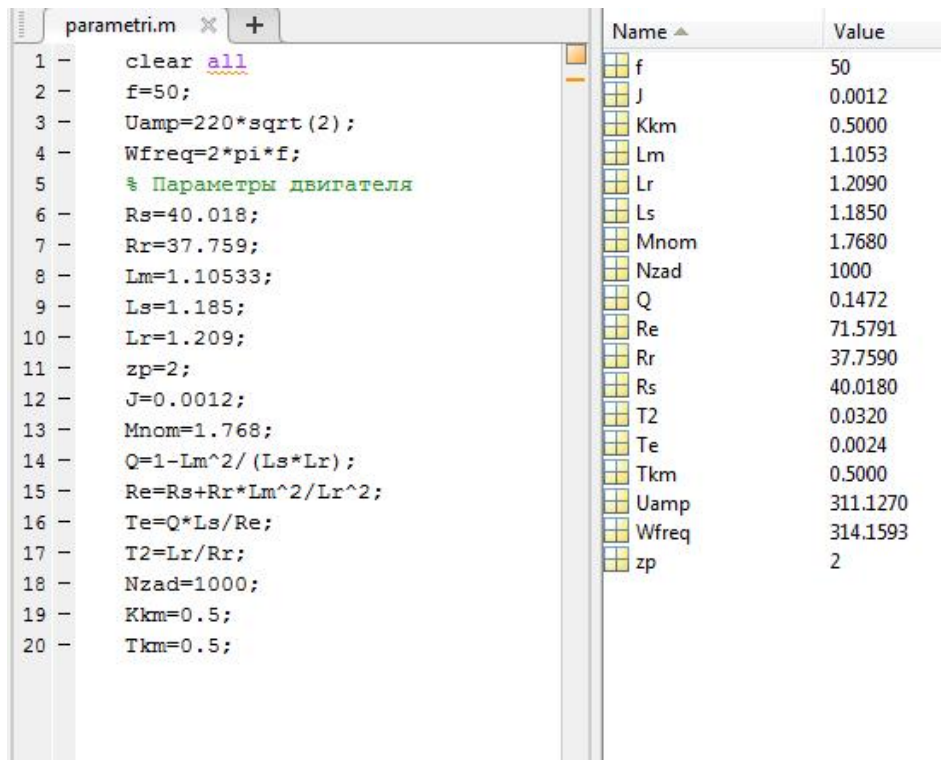


Рисунок 1 – M-File с паспортными данными и параметрами
схемы замещения АД марки АИР63А4.

Производим расчет имитационной модели АД во вращающейся
системе координат в среде MatlabSimulink и получаем графики переходных
процессов: скорости, тока и момента представлены на рисунке 36.

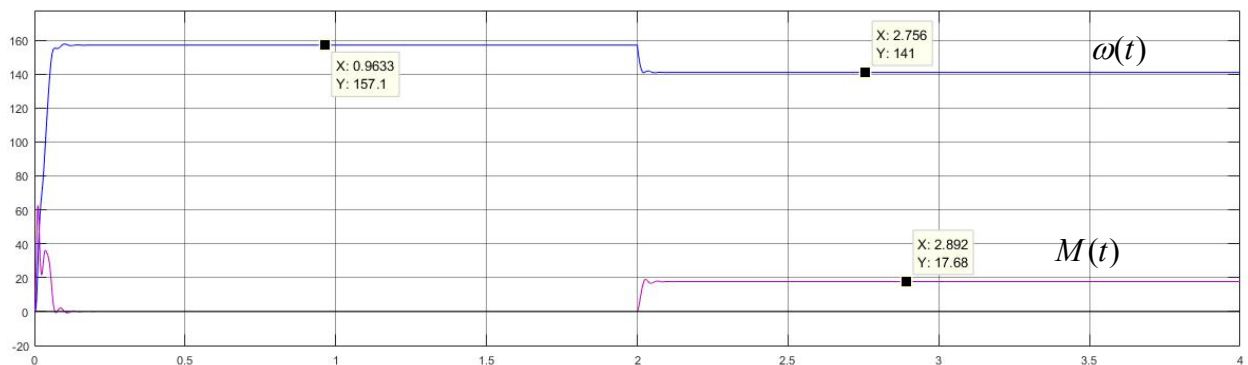


Рисунок 36 – Графики переходных процессов тока, момента и
скорости динамической модели АД во вращающейся системе координат
собранный в среде MatlabSimulink

Таблица 8 – Сравнение расчетных и полученных моделированием координат

Выходные координаты	Расчетные	Полученные моделированием
$n, \text{ рад} / \text{с}$ до нагрузки	157,08	157,1
$n, \text{ рад} / \text{с}$ после нагрузки	141,372	141
$M_n, H \cdot m$	1,768	1,768

Как видно из таблицы расчетные и экспериментальные результаты практически совпадают, из чего можно сделать вывод, что модель работает правильно.

3.2 ПЧ-АД (закон управления)

Базовая функциональная схема модели асинхронного электропривода с частотным управлением представлена на рис. 37.

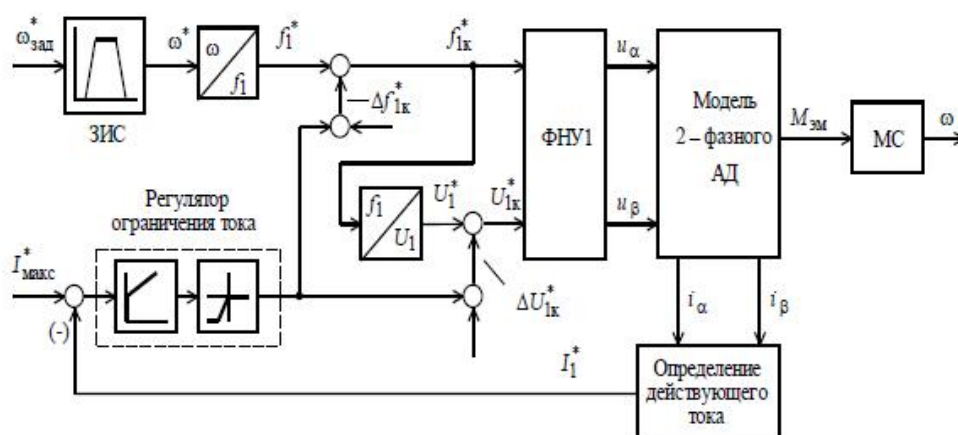


Рисунок 37 – Базовая функциональная схема асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением и моделью двухфазного двигателя

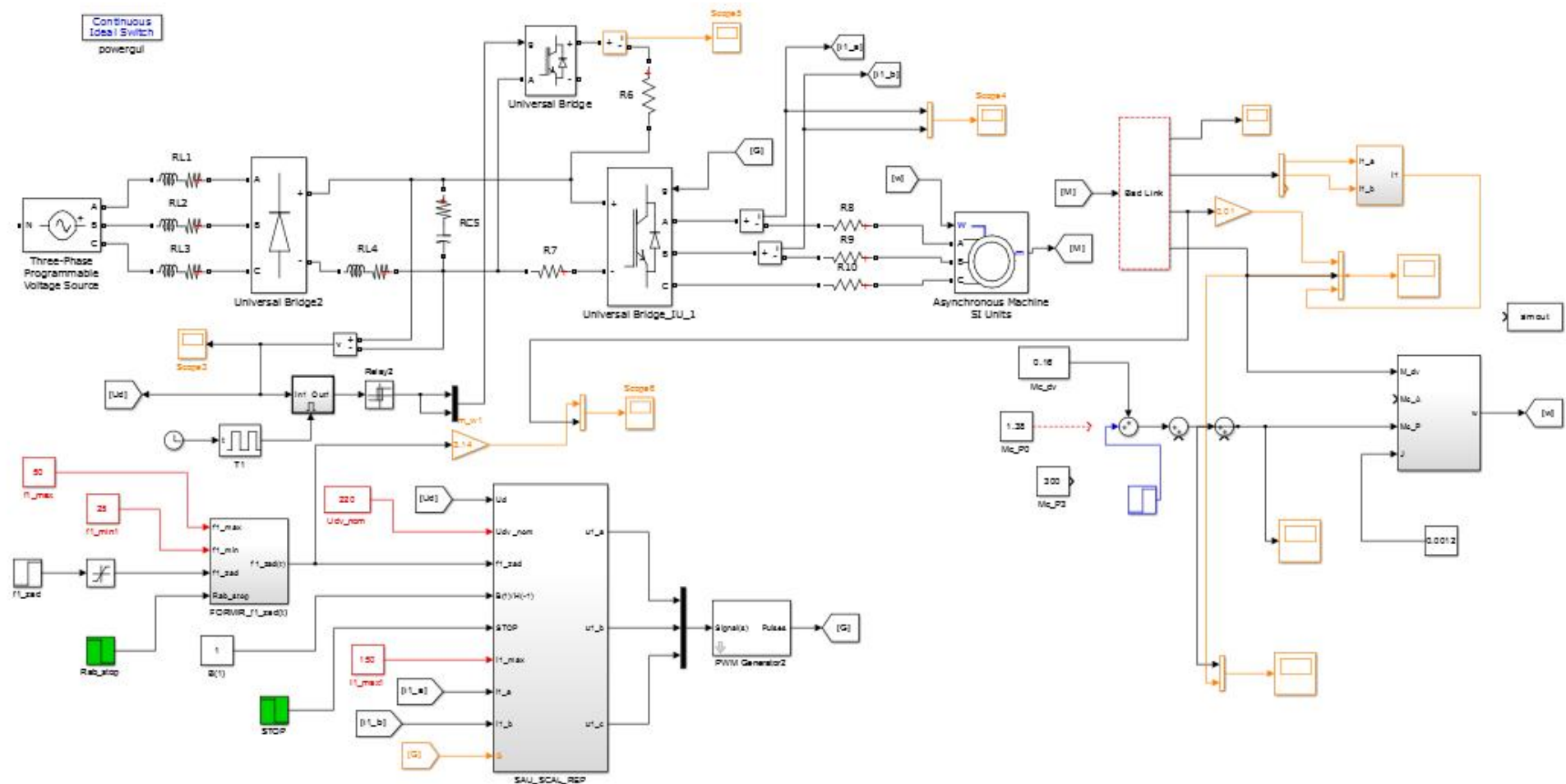


Рисунок 38 – Имитационная модель системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

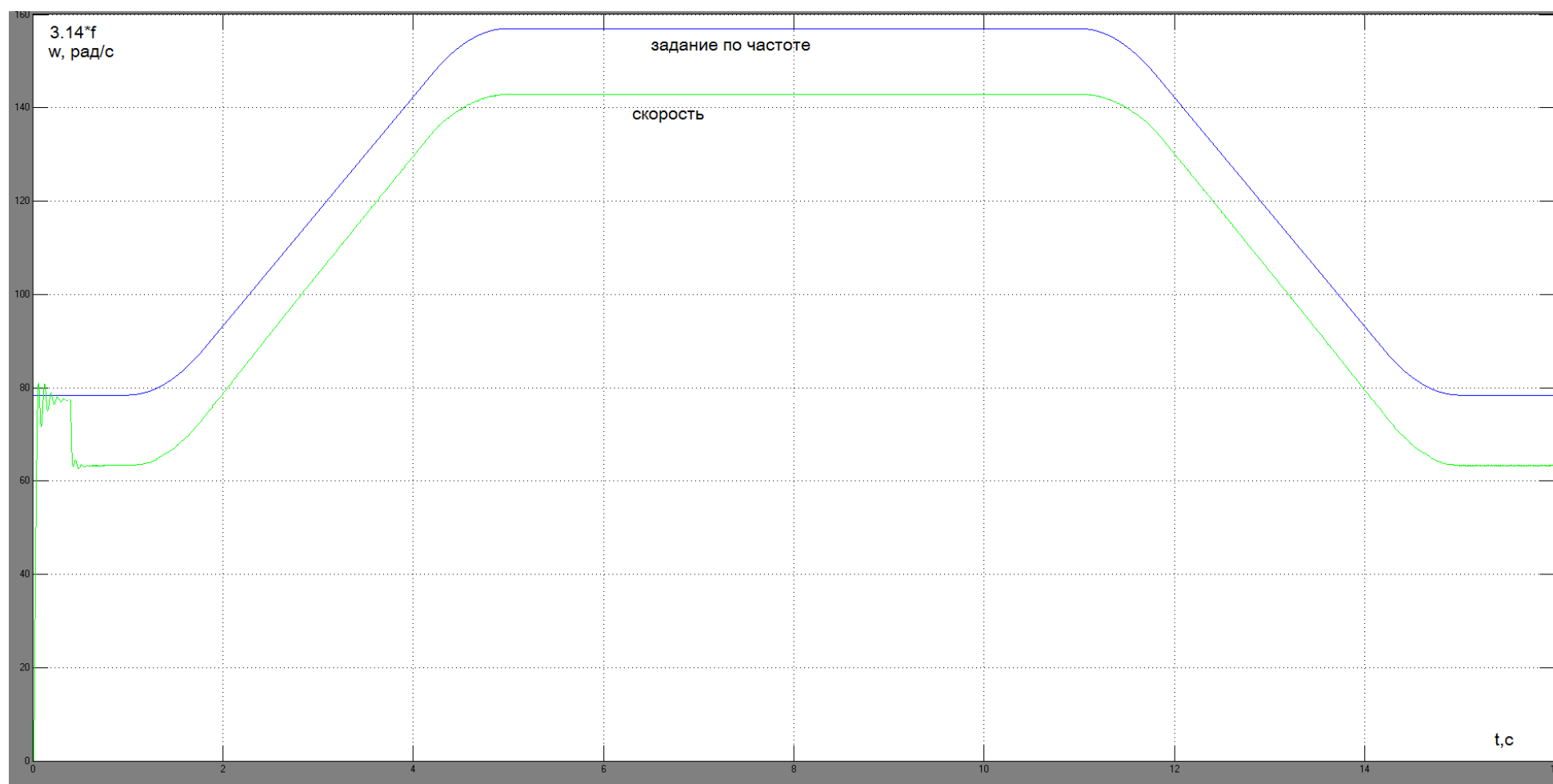


Рисунок 39 – Графики задания по частоте и скорости АД

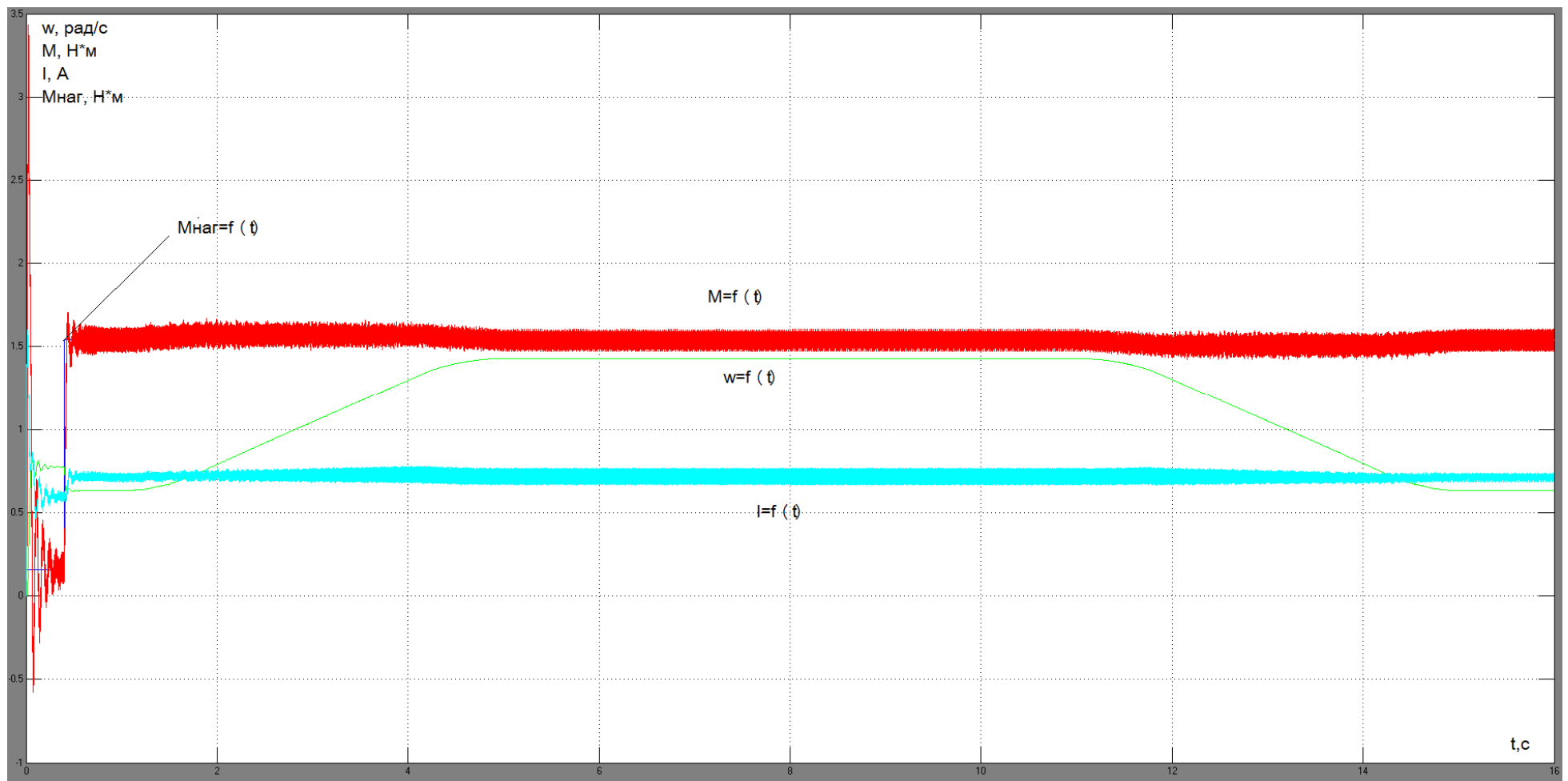


Рисунок 40 – Переходный процесс электромагнитного момента, тока статора и скорости асинхронного двигателя

ЭП питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока, что необходимо для питания выбранного преобразователя частоты; частота сети составляет 50 Гц.

Пуск двигателя производился при следующих условиях: задание на минимальную частоту 25 Гц, разгон на частоту 50 Гц. Нагрузка прикладывается в момент времени 0,4 с. Пуск производился с использованием задатчика интенсивности (ЗИ) с S-образной характеристикой.

3.3 Общая схема из блоков Subsystem

На основании схемы автоматизации процесса нагнетания при гидродинамических исследований скважин (инжект-тест) с использованием проходного регулировочного клапана (рис.5) методом имитационного моделирования с помощью программы Matlab с использованием библиотек: Simulink, SimPowerSystems, SimHydraulics, SimMechanics, была составлена модель, которая представлена на рисунке 41.

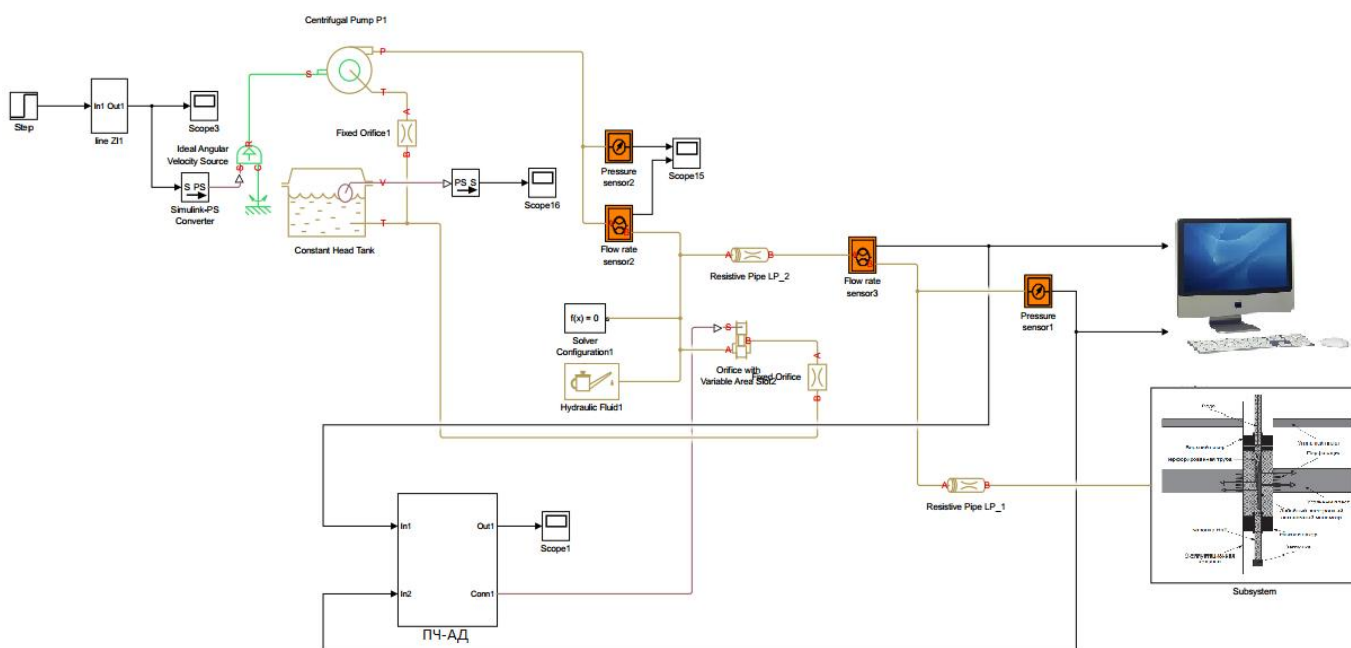


Рисунок 41 – Общая схема из блоков Subsystem процесса нагнетания

Были использованы следующие элементы:

- Centrifugal Pump – центробежный насос.

- Pressure sensor – Датчик давления. Блок датчика давления представляет собой идеальный датчик гидравлического давления, то есть устройство, которое преобразует перепад гидравлического давления, измеренный между двумя точками в управляющем сигнале, пропорциональный этому давлению.
- Flow rate sensor – Датчик расхода. Блок Гидравлический датчик расхода представляет собой идеальный расходомер, то есть устройство, которое преобразует объемную скорость потока через гидравлический трубопровод в пропорциональный сигнал управления на этой скорости потока.
- PS S - блок обратной конвертации физического сигнала Simscape в Simulink-сигнал.
- S PS - блок конвертации обычного Simulink-сигнала в физический сигнал библиотеки Simscape.
- Constant Head Tank – постоянный напорный бак, гидравлический резервуар, где повышение давления и уровень жидкости остаются постоянными, независимо от изменения объема
- Hydraulic Fluid – определяет тип гидравлической жидкости в системе. Наименование основных гидравлических жидкостей (Skydrol LD-4, Skydrol 500B-4, Skydrol-5, HyJet-4A; жидкости MIL-F-83282, 31 MIL-F-5606, MIL-F-87257; масла вязкостью 10W, 30W, 50W, SAE-30, SAE-50; масло трансмиссионное ATF Dextron III; масла по ISO VG 32 (ESSO UNIVIS N 32); бензин; дизельное топливо; реактивное топливо; раствор вода/гликоль в соотношении 60/40).
- Solver Configuration – блок, определяющий настройки параметров решателя для моделирования блочной диаграммы SimHydraulics. Каждый гидравлический механизм должен быть соединен в любом месте с одним подобным блоком.
- Orifice with Variable Area Slot – представляет собой регулируемый дроссель, состоящий из цилиндрической вставки (клапана) и гильзы, с прямоугольной щелью. Расход через дроссель пропорционален открытию клапана и перепаду давления.

- Resistive Pipe LP – Гидравлический трубопровод, который учитывает потери на трение и портовые отметки. Блок низкого давления.

3.4 Сравнительный анализ схем: прямой, сбросной на Matlab

В среде Matlab была разработана имитационная модель нагнетания жидкости в скважину. Результаты моделирования гидродинамических исследований с использованием проходного регулировочного клапана в прямой и сбросной магистралях представлены на рисунках 42 и 43.

На рисунке 4 представлены графики переходных процессов давления P и расхода Q при пуске насоса и регулировании клапана в нагнетательной магистрали.

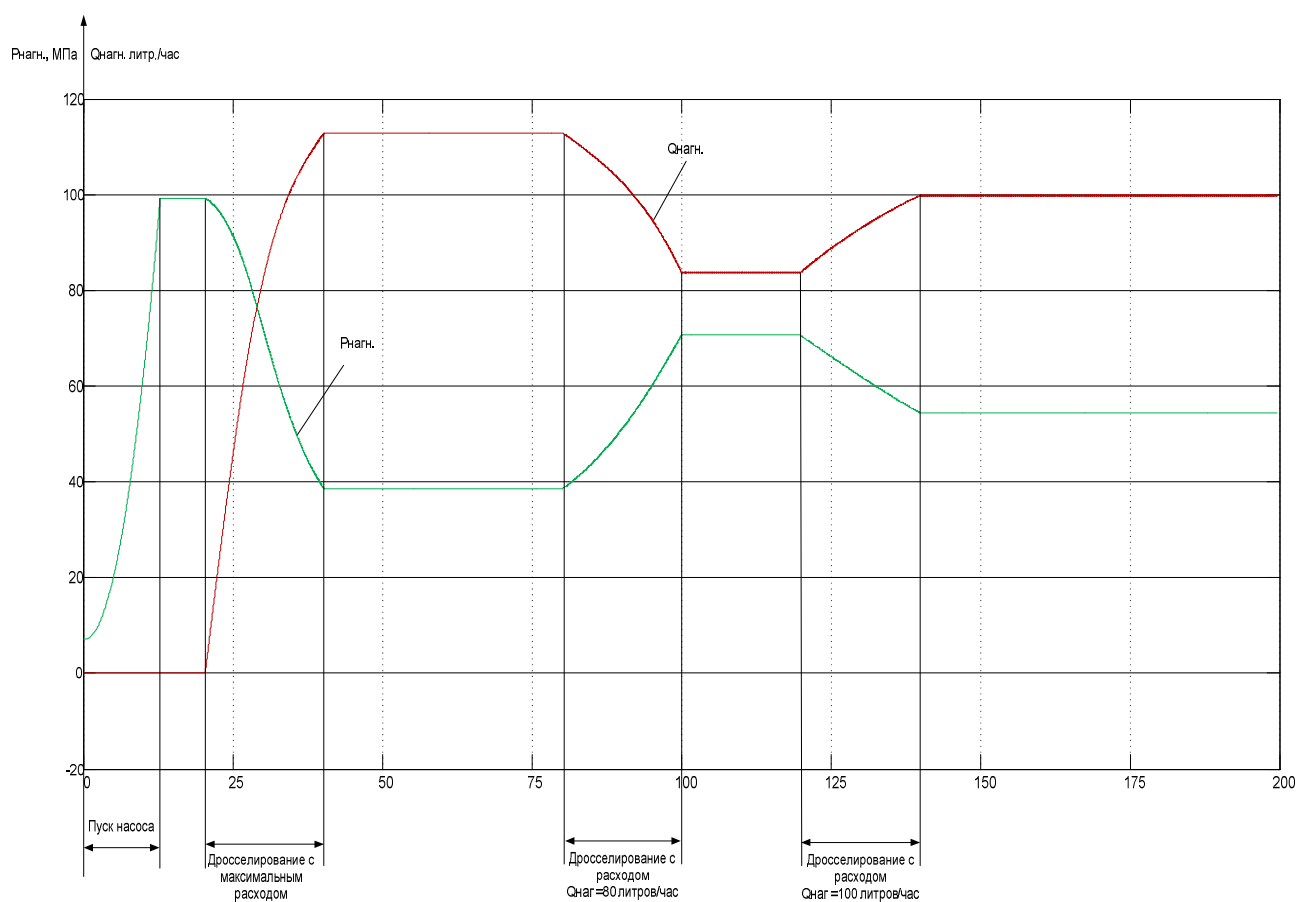


Рисунок 42 – Графики переходных процессов давления P и расхода Q при пуске насоса и регулировании клапана в нагнетательной магистрали.

На рисунке 43 представлены графики переходных процессов давления P и расхода Q при пуске насоса и регулировании клапана в сбросной магистрали.

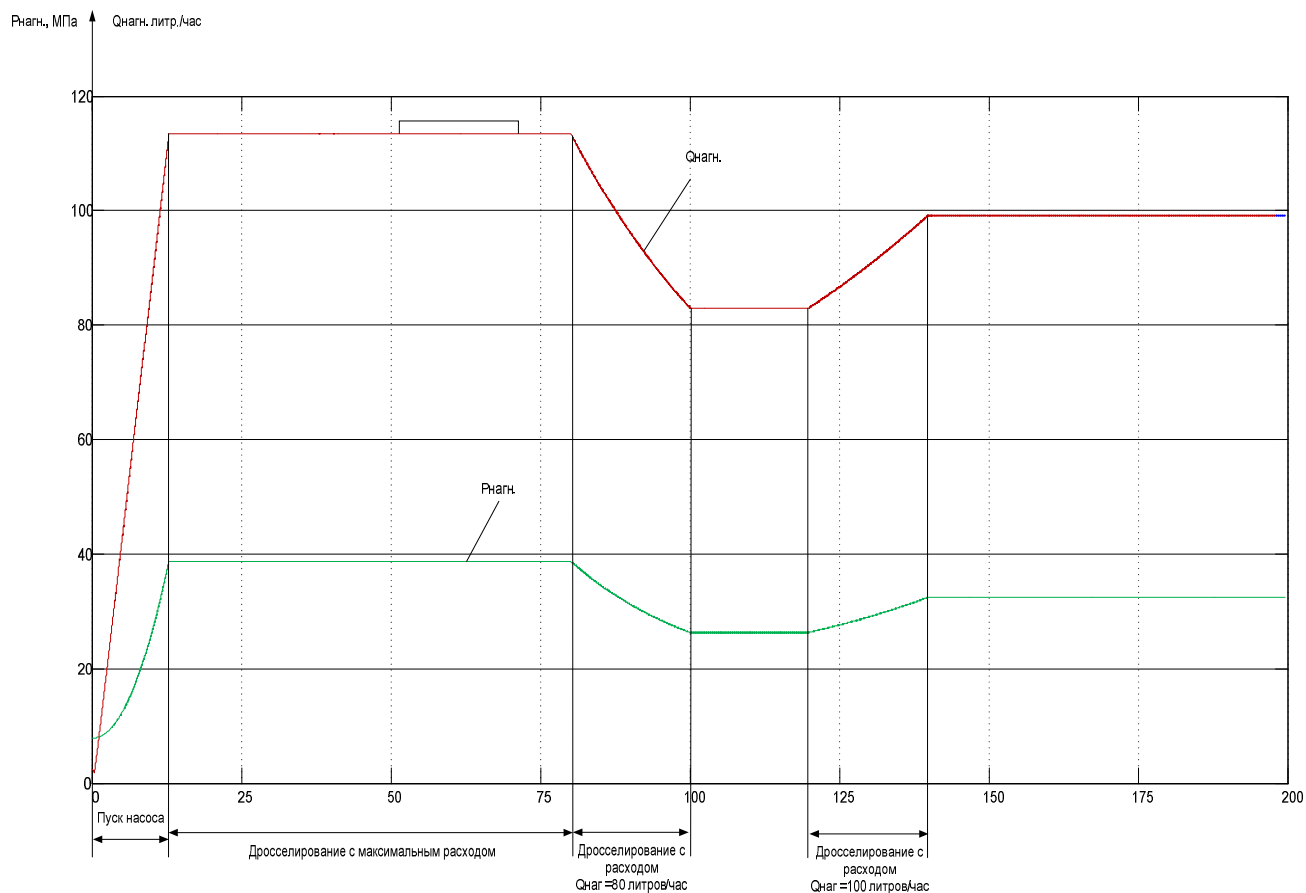


Рисунок 43 – Графики переходных процессов давления P и расхода Q при пуске насоса и регулировании клапана в сбросной магистрали.

Характеристики переходных процессов расхода для обоих вариантов практически идентичны за исключением этапа пуска насоса. В первом варианте с установленным проходным регулировочным клапаном в нагнетающую магистраль начало нагнетания жидкости в скважину определяется положением клапана, в данном случае нагнетание в скважину начинается в 20 секунд. Второй вариант с установленным проходным регулировочным клапаном в сбросной магистрали начало нагнетания начинается с момента работы насоса.

Проанализировав графики давления при различных вариантах установки проходного регулировочного клапана, можно сказать, что регулирование расхода при реализации первого варианта характеризуется повышенным давлением в

нагнетающей магистрали. Данный факт, создаёт нагрузку на насос и элементы гидравлической системы, что уменьшит срок эксплуатации оборудования.

Опираясь на анализ данных схем, был сделан вывод о том, что самым лучшим выходом является использование проходного регулировочного клапана. Эти меры позволят управлять величиной расхода в ходе эксперимента на необходимой точности.

Проведенные исследования показали, что регулировочный клапан лучше устанавливать в сбросную магистраль, чем в прямую магистраль, это позволит снизить гидродинамические нагрузки в системе.

Как показывает практика, регулирование расхода при низких давлениях выполняется точнее и вариант с установленным проходным регулировочным клапаном в сбросной магистрали является более предпочтительным.

3.5 Динамические исследования процесса проведения инжет-теста

Промоделировав нагнетания жидкости в скважину с использованием клапана в сбросной магистрали, и изучив подробно. Были получены следующие графики.

На рисунке 44 представлен график роста давления в скважине.

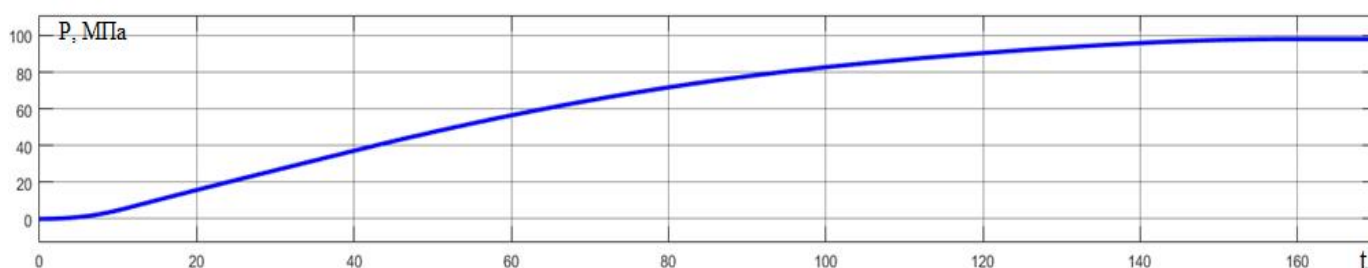


Рисунок 44 – График роста давления (P) в скважине

Из графика (рис. 44) видно, что происходит постепенное насыщение скважины.

На рисунке 45 изображен график производительности насоса.

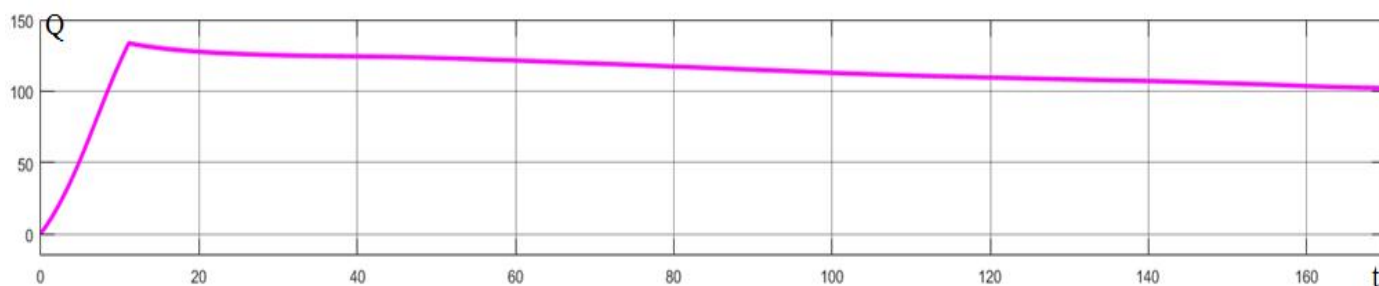


Рисунок 45 – График производительности насоса типа ARP 150

Проанализировав оба графика (рис.44, 45), можно сделать вывод, что при увеличении давления в магистрали, производительность насоса уменьшается.

На рисунке 46 на верхнем графике изображено количество жидкости которое сбрасывает регулируемый дроссель обратно в емкость для поддержания постоянного расхода жидкости которое нагнетается в скважину. А на нижнем - количество жидкости которое нагнетается в скважину.

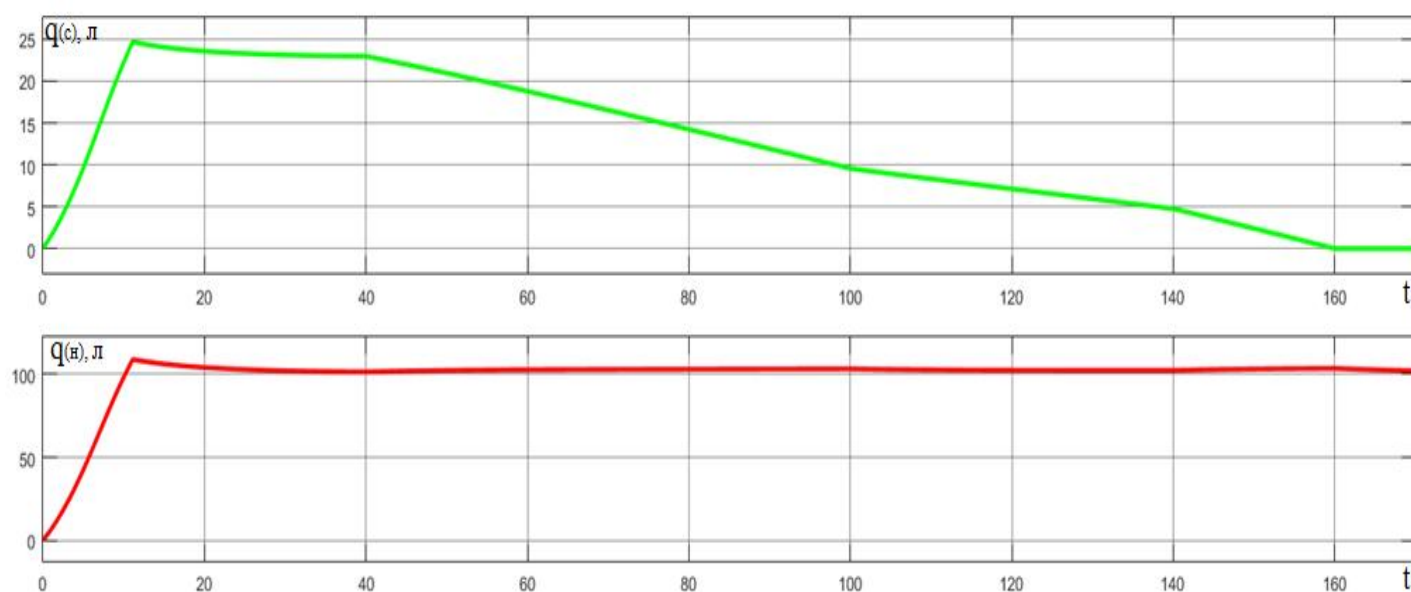


Рисунок 46 – Графики количества жидкости сбрасываемой обратно в емкость ($q(c)$) и нагнетаемой в скважину ($q(n)$)

Из рисунка 46 видно, что система автоматики держит уровень 100 литров в час.

Исследовав все выше изображенные графики можно сделать вывод, что система работает правильно: давление поднимается не выше 100 атм, а уровень

жидкости в скважине не превышает 100 литров и держится на протяжении всего процесса на одном уровне, чего мы и добивались.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Исследование нефтяных и газовых месторождений основаны на передовых научных разработках, которые базируются на детализированном исследовании свойств угольных пластов и содержащихся в них газов и жидкостей, также изучении происходящих процессов в пластах при их эксплуатации. Изыскательские работы проводятся на протяжении всего срока эксплуатации скважины

Основным технологическим параметром, который требует неизменного постоянства при проведении изыскания, является расход жидкости закачиваемой в скважину. На данный момент имеющиеся методы закачки жидкости в скважину во время выполнения изысканий подразумевают роль оператора, который на протяжении всего процесса закачки обязан поддерживать определенный расход закачиваемой жидкости. Для автоматизации процесса закачивания были разработаны схемы с внедрением регулируемого электропривода, который позволяют автоматизировать процесс закачки с высокой точностью.

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках магистерской диссертации, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

4.1 Планирование работ и их временных оценок

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического задания;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителя.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя	Длительность работ в рабочих днях
Разработка и выдача технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель Инженер	3
Выбор направления дальнейшей работы по диссертации	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	12
Расчеты и моделирование	3	Изучение запорно-регулируемой арматуры, СУ электроприводом дросселя.	Инженер	14
	4	Информационный и литературный обзор	Инженер	15
	5	Расчет параметров схемы замещения, характеристик	Инженер	7
	6	Выбор оборудования	Инженер	6
	7	Имитационное моделирование АД, ПЧ-АД	Инженер	14
	8	Имитационное моделирование АСУ нагнетания жидкости в скважину	инженер	20
Написание статьи в научный журнал	9	Формирование текущих результатов в статью	Инженер	5
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель Инженер	7
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	Инженер	18
	12	Проверка магистерской диссертации	Научный руководитель Инженер	3
	13	Исправление ошибок	Инженер	3
Защита магистерской диссертации	14	Подготовка к защите магистерской диссертации	Инженер	5

Продолжительность выполнения проекта составит 132 рабочих дня. Из них:

13 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

132 день – продолжительность выполнения работ инженером.

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения технических работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [17].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки магистерской диссертации. На основе таблицы 9 строим план – график проведения работ (Приложение А).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная с первой декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

4.2 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проект ($K_{\text{тп}}$) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{\text{тп}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (4.2.1)$$

где K_{mat} – материальные затраты;

$K_{ам}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные затраты.

4.2.1 Материальные затраты

В данной работе материальные затраты принимаем в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

4.2.2 Затраты на амортизацию

Так как для работы над магистерской диссертацией используется компьютерная техника, посчитаем ее амортизацию.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \text{ где} \quad (4.2.2)$$

$T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники (125 дней)

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней)

$C_{кт}$ – цена компьютерной техники (25000 руб)

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет)

$$K_{ам} = \frac{125}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1712 \text{ руб.}$$

4.2.3 Затраты на заработную плату

Вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты, затраты на заработную плату (для инженера и НР).

$$Kз / пл = ЗП_{инж} + ЗП_{нр} \quad (4.2.3)$$

$$ЗП_{мес} = ЗП_о \cdot K1 \cdot K2, \text{ где} \quad (4.2.4)$$

$K1$ – коэффициент, учитывающий отпуск ($1,1 = 10\%$);

$K2$ – районный коэффициент ($1,3 = 30\%$);

$ЗП_о$ – месячный отклад (для старшего преподавателя 19500 р., для инженера 17000р.)

Для научного руководителя:

$$ЗП_{мес} = 19500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 27885 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$ЗП_{мес} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{ор} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n, \text{ где} \quad (4.2.5)$$

21 – число рабочих дней в месяц;

n – фактическое число дней в проекте.

Для научного руководителя:

$$ЗП_{ор} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n = \frac{27885}{21} \cdot 13 = 17262 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$ЗПор = \frac{ЗПмес}{21} \cdot n = \frac{24310}{21} \cdot 132 = 152806 \text{ руб.}$$

$$Кз / нл = 17262 + 152806 = 170068 \text{ руб.}$$

4.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством.

Затраты на социальные нужды берем в размере 30% от $Кз/нл$.

$$К_{с.о.} = \frac{Кз/нл \cdot 30\%}{100\%} \quad (4.2.6)$$

$$К_{с.о.} = \frac{170068 \cdot 0,3}{1} = 51020 \text{ руб}$$

4.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от $(К_{мат} + К_{ам} + Кз/нл + К_{с.о})$

$$К_{пр} = \frac{(К_{мат} + К_{ам} + Кз/нл + К_{с.о}) \cdot 10\%}{100\%} \quad (4.2.7)$$

$$К_{пр} = \frac{(1000 + 1712 + 170068 + 51020) \cdot 0,1}{1} = 22380$$

4.2.6 Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные

платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др.

Накладные расходы принимаются в размере 200% от $K_{з/нл}$.

$$K_{накл} = \frac{K_{з/нл} \cdot 200\%}{100\%}, \quad (4.2.8)$$

$$K_{накл} = \frac{170068 \cdot 2}{1} = 340136 \text{ руб.}$$

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 10 – Смета затрат на проект

	Элементы затрат	Стоимость, руб.
	Материальные затраты	1000
	Амортизация компьютерной техники	1712
	Затраты на заработную плату	170068
	Затраты на социальные нужды	51020
	Прочие затраты	22380
	Накладные расходы	340136
	Итого:	586316

Смета затрат на проект :

$$K_{тп} = K_{мат} + K_{ам} + K_{з/нл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл} \quad (4.2.9)$$

$$K_{тп} = 1000 + 1712 + 170068 + 51020 + 22380 + 340136 = 586319 \text{ руб.}$$

Данный технический проект направлен на создание системы автоматического управления процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях, которая должна обеспечивать в течение длительного времени с помощью вентиля оснащенного электроприводом поддерживать необходимый расход при изменении давления в системе. Вентиль должен работать при максимальном рабочем давлении в 100 бар и при максимальном давлении в закрытом положении 160 бар

В результате проделанной работы, на выходе проекта достигаем необходимый результат, тем самым можно сделать вывод, что проект реализован, выполнен верно:

- Выбран оптимальный метод гидродинамического исследования скважин (ГДИС) - Гидродинамические исследования методом нагнетания с последующем восстановления давления.
- Проведен анализ расчетных и экспериментальных данных АД:

Таблица 11 – Сравнение расчетных и полученных моделированием координат

Выходные координаты	Расчетные	Полученные моделированием
$n, \text{ рад / с до нагрузки}$	157,08	157,1
$n, \text{ рад / с после нагрузки}$	141,372	141
$M_n, H \cdot m$	1,768	1,768

- Произведено моделирование гидродинамических исследований с использованием проходного регулировочного клапана в прямой и сбросной магистралях. Проведенные исследования показали, что регулировочный клапан лучше устанавливать в сбросную магистраль, чем в прямую магистраль, это позволяет снизить гидродинамические нагрузки в системе.

- На основании схемы имитационной модели автоматизации процесса нагнетания жидкости в скважину, реализуемой в программной среде Matlab, был реализован полный цикл процесса нагнетания, который показал, что наша система работает в автоматическом режиме и обеспечивает постоянство нагнетания жидкости в скважину, даже при изменении внутренних параметров фильтрационных свойств пластов.

5. Социальная ответственность

Проведение геофизических исследований в скважинах методом инъекционного теста основано на подаче воды в угольный пласт с избыточным давлением и регистрации изменения давления в процессе нагнетания и ожидания его спада. При обработке результатов исследований с использованием специализированного программного пакета инъекционный тест позволяет определить водопроницаемость, емкостной коэффициент исследуемого угольного пласта, скин-фактор призабойной зоны скважины и степень ее загрязнения на различных стадиях разработки скважины. За всеми этими данными наблюдает оператор при помощи персонального компьютера.

5.1 Техногенная безопасность

В последние годы большое внимание уделяется улучшению условий труда пользователей электронно-вычислительных машин (ПЭВМ), несмотря на то, что качество и безопасность самих ПЭВМ постоянно улучшаются. В развитых странах, в том числе в США, Германии, Швеции, вопрос об опасности работы за дисплеями поднялся до уровня национальной проблемы, а в Германии работа за дисплеями входит в список 40 наиболее вредных и опасных профессий.[15]

Работа с персональным компьютером — это воспроизведение визуальной информации на дисплее, которая должна быстро и точно восприниматься пользователем.

Основным фактором, влияющим на производительность труда людей, работающих с ПЭВМ, являются комфортные и безопасные условия труда.[14]

Условия труда пользователя, работающего с персональным компьютером, определяются:

- особенностями организации рабочего места;
- условиями производственной среды (освещением, микроклиматом, шумом, электромагнитными и электростатическими полями, визуальными эргономическими параметрами дисплея и т. д.);

- характеристиками информационного взаимодействия человека и персональных электронно-вычислительных машин.

При выполнении работ на персональном компьютере (ПК) согласно ГОСТу 12.0.003-74 ССБТ [17]. Могут иметь место следующие факторы:

- повышенная температура поверхностей ПК;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- повышенная контрастность;
- зрительное напряжение;
- монотонность трудового процесса;
- нервно-эмоциональные перегрузки.

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Одной из основных особенностей является иной принцип чтения информации, чем при обычном чтении. При обычном чтении текст на бумаге, расположенный горизонтально на столе, считывается работником с наклоненной головой при падении светового потока на текст. При работе на ПК оператор считывает текст, почти не наклоняя голову, глаза смотрят прямо или почти прямо вперед, текст (источник — люминесцирующее вещество экрана) формируется по другую сторону экрана, поэтому пользователь не считывает отраженный текст, а смотрит непосредственно на источник света, что вынуждает глаза и орган зрения в целом работать в несвойственном ему стрессовом режиме длительное время.

Расстройство органов зрения резко увеличивается при работе более четырех часов в день. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) ввела понятие “компьютерный зрительный синдром” (КЗС), типовыми симптомами которого являются жжение в глазах, покраснение век и конъюнктивы, чувство инородного

тела или песка под веками, боли в области глазниц и лба, затуманивание зрения, замедленная перефокусировка с ближних объектов на дальние.[14]

Нервно-эмоциональное напряжение при работе на ПК возникает вследствие дефицита времени, большого объема и плотности информации, особенностей диалогового режима общения человека и ПК, ответственности за безошибочность информации. Продолжительная работа на дисплее, особенно в диалоговом режиме, может привести к нервно-эмоциональному перенапряжению, нарушению сна, ухудшению состояния, снижению концентрации внимания и работоспособности, хронической головной боли, повышенной возбудимости нервной системы, депрессии.

Кроме того, при повышенных нервно-психических нагрузках в сочетании с другими вредными факторами происходит “выброс” из организма витаминов и минеральных веществ. При работе в условиях повышенных нервно-эмоциональных и физических нагрузок гиповитаминоз, недостаток микроэлементов и минеральных веществ (особенно железа, магния, селена) ускоряет и обостряет восприимчивость к воздействию вредных факторов окружающей и производственной среды, нарушает обмен веществ, ведет к изнашиванию и старению организма. Поэтому при постоянной работе на ПК для повышения работоспособности и сохранения здоровья к мерам безопасности относится защита организма с помощью витаминно-минеральных комплексов, которые рекомендуется применять всем, даже практически здоровым пользователям ПК.

Повышенные статические и динамические нагрузки у пользователей ПК приводят к жалобам на боли в спине, шейном отделе позвоночника и руках. Из всех недомоганий, обусловленных работой на компьютерах, чаще встречаются те, которые связаны с использованием клавиатуры. В период выполнения операций ввода данных количество мелких стереотипных движений кистей и пальцев рук за смену может превысить 60 тыс., что в соответствии с гигиенической классификацией труда относится к категории вредных и опасных. Поскольку каждое нажатие на клавишу сопряжено с сокращением мышц, сухожилия

непрерывно скользят вдоль костей и соприкасаются с тканями, вследствие чего могут развиваться болезненные воспалительные процессы. Воспалительные процессы тканей сухожилий (тендениты) получили общее название “травма повторяющихся нагрузок”.[14]

Большинство работающих рано или поздно начинают предъявлять жалобы на боли в шее и спине. Эти недомогания накапливаются постепенно и получили название “синдром длительных статических нагрузок” (СДСН).

Другой причиной возникновения СДСН может быть длительное пребывание в положении “сидя”, которое приводит к сильному перенапряжению мышц спины и ног, в результате чего возникают боли и неприятные ощущения в нижней части спины. Основной причиной перенапряжения мышц спины и ног являются нерациональная высота рабочей поверхности стола и сидения, отсутствие опорной спинки и подлокотников, неудобное размещение монитора, клавиатуры и документов, отсутствие подставки для ног.

Естественный свет имеет высокую биологическую и гигиеническую ценность, так как обладает благоприятным для зрения человека спектральным составом и оказывает положительное воздействие на психологическое состояние человека - создает ощущение связи его с окружающим миром. Отсутствие или недостаток естественного освещения в рабочем помещении классифицируют как вредный производственный фактор.

В зависимости от типа промышленного здания естественное освещение может быть верхним - через световые фонари в крыше, боковым - через оконные проемы и комбинированным.

Предприятия, как правило, имеют боковое естественное освещение. При одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение коэффициента естественной освещенности в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов. При двустороннем боковом освещении нормируется в точке посередине помещения.

Естественное освещение должно осуществляться через светопроемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток и обеспечивать

коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5 % на остальной территории. Коэффициент пульсации освещенности не выше 15%. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк.

Психофизиологические вредные факторы: напряжение зрения и внимания; интеллектуальные, эмоциональные и длительные статические нагрузки; монотонность труда; большой объем информации, обрабатываемый в единицу времени; нерациональная организация рабочего места.

Повышенная влажность воздуха создает неблагоприятные метеорологические условия - происходит нарушение терморегуляции и перегревание организма, уменьшается испарение пота, а следовательно, уменьшается и отдача тепла организмом, что резко ухудшает состояние и работоспособность человека. Низкая относительная влажность воздуха способствует испарению пота, в результате чего происходит быстрая отдача тепла организмом. Понижение относительной влажности воздуха до 20 % вызывает неприятное ощущение сухости слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

Таблица 11 – Оптимальные параметры микроклимата помещений с использованием ПЭВМ.

Температура, °С	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, г/м ³	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	< 0,1
20	58	10	< 0,1
21	55	10	< 0,1

Слабые электромагнитные поля (ЭМП) мощностью сотые и даже тысячные доли Ватт высокой частоты для человека опасны тем, что интенсивность таких полей совпадает с интенсивностью излучений организма человека при обычном функционировании всех систем и органов в его теле. В результате этого

взаимодействия собственное поле человека искажается, провоцируя развитие различных заболеваний, преимущественно в наиболее ослабленных звеньях организма.[14]

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом клеток, тканей и органов вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию. Интенсивность нагрева зависит от количества поглощенной энергии и скорости оттока тепла от облучаемых участков тела. Отток тепла затруднен в органах и тканях с плохим кровоснабжением. К ним в первую очередь относится хрусталик глаза, вследствие чего возможно развитие катаракты. Тепловому воздействию ЭМП подвергаются также паренхиматозные органы (печень, поджелудочная железа) и полые органы, содержащие жидкость (мочевой пузырь, желудок). Нагревание их может вызвать обострение хронических заболеваний.[14]

Таблица 12 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Кроме того, на установках высокого напряжения возможен удар электрическим током без прикосновения к

токоведущим элементам, в результате утечки тока или пробоя воздушного промежутка.

Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени воздействия, от характера тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму. Последствия:

- Из-за высокого электрического сопротивления человеческих тканей происходит довольно быстрое их нагревание, что может вызывать ожоги.
- Даже сравнительно малые напряжения, порядка 110—230 В, при кратковременном контакте с грудной клеткой могут вызывать сбой в работе сердечной мышцы (60 мА для переменного тока, 300—500 мА для постоянного). Удар током также используется для восстановления работы сердца, таким образом устраняя эффект фибрилляции. Такой прибор называется дефибриллятором.
- Удар током может вызвать сбой в работе нервной системы, например, беспорядочные сокращения мышц. Повторяющиеся удары могут вызвать невропатию. Острая электротравма может стать причиной нарастающей асистолии.
- При поражении головы электрическим током возможна потеря сознания.
- При достаточно высоких напряжениях и силе тока могут возникать так называемые электрические дуги, наносящие сильные термические ожоги. Электрическая дуга также создает сильное световое излучение (ярче, чем Солнце), поэтому, например, сварщики используют специальные маски (очки) с тёмным стеклом (светофильтром), чтобы защитить глаза, и специальные перчатки и одежду, чтобы обезопасить себя от удара током.

Взрывоопасность угольной пыли.

Основными факторами, влияющими на взрывчатость угольной пыли, являются ее дисперсность и концентрация, выход летучих веществ, зольность и

содержание влаги, а также вид источника воспламенения и состав шахтного воздуха.

Дисперсностью угольной пыли называется степень измельченности частичек пыли. Наиболее опасны в отношении взрыва пылевые частицы размером от 10 до 75 мкм. Тонкодисперсная пыль размером менее 10 мкм обладает пониженной взрывчатостью. Наиболее высокими взрывчатыми свойствами обладает угольная пыль с размерами частиц 45 мкм.

Выход летучих веществ. При массовой доле летучих частиц менее 10% угольная пыль практически не обладает взрывчатыми свойствами. При наличии 10-25% летучих веществ степень взрывчатости угольной пыли очень быстро возрастает, при выходе летучих веществ более 25% взрывчатость увеличивается менее быстрыми темпами. Наиболее легко взрывается пыль с содержанием летучих веществ от 17% до 32%.

5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

Для существенного уменьшения боли и неприятных ощущений, возникающих у пользователей ПК, необходимы частые перерывы в работе и эргономические усовершенствования, в том числе оборудование рабочего места так, чтобы исключать неудобные позы и длительные напряжения.

К числу факторов, ухудшающих состояние здоровья пользователей компьютерной техники, относятся электромагнитное и электростатическое поля, акустический шум, изменение ионного состава воздуха и параметров микроклимата в помещении. Немаловажную роль играют эргономические параметры расположения экрана монитора (дисплея), состояние освещенности на рабочем месте, параметры мебели и характеристики помещения, где расположена компьютерная техника.[2]

Типичными ощущениями, которые испытывают к концу рабочего дня операторы ПЭВМ, являются: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания.

Длительная и интенсивная работа на компьютере может стать источником тяжелых профессиональных заболеваний, таких, как травма повторяющихся нагрузок (ТПН), представляющая собой постепенно накапливающиеся недомогания, переходящие в заболевания нервов, мышц и сухожилий руки.

К профессиональным заболеваниям, связанным с ТПН, относятся:

- тендовагинит — воспаление сухожилий кисти, запястья, плеча;
- тендосиновит — воспаление синовиальной оболочки сухожильного основания кисти и запястья;
- синдром запястного канала (СЗК) — вызывается ущемлением срединного нерва в запястном канале. Накапливающаяся травма вызывает образование продуктов распада в области запястного канала, в результате чего вначале возникает отек, а затем СЗК.

Появляются жалобы на жгучую боль и покалывание в запястье, ладони, а также пальцах, кроме мизинца. Наблюдается болезненность и онемение, ослабление мышц, обеспечивающих движение большого пальца.[14]

Эти заболевания обычно наступают в результате непрерывной работы на неправильно организованном рабочем месте.

Механизм нарушений, происходящих в организме под влиянием электромагнитных полей, обусловлен их специфическим (нетепловым) и тепловым действием.

Специфическое воздействие ЭМП отражает биохимические изменения, происходящие в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются центральная и сердечно-сосудистая системы. Возможны отклонения со стороны эндокринной системы.

В начальном периоде воздействия может повышаться возбудимость нервной системы, проявляющаяся раздражительностью, нарушением сна, эмоциональной неустойчивостью. В последующем развиваются астенические состояния, т.е. физическая и нервно-психическая слабость. Поэтому для хронического воздействия ЭМП характерны: головная боль, утомляемость, ухудшение самочувствия, гипотония (снижение артериального давления),

брадикардия (урежение пульса), боли в сердце. Указанные симптомы могут быть выражены в разной степени.

5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений

С 30 июня 2003 г. введены новые Санитарно-эпидемиологические правила СанПиН 2.2.2/2.4. 1340-03 [18]. Требования Санитарных правил распространяются на вычислительные электронные цифровые машины персональные и портативные; периферические устройства вычислительных комплексов (принтеры, сканеры, клавиатуру, модемы внешние); устройства отображения информации (видеодисплейные терминалы — ВДТ) всех типов, условия и организацию работы с ПЭВМ и направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с ПЭВМ. Рабочие места с использованием ПЭВМ и помещения для их эксплуатации должны соответствовать требованиям Санитарных правил.[15]

5.4 Региональная безопасность

Одной из 2-х базовых технологий для добычи сланцевого газа является технология гидравлического разрыва пласта (Hydraulic fracturing). Гидравлический разрыв пласта — это процесс, который предполагает введение смеси воды, песка и химических веществ в газоносные породы под чрезвычайно высоким давлением (500-1500 атм). Давление приводит к образованию крошечных трещин, которые позволяют газу вырваться. Вся эта система трещин связывает скважину с удаленными от забоя продуктивными частями пласта. Для предотвращения смыкания трещин после снижения давления в них вводят крупнозернистый песок, добавляемый в жидкость, нагнетаемую в скважину. Радиус трещин может достигать нескольких десятков метров.[16]

Процесс разрыва в большой степени зависит от физических свойств жидкости и, в частности от ее вязкости. Чтобы давление разрыва было

наименьшим, нужно, чтобы она была фильтрующей. Повышение вязкости так же, как и уменьшение фильтруемости жидкостей, применяемых при разрыве пластов, осуществляется введением в них соответствующих добавок. Такими загустителями для углеводородных жидкостей, применяемых при разрыве пластов, являются соли органических кислот, высокомолекулярные и коллоидные соединения нефти (например, нефтяной гудрон и другие отходы нефтепереработки). Значительной вязкостью и высокой песконесущей способностью обладают некоторые нефти, керосино-кислотные и нефте-кислотные эмульсии, применяемые при разрыве карбонатных коллекторов, и водо-нефтянные эмульсии. Эти жидкости и используются в качестве жидкостей разрыва и жидкостей-песконосителей при разрыве пластов в нефтяных скважинах. Применение жидкостей разрыва и жидкостей-песконосителей на углеводородной основе для разрыва пластов в водонагнетательных скважинах может привести к ухудшению проницаемости пород для воды вследствие образования смесей воды с углеводородами. Во избежание этого явления пласты в водонагнетательных скважинах разрывают загущенной водой. Для загущения применяют сульфид-спиртовую борду (ССБ) и другие производные целлюлозы, хорошо растворимые в воде. Как правило жидкости используемые при ГРП канцерогенные. Особую опасность представляет собой возможность попадания химических реагентов, используемых при гидравлическом разрыве в пласты содержащие артезианскую воду, используемую для питья.[16]

Основная опасность для экологии при добыче сланцевого газа заключается в использовании большого количества химикатов, которые смешиваются с водой и песком. Операцию гидроразрыва пластов (ГРП) на одной территории приходится повторять до 10 раз в год. При гидроразрыве химическая смесь пропитывает породу, что ведёт к загрязнению больших территорий, а также грунтовых вод.

Именно поэтому в штате Нью-Йорк в США добыча сланцевого газа была запрещена. В Европе, где экологическое законодательство более жёсткое, чем в США, это может стать основной причиной, по которой добыча сланцевого газа не

получит серьёзного распространения. Профессор Владимир Мордкович, автор инновационной российской технологии переработки попутного газа, считает, что в будущем с добычей сланцевого газа будут связаны громкие экологические скандалы.

Профессор Украинского государственного химико-технологического университета Вильям Задорский сообщил о возможных, даже найвероятнейших последствиях, которые следуют после добычи сланцевого газа с помощью выбранного выигравшими тендер фирмами метода гидроразрыва сланцевого пласта:

- заражение грунтовых вод химическими реактивами для гидроразрыва;
- разрушительные процессы в самом грунте и в почве, вплоть до сейсмической нестабильности и землетрясений;
- заражение почвы от слива отработанной воды и множества других сопутствующих технологических факторов;
- загрязнение воздуха выбросами не только углеводородов, но и 369 веществ (из них более половины токсичных), входящих в раствор, закачиваемый для Fracking-процесса (гидроразрыва);
- проседание почвы в местах гидроразрыва.

При осуществлении гидроразрыва пласта с помощью мощных насосных станций в скважину производят закачку так называемых «жидкостей разрыва» (гель, в некоторых случаях вода либо кислота). Для поддержания трещины в открытом состоянии в терригенных коллекторах используется расклинивающий агент-проппант, в карбонатных — кислота, которая разъедает стенки созданной трещины. Эти агрессивные вещества могут попадать в водоносные слои и, соответственно, загрязнять их.[16]

Главной же экологической проблемой, по мнению заместителя директора НТИЦ «Психея» Геннадия Рябцева, является возможность загрязнения водоносных пластов метаном и используемыми растворами. «Даже очищенный буровой раствор, в котором на химические добавки приходится всего 1-2%, способен отравить грунтовые воды, тем более, что из скважин поднимают только треть

используемой воды. Некоторые компоненты, которые применяют для достижения требуемой вязкости жидкости разрыва, имеют канцерогенный характер, поэтому их попадание в пласты, содержащие подземные воды, опасно. К тому же, трещины от гидроразрыва могут распространяться вверх, загрязняя грунтовые воды закачиваемой жидкостью или способствуя поступлению в них метана», - считает эксперт. По словам Г.Рябцева, уголовная ответственность за проведение гидроразрывов введена во Франции, мораторий на гидроразрыв введен в штате Нью-Йорк (США), а также – на землях Нижняя Саксония и Северный Рейн-Вестфалия (ФРГ). При этом он подчеркнул, что технология добычи сланцевого газа сопряжена с риском нанести вред экологии. В сланцевую породу закачивается огромное количество воды, необходимой для гидроразрыва, что может нанести серьезный вред окружающей среде.[16]

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Обеспечение безопасности производственных объектов нефтяной и газовой промышленности — одно из основных условий успешного функционирования и развития нефтегазовой отрасли.

Нефтегазовая промышленность относится к потенциально опасным отраслям. Одними из основных загрязнителей атмосферы являются летучие органические соединения, доля которых в выбросах достигает 20 %. Большое количество воды, используемой в технологических процессах, приводит к загрязнению сточных вод. К загрязнителям относятся также нефтяные шламы, образующиеся при строительстве нефтяных и газовых скважин, при разработке и эксплуатации месторождений; сточные воды, содержащие нефтепродукты, образующиеся при очистке резервуаров, емкостей и другого оборудования. Хранение некоторых видов отходов сопряжено с загрязнением природных водоемов, многие хранилища-накопители переполнены или требуют ревизии. К мероприятиям по модернизации производства нефтегазового комплекса относятся управление техногенными рисками; разработка оборотного водоснабжения промышленных предприятий с рециркуляцией сточных вод и с устойчивым

функционированием системы, с учетом запаздываний изменения регулируемых параметров жидкости в системе трубопроводов и т.д.

Факторы отказа элементов на объектах нефтегазового комплекса:

- разрыв трубопроводов, подающих реагенты и воду в нагнетательные скважины;
- разрыв любых соединений между блоками в технологическом оборудовании нагнетательных и эксплуатационных скважин, а также при транспортировке добытой продукции;
- серьезное нарушение герметичности или разрушение корпуса любого элемента, через который подаются жидкие, газообразные вещества и вода;
- скачки напряжения или полное отключение подачи электроэнергии в электросети;
- возгорание веществ и оборудования;
- стихийные бедствия и т.п.

Для предотвращения чрезвычайной ситуации можно использовать следующие мероприятия:

- размещать наиболее ответственные или потенциально опасные звенья технологической линии в герметических отсеках производственного здания или сооружения;
- разделять отдельные части технологического оборудования прочными несгораемыми перегородками;
- предусматривать резервное электропитание для всех звеньев технологической линии;
- использовать сейсмически устойчивые здания и сооружения;
- оперативно блокировать работу технологической линии и вспомогательного оборудования при наступлении потенциально опасных чрезвычайных ситуаций.

5.6 Правила и правовые законодательные нормы обеспечения безопасности.

5.6.1 Социальное страхование для работника

Нормативно-правовая база обеспечения безопасности жизнедеятельности населения и защиты территорий регламентирует обязанности и права государственных органов, общественных организаций, должностных лиц и всех граждан, закрепляет и регулирует устройство и назначение специальных органов управления в области защиты от ЧС, определяет ответственность всех уровней власти и граждан. Она направлена на то, чтобы каждый гражданин страны знал основные положения законодательства и был защищен им, чтобы его жизненная позиция, повседневное поведение строго соответствовали правовым предписаниям. Рассмотрим социальное страхования работников.

Лица, подлежащие обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Федеральный закон № 125 установил, что по данному виду социального страхования быть застрахованными могут:

- физические лица, работающие по трудовому договору;
- физические лица, работающие по гражданско-правовому договору, если в соответствии с указанным договором страхователь обязан уплачивать страховые взносы;
- физические лица, осужденные судом к лишению свободы и привлекаемые к труду страхователе

Право на обеспечение по социальному страхованию

Федеральный закон № 125 установил, что право на обеспечение данного вида социального страхования имеют:

- застрахованные работники;
- лица, чье право на получение возмещения вреда ранее было установлено в соответствии с законодательством СССР и РФ;
- лица в случае смерти застрахованного в результате наступления страхового

случая.

Поступления из системы социальной защиты делят на три группы:

- денежные выплаты (пенсии, пособия);
- льготы, проявляющиеся в праве на снижение налогов, получение трансфертов в натуральной форме;
- социальные услуги, потребляемые бесплатно или по ценам, не имеющим экономического значения.

Социальные гарантии выполняют различные функции:

- алиментарно-компенсационную, которая обеспечивает поддержание потребления на определенном уровне;
- защитную, которая обеспечивает сохранение условий труда и проживания;
- стимулирующую, которая стимулирует получателя на рост трудовой и деловой активности.

Благодаря принятому закону наблюдается сокращение числа несчастных случаев. Были определены цели и задачи, предусматривающие страхование работников. Например, предусматриваются необходимые меры, направленные на ликвидацию вредоносных и опасных факторов риска производства, делаются предостережения от возникновения несчастных случаев и иных случаев угрозы здоровья застрахованного работника, связанных с неправильными условиями трудового процесса.

К основным аспектам социального страхования персонала учреждения относится полное возмещение причиненного ущерба самой компанией, обязательное социальное страхование работников, а также предусмотрено добровольное страхование. Предоставлены государством гарантии для реализации застрахованным лицам своих правовых норм. Гарантируется полное восстановление здоровья застрахованного сотрудника после получения травмы или перенесенного профессионального заболевания. Обязательны выплаты

страховой компанией предусмотренных взносов. Целевое расходование средств от получения страховки контролируется.

Программы социального страхования работника рассчитаны на полный комплекс страховой защиты, что в свою очередь дает оптимальный перечень различных медицинских услуг: амбулаторно-поликлиническую, стационарную, неотложную медицинскую и стоматологическую помощь. Существуют социально-направленные программы, благодаря чему страховой программой смогут воспользоваться не только работники предприятия, но и члены их семей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе разработки асу была выбрана оптимальная схема реализации с установкой дросселя в сбросной магистрали, которая позволила уменьшить нагрузку на используемое оборудование и увеличить его срок эксплуатации. Произведен выбор современного оборудования отечественных производителей, которые в полной мере отвечает всем требованиям проведения инжект-теста.

Регулируемый электропривод управления дросселем реализованный по схеме ПЧ-АД со скалярным способ управления в полной мере удовлетворяет требованиям технологического процесса. На основании схемы имитационной модели автоматизации процесса нагнетания жидкости в скважину, реализуемой в программной среде Matlab, был реализован полный цикл процесса нагнетания, который показал, что наша система работает в автоматическом режиме и обеспечивает постоянство нагнетания жидкости в скважину, даже при изменении внутренних параметров фильтрационных свойств пластов.

Из всего выше изложенного можно сказать, что система автоматизированного управления нагнетания жидкости в скважину в полной мере отвечает всем требованиям технологии процесса проведения инжект-теста при гидродинамических исследований фильтрационных свойств пластов.

Публикации. Результаты исследований были опубликованы

В. В. Гнеушев, А.С. Черемных . Автоматизация процесса закачки жидкости в скважину при гидродинамических исследованиях//Энергетика и энергосбережение: теория и практика : сборник материалов II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику», 23-25 ноября 2016 г., Кемерово / Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ). — Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2017. — [4 с.].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. J.L. Saulsberry, P.S. Schafer, R.A. Schraufnagel A Guide to Coalbed Methane Reservoir Engineering // Gas Research Institute Report GRI-94/0397 – Chicago, Illinois, 1996. – P. 342.
2. Останин В.А., Пешков В.Е., Крохалев И.В. Обоснование рационального комплекса гидродинамических исследований водоносных горизонтов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – No 1. – С. 129–132
3. Исследование динамических нагрузок электропривода подъема каротажной лебедки / И.Г. Однокопылов, В.В. Гнеушев, А.С. Филиппов // Фундаментальные исследования: научный журнал. — 2015. — № 2, ч. 7. — [С. 1392-1396].
4. Load balancing of two-motor asynchronous electric drive [Electronic resources] / I. G. Odnokopylov [et al.] // Control and Communications (SIBCON) : International Siberian Conference on Russia, Omsk, May 21-23, 2015 [proceedings]. — [S. l.]: IEEE, 2015. — [4 p.].
5. <http://www.us800.ru/>
6. https://www.karcher.ru/ru/gde_kupit_karcher/kerkher-centry.html
7. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен 01. 07. 2014.
8. Видянев И.Г., Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учеб. – метод. пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
9. Крепша Н.В., Свиридов Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. – метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 145 с.
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

11. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
13. Федосова В.Д. расчет искусственного освещения: Методич. указания. – Томск: Изд – во ТПУ, 1991. – 23 с.
14. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
15. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.
16. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
17. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
18. Правила электроустановок ПУЭ.
19. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. / М.: Высшая школа, 1991. – 128с.
20. Как утилизировать бытовую технику и электронику – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ecorb.ru/70>
21. ГОСТ 12.1.010 – 76. Основы противопожарной защиты предприятий.
22. А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 213 с.
23. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов - [Электронный ресурс] – режим доступа: http://portal.tpu.ru/SHARED/u/UDUT/Student/Tab1/Freq_conv_IM_1.pdf
24. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов — 3-е изд., испр. — М. : 2007. — 576 с.
25. <http://www.schneider-electric.ru/ru/product-range/2253-altivar-12---atv-12/>

26. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/382833>
27. Черноштан В.И. Минимальный допустимый перепад давления на регулирующем органе трубопроводной гидросистемы / В.И. Черноштан, Э.Е. Благоев // -2011.-№4. - С. 36-40
28. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод /Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. –2-е изд., перераб. и доп. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. –648 с.
29. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М.: ИК «Ягорба»-Биоинформсервис, 1998.
30. <http://www.siemens-ru.com/>
31. <http://www.vodoprovod.ru/upload/insrukci/kit02.pdf>
32. https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo
33. <https://ru.scribd.com/document/324016027/Automotive-Control-Systems>
34. <http://www.szter.ru/>

Приложение А

Таблица 1 - Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнитель работ	Раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	3	—												
		Инженер	3	—												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	12	—												
3	Изучение запорно-регулируемой арматуры, системы управления электроприводом дросселя.	Инженер	14		—											
4	Информационный и литературный обзор	Инженер	15			—										
5	Расчет параметров схемы замещения, характеристик	Инженер	7				—									
6	Выбор оборудования	Инженер	6					—								
7	Имитационное моделирование АД, ПЧ-АД	Инженер	14					—								
8	Имитационное моделирование АСУ нагнетания жидкости в скважину	Инженер	20						—	—						
9	Формирование текущих результатов в статью	Инженер	5								—					
10	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	7								—					
		Научный руководитель	7								—					
11	Составление пояснительной записки	Инженер	18								—	—				
12	Проверка магистерской диссертации	Инженер	3											—		
		Научный руководитель	3											—		
13	Исправление ошибок	Инженер	3											—		
14	Подготовка к защите магистерской диссертации	Инженер	5												—	

Приложение В

Раздел (6)

Automated throttling control system at high pressure differential

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Черемных Анастасия Сергеевна		

Консультант кафедры ЭПЭО :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Краснов И.Ю.	К.Т.Н		

Консультант – лингвист кафедры иностраннных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Пташкин А.С.	к.ф.Н		

Introduction

Exploration of oil and gas fields is based on advanced scientific developments supported by detailed study of properties of coal formations, gases and fluids contained in them, and also by study of processes taking place in formations during their operation. Exploration is conducted throughout the average life of well.

The data obtained by means of hydrodynamic research provide an opportunity to optimize the technological process, contribute to maximum gas release and implement selection of rational use of technical equipment at all phases of well operation.

Fluid is injected in the well at high pressure recording its amount and pressure at the well bottom and at the wellhead. It is possible to evaluate the properties of formations and the well in general on the basis of primary data with their subsequent processing during survey conducting. Qualitative definition and complexity of evaluation of filtration properties of formations depends on survey technology compliance.

The main technological parameter which requires consistency in conducting surveys is the flow rate of fluid injected into the well. Currently the existing methods of fluid injection into the well during exploration involve an operator who shall maintain a certain flow rate of the injected fluid throughout the process of injection. Certain schemes have been developed with introduction of an adjustable electric drive, which allows automating the injection process with high accuracy to automate the process of injection.

The objective is to create a system of automatic control of the process of discharge at hydrodynamic research, which shall maintain the required flow rate at system pressure change for a long time by means of a valve equipped with an electric drive.

1 Technological process

1.1 Review of methods of hydrodynamic research of wells

Hydrodynamic research of wells (dynamic wells testing) is a set of different actions aimed at measuring certain parameters and sampling formation fluids (oil, water, gas and gas condensate) in running or inactive wells and their recording.

There are different ways of conducting research at stable and unstable filtering modes. The first one is the analysis of an indicator diagram, while the second one includes such analytical methods:

- water pressure recovery curve;
- pressure decrease curve;
- level restoring;
- inflow diagram;
- well interference testing;
- hydrodynamic research by means of injection with subsequent pressure

recovery.

Drill stem testing (DST)

Drill stem testing is a technological complex of downhole operations associated with drilling tool round trip, pressure drawdown, multicycle inducing influx of formation fluid and taking downhole samples with registration of diagrams of changes of pressure and temperature at well bottom and in pipes using self-contained gauges.

Each cycle consists of an open period with registration of the inflow curve (IC) and a closed period with registration of pressure recovery curve (PRC). The duration of periods is selected based on the problem which shall be solved. In order to determine the initial formation pressure PRC is used after a short-term inflow (first cycle); for taking representative samples of formation fluid and evaluation of actual productivity a bigger duration inflow is required. Long PRC is also necessary for determination of

hydraulic conductivity of a remote formation zone, potential productivity and skin factor (second cycle).

DST is used for formations testing in an open hole during drilling, as well as in cased and perforated wells where the use of standard technologies (PRC and IPR curve) is uninformative:

- in low and medium flow production wells;
- if there is perforation of two stratigraphically different formations;
- if a well is operated in the mode of unstable flowing.

The advantages of DST consist in the possibility of creating small below-packer volume, which reduces the effect of elastic response of the wellbore and, thereby, obtaining the necessary filter conditions in the formation at a substantially shorter duration of research.

However, the time of residence of a tool on the well bottom is limited by technological reasons (up to several hours). Therefore, the radius of formation survey at DST is small and the obtained formation parameters only approximately characterize the well potential productivity in long-term operation.

Pressure recovery curve (PRC)

The pressure recovery curve (PRC) approach is used for wells flowing with high and sustained flow rates.

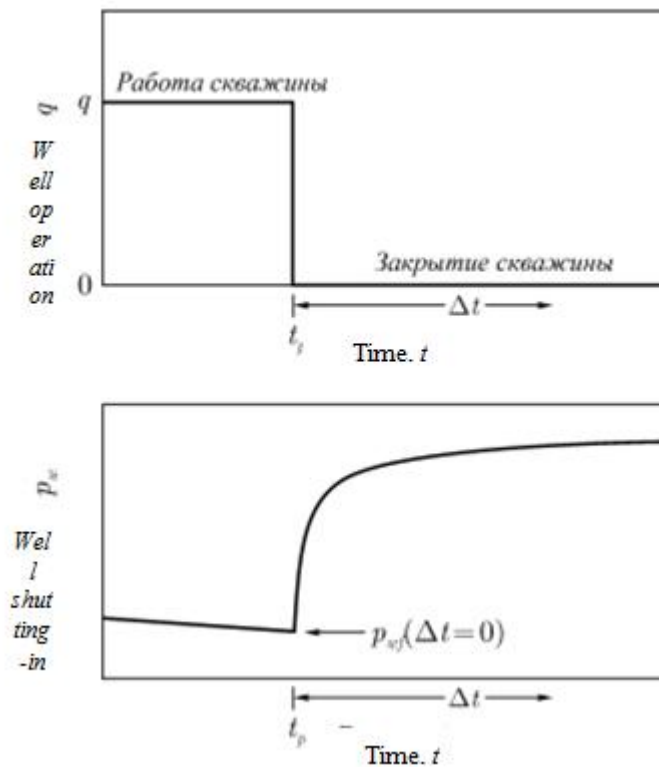


Figure B.1 – Idealized flow rate and pressure history at well survey performing using the method of pressure recovery

The well survey using the PRC approach consists of recording the pressure in inactive wells (with stopped drainage), which were inactivated by sealing the wellhead after a short-term operation with a known flow rate (Horner test) or after pressure transient testing (tangent method).

To determine the parameters of a formation zone located at a long distance from the well, the duration of PRC registration shall be sufficient to eliminate the influence of “afterflow” (continued flow of fluid to the well bore), after which the pressure increase occurs only due to fluid compression in the reservoir and its filtering from the distant formation zone to a nearer one (the end PRC section).

The duration of survey of operating wells using the PRC approach can vary from several tens of hours to several weeks; due to long-term duration the survey radius can cover larger formation areas. However, at long duration of survey the end PRC sections can be distorted by the influence of neighboring wells on distribution of pressure in the distant formation area.

Level build-up curve (LBC)

The level build-up curve (LBC) approach is used for wells with low formation pressure (low static levels), either nonflowing (without overflow at the wellhead) or unstable flowing wells.

Stimulation of such wells is carried out by lowering the fluid level in the wellbore using the method of compression or swabbing.

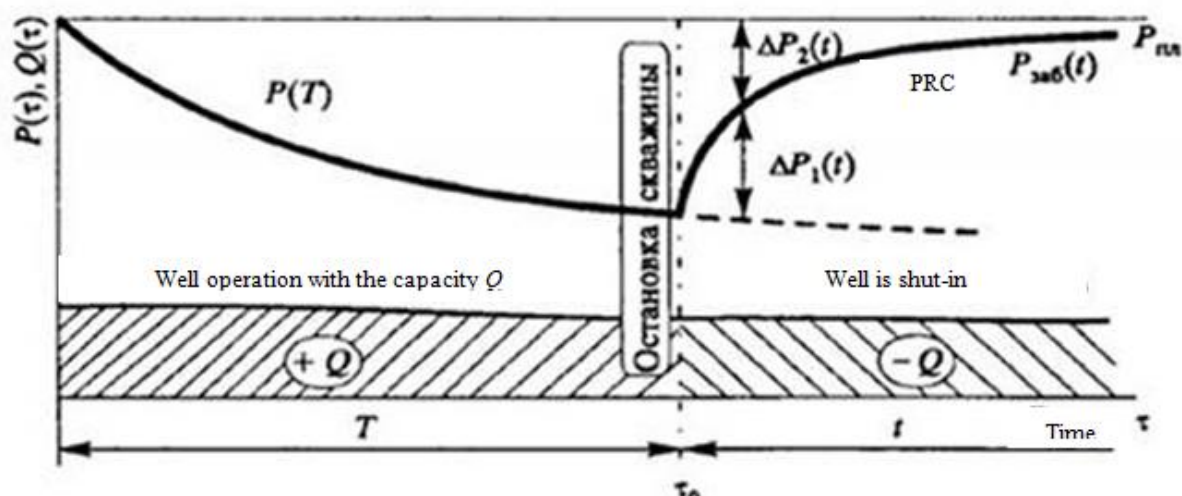


Figure B.2 – Inverse dynamics of filling the well cavity with water reflects the aquifer pressure

LBC shall be made up for inactive wells (with stopped drainage) with open wellheads. The well influx continues to come out from the formation, fading over time; the influx is accompanied by rise of the wellbore fluid level. Over time the depth of dynamic fluid level (GFI – gas-fluid interface) and OWI (oil-water interface) shall be recorded. Rise of fluid level and growth of fluid column is accompanied by pressure increase. The pressure change curve in this case is called the inflow curve (IC). After complete cessation of influx and pressure recovery the static level and the formation pressure shall be measured.

The duration of registration of LBC or IC depends on the well productivity, the fluid density, the sectional area of the fluid flow rising in the well bore and the angle of inclination of the wellbore.

LBC processing allows calculating formation pressure, fluid rate and productivity factor, as well as water production in case of registration of GFI depth. Upon joint registration of the depth of fluid level and pressure with a depth gauge, an estimate of the average fluid density can be obtained.

Attempts to process LBC based on non-stationary models “considering influx” for the purpose of obtaining deliverability of a distant formation zone and skin factor are usually uninformative due to a very significant compressibility of wellbore with an open wellhead or a gas cap. In this situation, the influence of “afterflow” is significant along the LBC, and the techniques of “afterflow measurement” cannot often give a clear IC interpretation. To eliminate the influence of “afterflow”, test interval isolation with packers is used (isolation from the wellbore, using DST (please see above)).

Inflow performance relationship (IPR) curve

The method of measurement of an inflow performance relationship (IPR) curve is used to determine the optimal method of well operating, to study the effects of well operation modes on the capacity value. Inflow performance relationship curves shall be made up based on the pressure transient testing data and shall represent the dependence of the capacity from draw-down or bottomhole pressure.

The pressure transient testing method can be used for wells with high sustainable capacity. It involves performing measurements at 4-5 steady states. Well production is usually carried out on fittings with different diameters. In each mode bottom-hole pressure, flow rates of liquid and gas phases of formation fluid, water conductivity, etc. are measured.

The main defined parameters are formation pressure and productivity factor. For a more complete assessment of formation filtration characteristics, its combination with the PRC approach in inactive well is required (please see above).

Well interference testing

Well interference testing is conducted in order to study the formation parameters (piezo conductivity, water conductivity), pinch-out lines, tectonic deformations, etc. This method consists in observing the changes in level or pressure in observation wells due to changes in drainage in active neighboring wells. Based on records of time of stop

or change in drainage of fluid in an active well and time of start of pressure change in an observation well and considering the time of run of the pressure wave from one well to another, one can judge about the formation properties in interwell space.

If we see that the well interference testing no response to drainage changing in a neighboring well is observed, it indicates the absence of hydrodynamic connection between the wells due to presence of some impermeable barrier (tectonic deformation, formation thinning). Thus, the well interference testing allows identifying such structural features of formation which are not always possible to notice in the process of exploration and deposit survey.

Hydrodynamic research by means of injection with subsequent pressure recovery

Hydrodynamic research is the preferred method of obtaining the necessary information about filtration characteristics of coal formations.

The data obtained in hydrodynamic research allow selecting the standard mode of technological equipment of a well for its operation and exploration. These data are also used for hydrodynamic modeling as source data.

An optimum method of hydrodynamic research, which will allow obtaining correct values of filtration characteristics of productive horizons in a relatively short time, shall be selected for exploratory wells. An effective method of research of filtration characteristics of coal formations is an inject-test, performed before stimulating the fluid influx from coal formations, where the fracture channels system is filled with formation fluid. The inject-test is implemented by fluid injecting into the formation during a specified time period, further well closure and recording the curve of the well bottom pressure change. Foreign experts note that during these tests the filtration flow in the fracture system is single-phased, and interpretation of results of such studies is greatly simplified compared with technologies of hydrodynamic research with multiphase flow, including relative permeabilities. Schematic layout of underground equipment used for inject-test conducting is presented in figure 3.

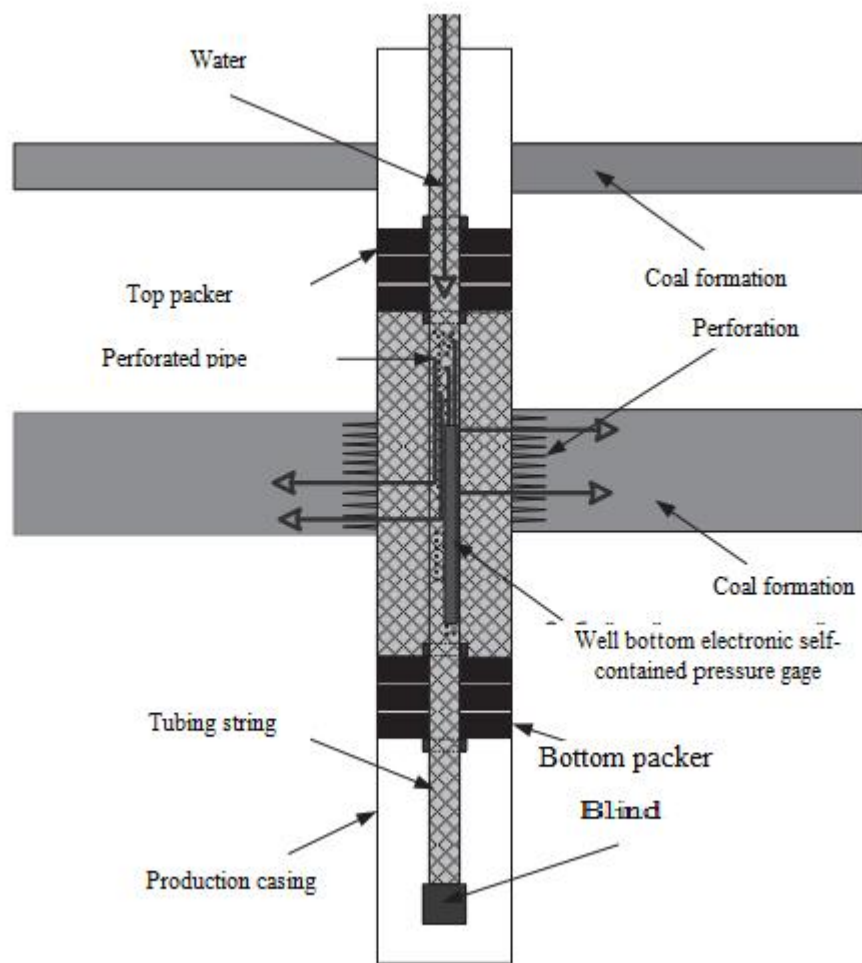


Figure B.3 – Schematic layout of underground equipment used for inject-test conducting

1.1 Methods implementation scheme and their comparative analysis

Currently existing methods of inject-test conducting suggest involvement of an operator, who shall maintain the necessary flow and pressure in the system over time using a valve. Solutions of such tasks were not considered. Special schemes using mechatronic nodes, which allow automating the injection process, were developed in order to automate the injection process during hydrodynamic researches. The use of a controlled high pressure pump is one of the simplest solutions for automation of hydrodynamic research of overbalanced wells. The automation scheme is shown in figure 4.

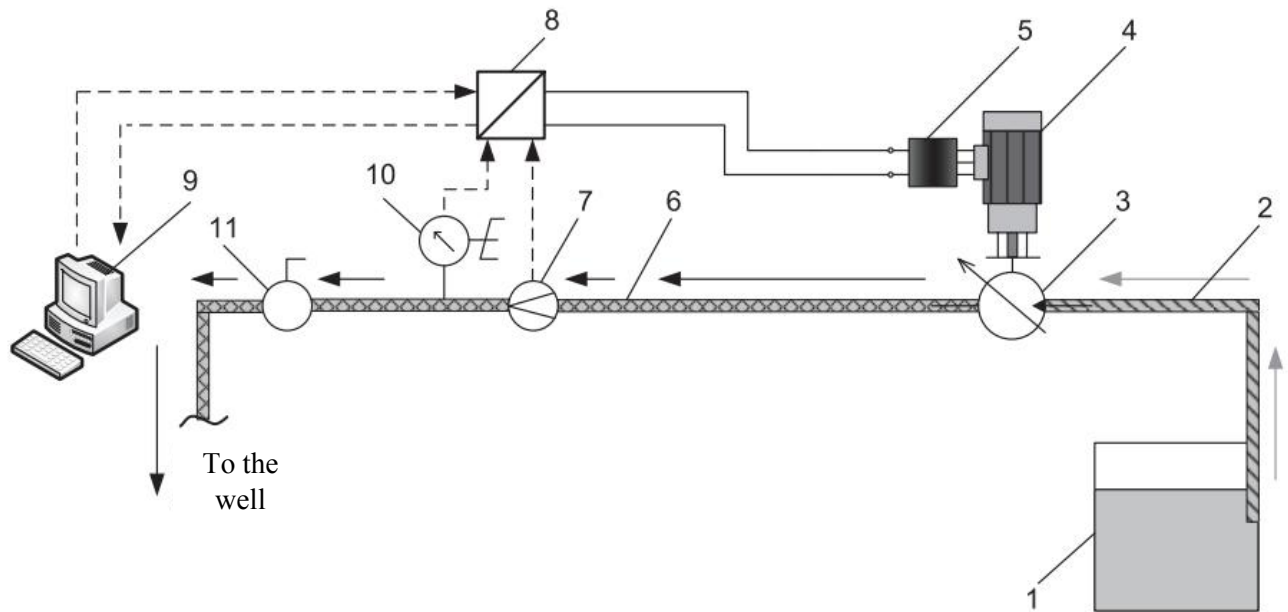


Figure B.4 – Injection process automation scheme for hydrodynamic researches of overbalanced wells with the use of a controlled high pressure pump

From the tank 1 through the low pressure pipeline 2 water is supplied to the controlled high-pressure pump 3 driven with the induction motor (IM) 4, the speed of which is regulated with the frequency converter 5. Through the high pressure pipeline 6 the fluid is directed through the flow meter 7 into the well. The data obtained from the flow meter 7 are recorded and processed with the programmable logic controller 8, in which a signal for the frequency converter 5 is formed. For visual display of information in real time and data recording in a specific format the personal computer 9 is used. After reaching the required level of pressure in the well (shown on the electronic pressure gage 10), the discharge pipeline can be closed with the ball valve 11. Now the injection process is completed.

This scheme is simple and consistent, but it has one significant disadvantage. Currently existing general industrial pumps are not able to provide small flow rate at high pressure. The flow rate shall be recorded with the flow meter 7 and shall be equal to 50...300 l/h at a pressure of more than 10 MPa. Designing of a controlled electric motor for high pressure pump is a time consuming and unnecessary task.

Figure 5 shows a diagram of automation of well hydrodynamic research using the injection method and a straight-way regulating valve.

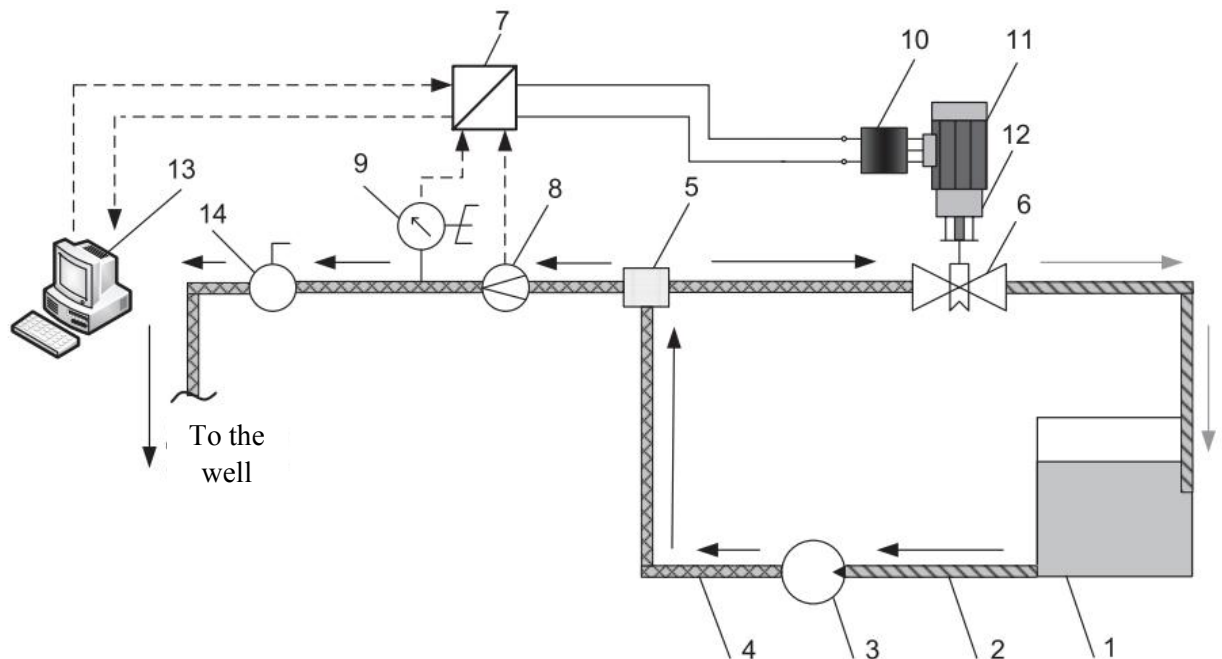


Figure B.5 – Injection process automation scheme for hydrodynamic researches of wells (inject-test) with the use of a straight-way regulating valve

This scheme works as follows.

The main difference from the previous variant is separation of the injected fluid flow by means of the tee 5 installed on the main and discharge line 4 and use of the non-controlled high pressure pump 3. The regulating valve 6 is installed on the discharge line, and it enables discharge of excess fluid through the discharge line to the tank 1.

This method allows maintaining the flow rate of fluid coming into the well on a certain level. The regulating valve 6 regulates discharge of excess fluid injected into the well. The volume of fluid injected into the borehole is measured with the flowmeter 8 installed on the high pressure line. Signals from flow and pressure sensors 9 are input to the programmable logic controller 7, which generates a control signal for the frequency converter 10, which, in turn, controls the induction motor 11 controlling the valve stem 6. For visualization of the injection process the personal computer 13 is used. After reaching the necessary well pressure (measured with the electronic pressure gauge 9)

the discharge line can be closed with the ball valve 14. The main disadvantage of this scheme is low system efficiency, since most of the fluid supplied by the pump 3 is discharged back into the tank 1. The flow meter 8 shall provide high accuracy in order to measure a small flow rate (50...300 l/h) at high pressure (>10 MPa). In this case the scheme allows performing the injection process with high accuracy, and the necessary electrical and hydraulic equipment is readily available.

It is possible to modify the latter by transferring the flow meter to the discharge line in order to exclude the expensive flow meter installed on the high pressure line from the scheme. The modified scheme is shown in figure 6.

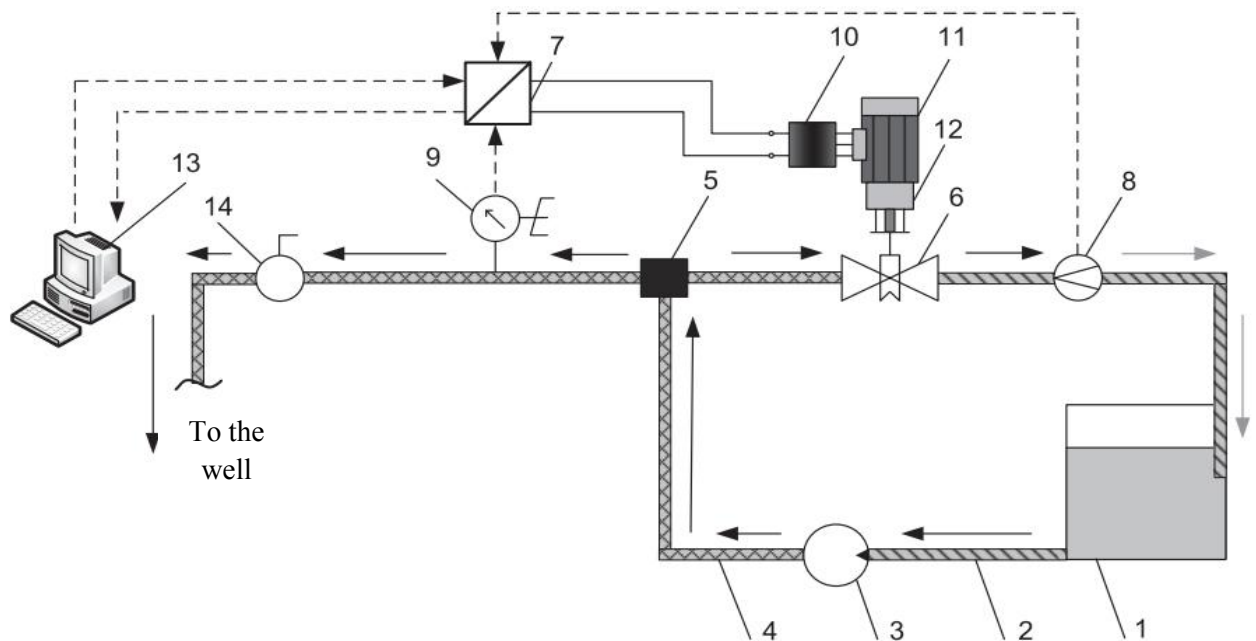


Figure B.6 – Injection process automation scheme for hydrodynamic researches of wells (inject-test) with the use of a straight-way regulating valve

This scheme gives the opportunity to use a cheaper flow meter 8, which will measure higher flow rates with less pressure. But there is another disadvantage: the information on actual flow rate of fluid coming into the well will be indirect. Such flow measurement will reduce the accuracy of injection process.

Figure 7 shows the scheme of injection process automation for hydrodynamic researches of wells by means of injection with the use of a three-way valve.

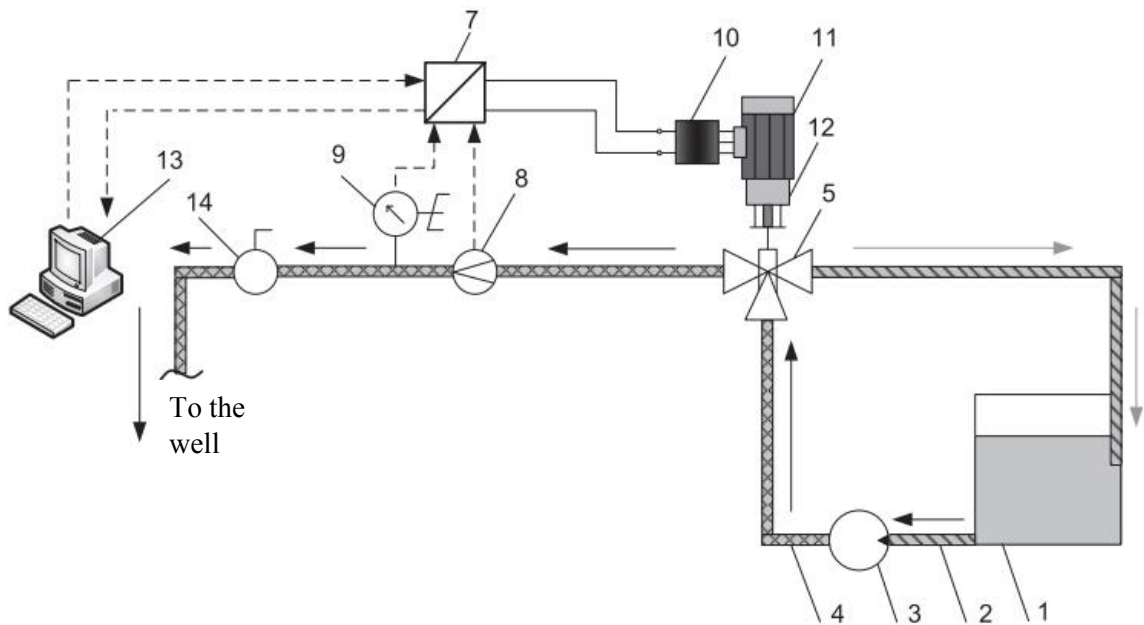


Figure B.7 – Injection process automation scheme for hydrodynamic researches of wells (inject-test) with the use of a three-way valve

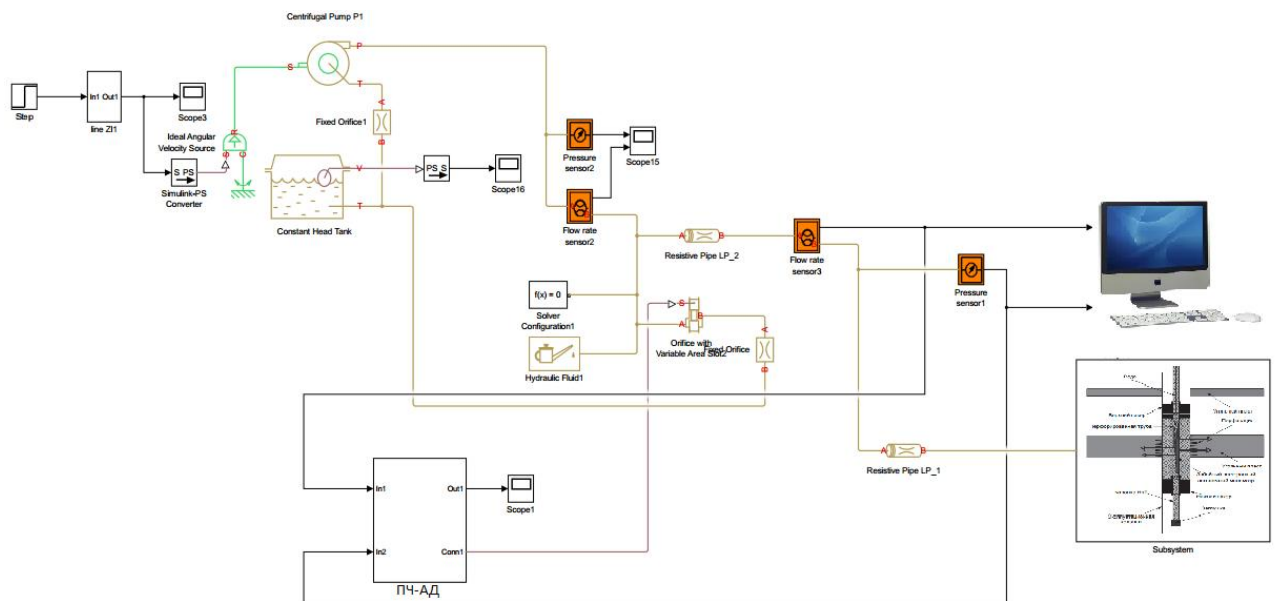
The three-way valve 5 (fig. 5) consists of the tee 5 and the regulating valve 6 (fig. 6) combined in a single device. It regulates the fluid flow separation into working and discharge ones. This mechanical unit makes the injection process easier, but it is expensive and also inferior to the schemes shown on fig. 5 and 6.

1.3 Justification and selection of the method of regulation of fluid injection into the well

After analyzing different variants of implementation of schemes of fluid injection into the well, it can be concluded that the line pressure generated by the high pressure pump will be less at implementation of the variant with the regulating device installed on the discharge line.

This method of implementation certainly reduces the load on the pump and the hydraulic system, which greatly increases the service life of the equipment.

The method of fluid injection in the studied formation with constant monitoring of well bottom and wellhead pressure has proven itself as low-value and easy to implement.



- Pressure sensor – The Hydraulic Pressure Sensor block represents an ideal hydraulic pressure sensor, that is, a device that converts hydraulic pressure differential measured between two points into a control signal proportional to this pressure. The sensor is ideal because it does not account for inertia, friction, delays, pressure loss, and so on.
- Flow rate sensor – The Hydraulic Flow Rate Sensor block represents an ideal flow meter, that is, a device that converts volumetric flow rate through a hydraulic line into a control signal proportional to this flow rate.
- PS S - The PS-Simulink Converter block converts a physical signal into a Simulink output signal. Use this block to connect outputs of a Physical Network diagram to Simulink scopes or other Simulink blocks.
- S PS - The Simulink-PS Converter block converts the input Simulink signal into a physical signal. Use this block to connect Simulink sources or other Simulink blocks to the inputs of a Physical Network diagram.
- Constant Head Tank – The Constant Head Tank block represents a pressurized hydraulic reservoir, in which fluid is stored under a specified pressure. The size of the tank is assumed to be large enough to neglect the pressurization and fluid level change due to fluid volume. The block accounts for the fluid level elevation with respect to the tank bottom, as well as for pressure loss in the connecting pipe that can be caused by a filter, fittings, or some other local resistance.
- Hydraulic Fluid – The Hydraulic Fluid block lets you specify the type of hydraulic fluid used in a loop of hydraulic blocks. It provides the hydraulic fluid properties, such as kinematic viscosity, density, and bulk modulus, for all the hydraulic blocks in the loop. These fluid properties are assumed to be constant during simulation time. The density is determined by the type of fluid, while kinematic viscosity additionally requires that the temperature is specified.
- Orifice with Variable Area Slot – The block models a variable orifice created by a cylindrical sharp-edged spool and a rectangular slot in a sleeve.

- Resistive Pipe LP – The Resistive Pipe LP block models hydraulic pipelines with circular and noncircular cross sections and accounts for resistive property only. In other words, the block is developed with the basic assumption of the steady state fluid momentum conditions

CONCLUSION

We should point out that simulation models of fluid injection into the well were developed in the Matlab environment in view of the data mentioned above. For creation of simulation models SimHydraulics and SimPowerSytems libraries were used, allowing to solve problems of kinematics, statics and dynamics of various hydraulic systems and to develop a model of a controlled electric drive.

After analyzing flow rate and pressure simulation results for different variants of schemes of fluid injection into the well, we can say that the line pressure generated with a high-pressure pump is more than 2 times less than the pressure generated upon implementation of the variant with the regulating device installed on the discharge line.

REFERENCES

1. Saulsberry J.L, Schafer P.S., Schraufnagel R.A. A Guide to Coalbed Methane Reservoir Engineering // Gas Research Institute Report GRI-94/0397. Chicago, Illinois, 1996. – 342 p.
2. Odnikopylov I.G. Load balancing of two-motor asynchronous electric drive // Control and Communications (SIBCON) : International Siberian Conference on Russia, Omsk, May 21-23, 2015. - P. 4.
3. Mathworks [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo(дата обращения: 25.05.2017).
4. Automotive Control Systems [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/324016027/Automotive-Control-Systems>(дата обращения: 23.05.2017).