



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки - 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях

УДК 004.42:622.323.012:658.012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Халитов Ильяс Минхамитович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Александрович	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения»

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Елизавета Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2019 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки - 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Суходоев М.С.
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Халитов Ильяс Минхамитович

Тема работы:

Разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3487/с от 06.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>Описание объекта исследования. В данное описание включено производительность, режим работы, описание вида используемого сырья, требование к разрабатываемой модели. В работу включен менеджмент, ресурсоэффективность. Также приведено влияние данной разработки на окружающую среду</i>	Цель работы – разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях Результатом работы является разработанная система диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях, которая может быть применима на реальном объекте. Объектом разработки является система управления дебитом кустового месторождения с использованием цифровых двойников. Применение результатов данной работы позволит улучшить –нефте и –газодобычу на месторождениях. Прогнозом дальнейшего развития является улучшение и расширение разработанной системы.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Обзор источников литературы по следующим тематикам: – история развития цифровых двойников; – математическое моделирование; – реализованные проекты на основе цифровых двойников. - Аппаратные и программные средства, а также разработка концепции управления; - Моделирование погружного насоса в программном обеспечении MATLAB с дальнейшим программированием; - Анализ полученных результатов.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Исаева Елизавета Сергеевна, старший преподаватель ООД ШБИП
Раздел на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна, старший преподаватель ОИЯ ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение - Обзор источников литературы по тематике исследования - Определение цифрового двойника - Определение математической модели - Основные этапы математического моделирования - Классификация моделей - Реализованные проекты с помощью цифровых двойников	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Халитов И. М.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки - 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования – магистратура
Период выполнения – весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
20.05.19	Социальная ответственность	20
28.05.19	Разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти	60

Составил:

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич	-		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Халитов Ильяс Минхамитович

Школа	ИШИТР	Отделение	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР

Разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является ПО. Основное рабочее оборудование – ПК. Рабочее место оператора ПЭВМ представляет из себя помещение закрытого типа, в котором установлен ПК. В помещении предусмотрена вентиляция, а также естественный и искусственный источники освещения
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 2.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ГОСТ 12.2.032-78; ПП РФ 23.05.2000 №399; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 от 30 мая 2003 г.; СанПиН 2.2.1/2.1.1; СанПин 2.2.4. 3359-16; ГОСТ 12.2.033-78.
3. Производственная безопасность: 3.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 3.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: - повышенный уровень магнитных излучений; - недостаточное освещение рабочей зоны; - неблагоприятный климат; - умственные перегрузки. Опасные факторы: - повышенная температура поверхностей, оборудования и материалов; - вероятность возникновения пожара; - незащищенные электрические провода.
4. Экологическая безопасность:	- Возможность утилизации отходов; - решение проблемы.
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятной ЧС при разработке и эксплуатации ПО является пожар на рабочем месте.

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

Задание выдал консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Елизавета Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Халитов Ильяс Минхамитович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8TM71	Халитов Ильяс Минхамитович

Школа	ИШИТР	Отделение	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР

Разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Анализ финансовой эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений	
2. Матрица SWOT	
3. График проведения и бюджет НТИ	
4. Расчёт денежного потока	
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Халитов Ильяс Минхамитович		

Термины и определения

Далее приведены термины и их обозначения, используемые в работе.

цифровой двойник: – программный аналог физического устройства, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействий помех и окружающей среды.

математическая модель: – Система, которая позволяет предсказать поведение реального объекта.

programmable logic controller: – Специальная разновидность электронной вычислительной машины. Чаще всего ПЛК используют для автоматизации технологических процессов.

программное обеспечение: – Программа или множество программ, используемых для управления компьютером (ISO/IEC 26514:2008).

supervisory control and data acquisition: – (диспетчерское управление и сбор данных) - программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

оптимизация: – Процесс максимизации выгодных характеристик, соотношений (например, оптимизация производственных процессов и производства).

Список используемых сокращений

В работе используется следующие сокращения:

PLC - programmable logic controller (программируемый логический контроллер);

ПО - программное обеспечение;

ПЭВМ - персональная электронно-вычислительная машина;

SCADA - supervisory control and data acquisition (системы автоматического контроля и сбора информации).

Реферат

Пояснительная записка содержит 142 страниц машинописного текста, 32 таблицу, 57 рисунков, 34 использованных источников, 1 приложение.

Актуальность данной работы определяется существующим спросом на рынке систем, позволяющим близко описывать поведение моделируемой системы, что позволяет предварительно её настроить и выявить потенциальные ошибки проектирования. Особенно большим спросом данный продукт пользуется у компаний, которые занимаются добычей сырья.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях, которая позволит избежать затраты на дорогостоящее оборудование и настроить систему на должную работоспособность.

Также в работе приведены разделы по социальной ответственности и менеджменту, ресурсоэффективности, характерные для рассматриваемой в ВКР модели.

Объектом данной работы является создание комплекса для осуществления математического моделирования.

Предметом данной работы являются способы осуществления математического моделирования с использованием средств автоматизации Siemens, а также программного пакета MATLAB.

Практическая значимость настоящей работы состоит в возможности дальнейшего внедрения полученных средств математического моделирования в существующие проекты –газо и –нефтедобычи.

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА, MATLAB, TIAPORTAL, ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОДДЕРЖАНИЕ РАСХОДА, SCADA-СИСТЕМЫ, OPC-SERVER, PID-РЕГУЛЯТОР.

Оглавление

Введение	13
1 Обзор источников литературы по тематике исследования.....	15
1.1 Определение цифрового двойника	15
1.2 Определение математической модели	18
1.3 Основные этапы математического моделирования.....	18
1.4 Классификация моделей	19
1.5 Реализованные проекты с помощью цифровых двойников.....	20
2 Техническое задание	29
2.1 Полное название	29
2.2 Краткая характеристика области применения	29
2.3 Основные задачи и цели создания АСУ ТП	29
2.4 Назначение кустовой площадки	29
2.5 Требования к техническому обеспечению.....	30
2.5.1 Требования к метрологическому обеспечению	31
2.5.2 Требования к математическому обеспечению.....	32
2.5.3 Требования к программной документации	32
2.6 Разработка системы телесигнализации и управления кустовой площадки	32
2.6.1 Значение кустовых площадок.....	32
2.6.2 Сооружение кустовой площадки.....	33
3 Моделирование системы в программном обеспечении MATLAB.....	34
3.1 Моделирование асинхронного погружного электродвигателя.....	34
3.2 Выводы по моделированию системы в программном обеспечении MATLAB.....	46
3.3 Моделирование процесса перекачки.....	46
3.4 Настройка OPC в MATLAB	51
3.5 Выводы по моделированию системы в MATLAB.....	52
3.6 Настройка OPC сервера «MasterOPC»	54
4. Программирование в среде TIA Portal	58
4.1 Запуск системы.....	61
5 Аппаратные и программные средства.....	66
5.1 Промышленный логический контроллер.....	66
5.1.1 Состав S7-1500	67
	10

5.1.2	Особенности S7-1500	68
5.1.3	Защита информации	69
5.2	Технология OPC	69
5.3	Программный пакет MATLAB	72
5.4	Среда разработки SIEMENS TIA PORTAL	73
5.5	Выводы по 5 главе	74
6.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	76
6.1	Предпроектный анализ	76
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	76
6.1.2	Анализ конкурентных решений	77
6.1.3	SWOT-анализ	80
6.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	82
6.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	84
6.1.6	Инициация проекта	84
6.1.7	Цели и результаты проекта	84
6.1.8	Ограничения и допущения проекта	85
6.2	Планирование управления научно-техническим проектом	86
6.2.2	Иерархическая структура работ проекта	86
6.2.3	План проекта	87
6.2.4	Бюджет научного исследования	88
6.2.5	Основная заработная плата	90
6.2.6	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	92
6.2.7	Отчисления на социальные нужды	93
6.2.8	Накладные расходы	93
6.2.9	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта. .	94
6.3	Организационная структура проекта	95
6.3.1	План управления коммуникациями проекта	95
6.3.2	Реестр рисков проекта	96
6.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	97
6.4.1	Оценка абсолютной эффективности исследования	97
6.4.2	Чистая текущая стоимость (NPV)	97

6.4.3	Оценка сравнительной эффективности исследования	99
6.4.4	Дисконтированный срок окупаемости	101
6.4.5	Внутренняя ставка доходности (IRR)	102
6.4.6	Индекс доходности (рентабельности) инвестиций	104
7	Социальная ответственность	105
7.1	Введение	105
7.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	105
7.2.1	Производственная безопасность	107
7.2.2	Производственный шум	108
7.2.3	Повышенный уровень вибрации	109
7.2.4	Термические опасности на рабочем месте.....	109
7.2.5	Поражение электрическим током.....	110
7.2.6	Отклонение показателей микроклимата рабочей зоны.....	111
7.2.7	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	112
7.2.8	Повышенный уровень электромагнитных излучений на рабочем месте	112
7.2.9	Умственные перегрузки	114
7.2.10	Экологическая безопасность	115
7.2.11	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	117
7.3	Выводы по разделу.....	119
	Заключение	121
	Список использованной литературы.....	123
	Приложение А	127

Введение

Данная работа посвящена созданию полноценного набора инструментов для осуществления моделирования. В ходе исследования была разработана пошаговая инструкция по осуществлению связи между контроллером Siemens S7-1500 и программным пакетом MATLAB. Также для в процессе работы была построена математическая модель погружного насоса на основе которой осуществляется моделирование. Для более удобного управления системой был написан графический интерфейс управления в программном пакете WinCC Professional.

Самым энергозатратным процессом является реализация готового продукта, построенного с помощью компьютерного моделирования. Это связано с аспектом неточности модели, которая не может учесть всех характеристик итоговой системы.

Так как математическое моделирование только набирает обороты, реализацией таких проектов могли заниматься лишь крупные компании, которые могли закупать оборудование для испытаний, что не является рентабельным делом.

Актуальность данной работы определяется существующим спросом на рынке систем, позволяющим близко описывать поведение моделируемой системы, что позволяет предварительно её настроить и выявить потенциальные ошибки проектирования. Особенно большим спросом данный продукт пользуется у компаний, которые занимаются добычей сырья.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях, которая позволяет избежать затраты на дорогостоящее оборудование и настроить систему на должную работоспособность.

Для достижения данной цели в ходе исследования решаются следующие задачи:

1. литературных обзор источников по тематике программирования математических моделей;
2. анализ существующих решений по осуществлению связи между контроллером и программным пакетом MATLAB;
3. реализация логики управления в программном пакете TiaPortal;
4. построение математической модели в программном пакете Matlab;
5. создание графического интерфейса пользователя.

Также в работе приведены разделы по социальной ответственности и менеджменту, ресурсоэффективности, характерные для рассматриваемой в ВКР модели.

Объектом данной работы является создание комплекса для осуществления математического моделирования.

Предметом данной работы являются способы осуществления математического моделирования с использованием средств автоматизации Siemens, а также программного пакета MATLAB.

Практическая значимость настоящей работы состоит в возможности дальнейшего внедрения полученных средств математического моделирования в существующие проекты – газо и – нефтедобычи.

1 Обзор источников литературы по тематике исследования

1.1 Определение цифрового двойника

Цифровой Двойник (Digital Twin) – это виртуальный, программный аналог физического изделия, группы изделий или процесса, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействий помех и окружающей среды, а также его работа заключается в сборе и повторном использовании цифровой информации. При этом, двойник не ограничивается сбором данных, полученных на стадии проектирование и сборки готового изделия. Он продолжает обрабатывать данные в течении всего рабочего процесса модели [1].

Так как цифровой двойник основывается на реальную модель, значит все показания двойник должен брать с реальных датчиков. Следовательно брав показания с датчиков, можно задать входные возмущения на двойник. Учитывая это можно проводить сравнение показаний реальных датчиков с датчиками цифрового двойника и основываясь на данных показаниях можно делать выводы о разногласиях, и о причинах их возникновения.

Цифровой двойник содержит [1]:

- цифровую модель;
- характеристики материала;
- руководства и данные по проведению технического обслуживания продукта;
- информацию о влиянии внешних факторов.

Наиболее эффективным применение цифровых двойников является для продукции со следующими критериями:

- сопровождение продукции квалифицированным специализированным сервисом (контроль состояния, мониторинг, техническое сопровождение);
- длительный жизненный цикл изделия (от 5 до 70 лет);
- большое кол-во экземпляров установленного оборудования;

- широкий диапазон и многообразие условий эксплуатации;
- труднодоступность изделия для проведения обслуживания.

Это весьма обширный список критериев, под которые подпадает продукция из различных отраслей промышленности, таких как Энергетика (атомная, нефтегазовая промышленность, машиностроение); Авиационные двигатели и системы; Сложное промышленное оборудование (насосы, приводы, пр.); Железнодорожные и автомобильные транспортные системы; Медицинское оборудование [1].

Другая интерпретация цифрового двойника это - виртуальная модель, которая на микро- и макроуровне либо описывает реально существующий объект (выступая как дубль готового конкретного изделия), либо служит прототипом будущего объекта. При этом любая информация, которая может быть получена при тестировании физического объекта, должна быть получена и на базе тестирования его цифрового двойника.

Сейчас распространена классификация, включающая три типа двойников: цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP), цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI) и агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA).

DTP-двойник характеризует физический объект, прототипом которого он является, и содержит информацию, необходимую для описания и создания физической версии объекта. Эта информация включает требования к производству, аннотированную трехмерную модель, спецификацию на материалы, процессы, услуги и утилизацию [1].

DTI-двойники описывают конкретный физический объект, с которым двойник остается связанным на протяжении всего срока службы. Двойники этого типа обычно содержат аннотированную 3D-модель с общими размерами и допусками, спецификацию на материалы, в которой перечислены текущие и прошлые компоненты, спецификацию на процессы с перечислением операций, которые были выполнены при создании этого физического объекта, а также результаты любых тестов на объекте, записи о сервисном

обслуживании, включая замену компонентов, операционные показатели, результаты тестов и измерений, полученные от датчиков, текущие и прогнозируемые значения параметров мониторинга.

DTA-двойники определяются как вычислительная система, которая имеет доступ ко всем цифровым двойникам-экземплярам и может посылать им запросы в режиме случайных или проактивных опросов.

Симбиоз с технологиями интернета вещей является драйвером для развития обеих технологий. Цифровые двойники получают реальные данные с датчиков, осуществляющих мониторинг реальных объектов, в то время как интернет вещей обеспечивает сбор и анализ данных с различного рода сенсоров и позволяет сделать этот процесс экономичным и эффективным [1].

Кратко прослеживая историю развития концепции цифровых двойников, можно сказать, что с того момента, как человек начал создавать материальные изделия, он использовал виртуальные модели-двойники. Сначала он создавал их в своем воображении, потом на бумаге, затем в компьютере, а теперь и в облаке, используя умные датчики, интернет вещей, искусственный интеллект. На каждом новом этапе в концепцию добавлялись новые цифровые технологии и методы моделирования, прогнозирования, анализа, обучения. По всей вероятности, этот процесс продолжится и в будущем.

Цифровые двойники, бесспорно, стали очень полезным инструментом. Они позволяют совершенствовать операции технического обслуживания и упрощают техническую поддержку изделия, экономят деньги, уменьшая число сбоев и продлевают срок службы оборудования. Можно предположить, что с развитием Промышленного Интернета Вещей (IIoT), цифровые двойники станут более детализированными, и будут работать на получение максимальной отдачи от инвестиций в оборудование и его техническое обслуживание, параллельно с этим, стимулируя улучшение дизайна продукта.

1.2 Определение математической модели

Эксперимент, в котором используются реальные объекты модели не всегда является эффективным в плане экономики, в данной ситуации приходит на помощь математическое моделирование, которое позволяет провести эксперимент используя цифровой двойник. Иными словами, реальный эксперимент не позволяет быстро и без лишних затрат провести замену оборудования, для проверки теории. Особенно это влияет на медицинскую область, невозможно поставить в реальности эксперимент по влиянию какой-либо болезни или влиянию распространения ядерного взрыва [2].

1.3 Основные этапы математического моделирования

1) Построение модели.

На данном этапе создается некая практическая модель описывающая поведение системы, в нее включены все характеристики процесса, явления и т.д.

Далее при выявлении неких зависимостей строится математическая модель. Данный этап является самым сложным.

2) Решение математической задачи, к которой приводит модель.

В данном этапе разрабатывается логика и создается алгоритм решения проблемы, используя ЭВМ. ЭВМ позволяет найти решение с необходимой точностью и при заданном времени.

3) Интерпретация полученных следствий из математической модели.

Далее решение, вытекающее из математической модели, интерпретируется на языке, принятом в данной области.

4) Проверка адекватности модели.

Следующее действие — это сравнение полученных результатов с результатами реального эксперимента, либо с результатами теоретического эксперимента [2].

5) Модификация модели.

При модификации модели происходит упрощение или усовершенствование модели, что вследствие ведет к приближению задуманных результатов.

1.4 Классификация моделей

В общем математические модели могут быть поделены на два вида [2]:

- функциональные;
- структурные.

В первом случае все величины, характеризующие явление или объект, выражаются количественно. При этом одни из них рассматриваются как независимые переменные, а другие — как функции от этих величин. Математическая модель обычно представляет собой систему уравнений разного типа (дифференциальных, алгебраических и т. д.), устанавливающих количественные зависимости между рассматриваемыми величинами. Во втором случае модель характеризует структуру сложного объекта, состоящего из отдельных частей, между которыми существуют определенные связи. Как правило, эти связи не поддаются количественному измерению. Для построения таких моделей удобно использовать теорию графов. Граф — это математический объект, представляющий собой некоторое множество точек (вершин) на плоскости или в пространстве, некоторые из которых соединены линиями (ребрами).

По характеру исходных данных и результатов предсказания модели могут быть разделены на детерминистические и вероятностно-статистические. Модели первого типа дают определенные, однозначные предсказания. Модели второго типа основаны на статистической информации, а предсказания, полученные с их помощью, имеют вероятностный характер.

1.5 Реализованные проекты с помощью цифровых двойников

Искусственный интеллект, нейросети, цифровые двойники, виртуальная реальность — одни названия технологий индустрии 4,0 рисуют картины фантастического будущего. Однако в промышленности все они решают одну важную, но достаточно банальную задачу — повышение эффективности. Двигаясь в этом направлении на гребне волны новой промышленной революции, можно добиться действительно фантастических результатов. В том числе в сфере нефтедобычи, которая, впрочем, имеет свою специфику [3].

Рассматривая технологию, используемую ПАО «Газпром», upstream можно представить как огромный инвестиционный конвейер, начинающийся с поиска запасов нефти и завершающий работу вместе с окончанием жизненного цикла месторождения. По конвейерному принципу распределяется ценность и стоимость решений: немногочисленные, но самые важные и дорогие решения с точки зрения успешности всего проекта принимаются на первых этапах его реализации, гораздо более дешевые, относительно легко исправимые, но многочисленные — в конце, на этапе промышленной эксплуатации актива. При этом с информацией все наоборот: данных для правильной и точной оценки перспективности месторождения, выбора методов его исследования и разработки очень мало, их приходится собирать буквально по крупицам. В период эксплуатации, напротив, информации столько, что большую проблему уже вызывает ее систематизация и анализ. И в том и в другом случае принимать правильные решения помогают цифровые технологии [3].

Большие риски ради большого приза — это характеристика самого раннего этапа проекта освоения месторождения, когда надо принять главное решение: стоит ли вообще браться за разработку, каковы шансы найти промышленные запасы нефти и, соответственно, окупить вложения. Все осложняется тем, что, как правило, данных об исследуемом объекте очень мало и они чаще всего крайне разрозненны. Из массы этой информации, часто

с совершенно неочевидной корреляцией, необходимо собрать целую интегрированную картинку.

С выстраиванием таких сложных взаимосвязей искусственный интеллект уже справляется гораздо лучше человеческого. К тому же машина может намного быстрее проанализировать большее количество вариантов и дать четкую математическую оценку вероятности успеха в том или ином случае. На этом и основан проект «Когнитивный геолог», который «Газпром нефть» реализует совместно с лучшими международными IT-экспертами [3].

Для того чтобы оценить масштаб проблемы, которую должен решить проект, достаточно сказать, что сегодня оценка геологических объектов занимает от года до двух лет, 70 % из которых тратится как раз на рутинные операции предварительной обработки данных. Самообучающаяся модель геологического объекта, которую планируется создать, будет математически обрабатывать все существующие характеристики объекта и выдавать конечный результат, при этом модель будет оценивать вероятность правильности ответов. Учитывая все это, время, необходимое на обработку геологических данных, возможно сократить примерно в шесть раз, то есть до двух месяцев. При этом должна заметно вырасти и уверенность в правильности прогноза. В том числе за счет того, что «Когнитивный геолог» будет выдавать рекомендации о необходимости проведения дополнительных точечных исследований — именно тех, которых еще недостает для более точного ответа на вопросы о перспективах актива. Это позволит почти на треть сократить количество данных, необходимых для принятия инвестиционного решения.

Даже после того, как перспективность месторождения доказана, а решение о начале разработки актива принято, возможностей для роковых ошибок стоимостью в миллиарды долларов остается масса. Для этого достаточно сформировать даже не неправильную, а просто неоптимальную схему разработки. Все информация на этапе освоения настолько велика, что проработать всевозможные варианты и конфигурации проектирования, связи

между элементами системы не под силу человеку. В итоге на концептуальное проектирование крупного месторождения сегодня уходит порядка двух лет, а результат ограничивается несколькими вариантами действий. В то же время гарантии, что это действительно самые оптимальные варианты и лучшие опции не были отвергнуты в ходе анализа и оценки, пожалуй, не даст никто [3].

В рамках проекта «Когнитивный инжиниринг» машинный интеллект перебирает огромное количество различных сочетаний моделей скважин, схем кустования, систем нефтесбора и нефтеподготовки, оценивает их работоспособность, макроэкономику. За счет этого уже в настоящее время выбор увеличился с нескольких до тысячи вариантов с четко оцифрованными плюсами и минусами, а срок прохождения этапа — с двух лет уменьшился до шести месяцев.

В перспективе планируется за счет включения в процесс оценки различных ограничений, таких, например, как доступ к ресурсам, сроки, финансовые возможности, получать схему разработки, приближенную к идеальной с точки зрения реализации. Именно с помощью такой технологии была оптимизирована схема разработки самого северного континентального месторождения России — Восточно-Мессояхского. Подбор оптимальной системы разбурирования актива позволил вывести проект на положительную рентабельность и в 2016 году ввести его в промышленную эксплуатацию [3].

Еще 10 лет назад в России строительство высокотехнологичных скважин — горизонтальных, многоствольных — было скорее исключением, чем правилом, практически для всех нефтяных компаний. Сегодня доля таких объектов в общей программе бурения «Газпром нефти» превышает 60 %. Без этого просто невозможна рентабельная разработка таких сложных геологических объектов, как, например, Новопортовское месторождение. При этом контроль строительства практически всех высокотехнологичных скважин компании сегодня дистанционно ведется из Центра управления бурением «ГеоНавигатор» (ЦУБ), расположенного в Санкт-Петербурге.

Основываясь на геологической модели, команды специалистов проводят бур на глубине (2 – 3) км по пласту толщиной всего в (2 – 3) м. Изменения конфигурации продуктивного горизонта отслеживаются с помощью датчиков, установленных на буровом инструменте. Однако расположены они в паре десятков метров от долота, поэтому сигнал о критичных изменениях (например, о том, что скважина вышла из продуктивного горизонта) доходит до ЦУБ с задержкой в (20 – 30) минут.

Для решения проблемы в «Газпром нефти» начали реализацию проекта «Цифровое бурение», предполагающего построение математической модели, которая будет обучена, и которая по параметрам, такие как нагрузка приходящая на инструмент бура, температура, вибрация, сопротивление, скорость проходки, делает будет предсказывать все изменения условий в самой дальней точке скважины в режиме реального времени.

Прототип такой модели уже создан и успешно используется в ЦУБ. По информации начальника управления ИТ, автоматизации и телекоммуникаций блока разведки и добычи «Газпром нефти» Максима Шадуры, точность прогноза литологии на забое, который поступает от искусственной нейросети, уже превышает 80 %, и это еще не окончательный результат: «Модель постоянно дообучается за счет сравнения результатов прогноза с реальной ситуацией, которая транслируется с датчиков. И ошибки, и точные попадания — все становится ценной информацией для обучения модели» [3].

Специалисты компании считают, что ликвидировать слепую зону в скважине лишь начальная задача для искусственного интеллекта. В дальнейшем математическая модель бурения позволит технологам превентивно прогнозировать возможные нештатные ситуации, определять оптимальные режимы работы оборудования. За счет обучения и усложнения данная модель может предсказывать и/или рекомендовать траекторию постройки скважины, так же выдавать экономическую эффективность проведенных работ [3].

Цифровая добыча

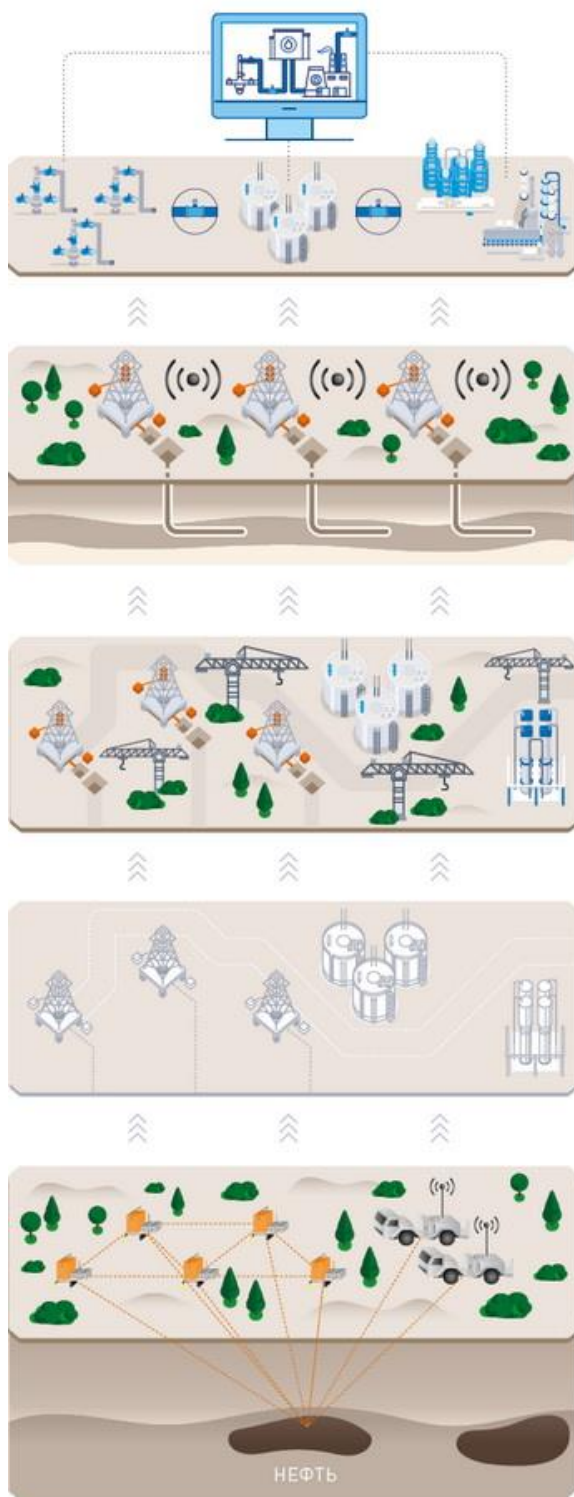


Рисунок 1 – Описание цифрового бурения

Цифровую трансформацию чаще всего представляют, как внедрение в производственную деятельность набора современных технологий, при этом часто забывая, что успешность бизнеса в первую очередь зависит от того,

насколько четко выстроена система управления. Ведь в освоении любого крупного актива задействованы сотни подрядных организаций, документооборот исчисляется сотнями тысяч документов. Такой масштаб вызывает серьезные задержки в передаче важной информации, что часто приводит к критическим отклонениям от плана, увеличению сроков и стоимости проекта.

Для того чтобы избежать этого, в «Газпром нефти» создается Центр управления проектами, который на самом деле представляет собой не один объект, а целую сеть многофункциональных экспертных центров, собирающих информацию о реализации проектов практически в режиме реального времени, анализирующих ее и исходя из результатов анализа строящих прогноз развития ситуации. Эта система имеет свою иерархию, на вершине которой располагается центр, управляющий портфелем крупных проектов, внизу — региональные и проектные центры, контролирующие операционную деятельность.

При этом активно меняются сами методы и принципы управления. «Сегодня мы активно внедряем в бизнес такое понятие, как продуктовые команды, — рассказал Максим Шадура. — Если раньше срок работы команд, сформированных из представителей бизнеса, ставящих задачу, и IT-специалистов, способных эту задачу решить, ограничивался созданием и внедрением готового продукта в промышленную эксплуатацию, то в современном мире с началом эксплуатации развитие продукта только начинается. Мы меняем идеологию проектных команд на продуктовые, которые формируются в момент зарождения идеи нового решения, создают, внедряют его и продолжают жить с ним до тех пор, пока сам инструмент, само решение не потеряет актуальность. Отличительная особенность такого подхода — ответственность за долгосрочный результат, ведь только он будет определять успешность продукта» [3].

Денис Сугаипов, руководитель дирекции по крупным проектам блока разведки и добычи «Газпром нефти»: Центр управления проектами

подразумевает как внедрение цифровых инструментов, так и полное переосмысление методов управления крупными проектами. Безусловно, технологии играют важную роль, в том числе, для получения прозрачной и достоверной картины на всех уровнях реализации проектов. Это и трассировка поставки материалов, и оценка темпов строительства с помощью лазерного сканирования, и математическое моделирование оптимальных решений — всех технологий не перечислить. Но в центре всех изменений, в первую очередь, — более тесная интеграция различных функций и подразделений внутри компании. Однако, наши амбиции шире — мы хотим подключить и сотни наших подрядчиков и партнеров в эту систему. За счет использования программного обеспечения с открытым кодом и включения процессов партнеров в единый цикл анализа и управления мы получим возможность оптимизировать решения с учетом взаимовлияющих факторов и потенциальной синергии, что, в свою очередь, поможет каждому из участников быть более эффективным и заработать больше.

Центр управления проектами — это, конечно, не только организационные изменения. Самих технологий проект содержит также предостаточно. Это и 3D-сканирование строящихся объектов с помощью лазеров и беспилотников, и применение мультиагентных технологий, которые уже доказали свою эффективность, позволив оптимизировать процесс доставки материалов и оборудования на Новопортовское месторождение баржами в короткий безледовый период.

В целом за счет такой организационно-цифровой оптимизации планируется довести уровень соответствия фактического исполнения работ плану с 60 % до 90 %, сократив срок реализации крупных проектов с пяти до трех лет [3].

Пожалуй, лишь на стадии промышленной эксплуатации месторождение можно сравнивать с любым другим промышленным объектом и, соответственно, повышать эффективность с помощью цифровых технологий по тем же принципам — то есть оптимизировать операционную

деятельность. На этом этапе информации уже более чем достаточно, объектов для приложения сил тоже — правда, и эффект от оптимизации их работы на порядки ниже, чем на начальных стадиях освоения актива. Но это только если рассматривать эти объекты в отрыве друг от друга. Если же оптимизация будет комплексной, то соответственно будет расти и эффект. «Когда данных много, огромное количество и маленьких точечных задач, каждая из которых при этом не может оказать какого-то существенного влияния на эффективность работы месторождения, — пояснил Максим Шадура. — Большой приз можно получить за счет разработки комплексного интегрированного решения, в котором оценены все взаимосвязи».

Таким решением станут цифровые двойники, создаваемые в рамках проекта «Центр управления добычей» (ЦУД). В рамках пилотного проекта в «Газпромнефть-Хантосе» был создан цифровой близнец системы механизированного подъема жидкости, представляющий собой математическую модель, в которую внесены все процессы рабочего комплекса — от скважины до сдачи нефти: погружные и дожимные насосы, элементы сборки и подготовки нефти, резервуарный парк. Несовпадение характеристик рабочего режима реального оборудования с идеальным режимом, который воспроизводит модель, позволяет автоматически диагностировать поломки, аварии, и следовательно подбирать оптимальные режимы работы, для избежание всего вышеупомянутого. Цифровая модель помогает определить и наименее эффективные скважины, которые можно отключить, чтобы уложиться в квоту добычи, определенную в рамках соглашения с ОПЕК [3].

Сегодня в «Газпромнефть-Хантосе» к уже существующему добавляются цифровые двойники систем поддержания пластового давления и обеспечения электроэнергией, что позволит сосредоточить в ЦУД управление всеми энергетическими потоками, а опыт, наработанный в ХМАО, активно переносится на предприятия компании в Ноябрьске, Муравленко, цифровые двойники создаются на Новопортовском месторождении.

«В рамках этого проекта мы не просто формируем набор инструментария, мы внедряем новые подходы к управлению активами, — подчеркнул Максим Шадура. — Начав с формирования программы улучшений самых проблемных для каждого из предприятий процессов, сегодня мы начинаем собирать системы в единое целое, заниматься автоматизацией по единым правилам и в конечном счете формировать полную модель управления активами».

2 Техническое задание

2.1 Полное название

Система диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях.

2.2 Краткая характеристика области применения

Система диспетчерского контроля предназначена для повышения эффективности управления за счёт повышения эффективности управления путём внедрения автоматизированных и автоматических методов управления непосредственно на каждой скважине и на кусте скважин в целом.

2.3 Основные задачи и цели создания АСУ ТП

- передача информации о состоянии скважин;
- передача аналоговых параметров характеризующие работу скважин;
- передача информации об аварийном состоянии скважины;
- дистанционное управление исполнительными механизмами.

2.4 Назначение кустовой площадки

«Куст нефтяных скважин – это специально выделенная территория, ограниченная площадкой естественного либо искусственного происхождения, с расположенными на ней устьями скважин, нефтегазодобывающего оборудования, бытовых и служебных помещений, а также прочих необходимых для эксплуатации сооружений» [4].

В большинстве случаев технологические объекты нефтегазовой добычи расположены в труднодоступных для сбора информации и обслуживания местах. Часто доступность объектов зависит от погодных условий, времени года и особенности местности. Данная система

предназначена для эффективного контроля и управления технологическими процессами, получения информации об объекте в реальном времени дистанционно.

Созданная модель служит для выявления всех ресурсов, нахождения и устранения проблемных мест технологического процесса, анализа и обработки информации, которая может быть использована на реальном объекте.

Система автоматизации обеспечивает:

1. Дистанционное измерение:
 - текущего расхода со скважины;
 - давления на выходе скважины;
 - ток потребления двигателя насоса;
 - напряжение, подаваемое на двигатель насоса;
 - скорость вращения ротора двигателя;
 - температуру нефти.
2. Дистанционную сигнализацию:
 - текущее состояние регулирующих устройств;
3. Дистанционное управление:
 - перевод задвижек в состояния открыть\закрыть;
 - подача входных параметров расхода нефтепродукта;
 - управление насосами нефти и воды.

2.5 Требования к техническому обеспечению

АСУ ТП обязана обеспечивать передачу и обработку информации от средств автоматизации, поставляемых совместно с технологическим оборудованием.

Комплекс технических средств (КТС) совместно с программным обеспечением (ПО) должен обеспечивать реализацию всех функций, оговоренных в данном техническом задании.

В состав КТС должны входить:

- датчики;
- контроллеры;
- исполнительные механизмы;
- средства дистанционного управления, программно-технические средства обработки, хранения и передачи информации;
- средства отображения и регистрации информации (вторичные приборы, мониторы).

Оборудование, используемое в данной системе, должно иметь устойчивость к воздействию температур в диапазоне от -50 до +50 °С и воздействию влажности до 80% при температуре 35 °С.

Система измерений должна строиться на базе электронных датчиков давления, температуры, расхода, уровня. Средства измерений должны иметь стандартные сигналы диапазона 4-20мА.

Все первичные и вторичные преобразователи должны иметь взрывобезопасное исполнение и степень Exd – исполнения согласно требованиям, прописанные в ГОСТе 30852 [5] и ГОСТе 30852.13 [6]. Подключение датчиков следует осуществлять через искробезопасные барьеры. Сенсоры датчиков, участвующие в непосредственном контакте с измеряемой агрессивной средой должны иметь коррозиестойкое покрытие.

2.5.1 Требования к метрологическому обеспечению

Все средства измерения, используемые в разработанной системе, должны проходить первичную и плановую проверки согласно требованиям нормативных документов: ГОСТ 16920-93 [7] для термометров и преобразователей температуры, ГОСТ 22520-85 [8] для датчиков давления, ГОСТ 28723-90 [9] для расходомеров.

- Результаты измерений выражаются в узаконенных (установленных законодательством России) единицах;

- значения показателей точности результатов измерений известны с необходимой заданной достоверностью.

2.5.2 Требования к математическому обеспечению

Математическое обеспечение должно представлять собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, используемых при создании и эксплуатации АС и позволять реализовывать различные компоненты АС средствами единого математического аппарата.

Реализация функций первичной обработки сигналов должна осуществляться с использованием стандартных алгоритмов масштабирования, сглаживания, фильтрации и линеаризации. Реализация функций автоматического регулирования должна осуществляться с помощью стандартного алгоритма ПИД-регулирования.

2.5.3 Требования к программной документации

В комплект программной документации программно-инструментального средства должно входить:

- техническое задание;
- пояснительная записка;
- приложения.

Документация должна быть представлена в печатном и в электронном виде в формате Microsoft Word.

2.6 Разработка системы телесигнализации и управления кустовой площадки

2.6.1 Значение кустовых площадок

При кустовом размещении скважин стоимость обустройства коммуникаций значительно снижается, за счет уменьшения затрат на

нефтесборы, линии электроснабжения и т.д. Данный вид размещения приводит к существенной экономии капитальных затрат, а также повышает экологическую безопасность всего промысла.

2.6.2 Сооружение кустовой площадки

В зависимости от способа эксплуатации нефтедобывающих скважин на кусте скважин предусматриваются следующие технологические сооружения:

1. Приустьевые площадки нефтяных и нагнетательных скважин;
2. Групповые замерные установки;
3. Блоки для подачи реагентов-деэмульгаторов;
4. Технологические трубопроводы;
5. Газораспределительные блоки;
6. Трансформаторные подстанции;
7. Сепараторы и т.д.

Групповые замерные установки (ГЗУ) предназначены для автоматического суммарного учета количества жидкости и газа, добываемых из нефтяных скважины, с последующим определением дебита скважины. На площадках данной установки размещаются блоки для подачи реагентов-деэмульгаторов и ингибиторов.

Газораспределительные блоки (ГБ) предназначены для распределения воды, закачиваемой в нагнетательные скважины в момент закачки системы поддержания пластового давления (ППД), с одновременным измерением расхода и давления.

3 Моделирование системы в программном обеспечении MATLAB

В данной выпускной квалификационной работе используется модель 3-фазного асинхронного электродвигателя с векторным управлением. Для моделирования используется пакет SimPowerSystems включенный в программное обеспечение MATLAB. Для имитации перекачки нефти построим модель, в которую внесем насос, клапаны, трубы и две емкости. Одна из них – сосуд, куда нефть будет стекаться, вторая – имитация залежи нефти. Регулятор настроен на модульный оптимум.

3.1 Моделирование асинхронного погружного электродвигателя

За основу принята математическая модель из ресурса [10].

Все элементы используемые в моделировании описаны ниже, также приведены описание блоков и расчеты электродвигателя.

Общая схема электродвигателя показана на рисунке 2.

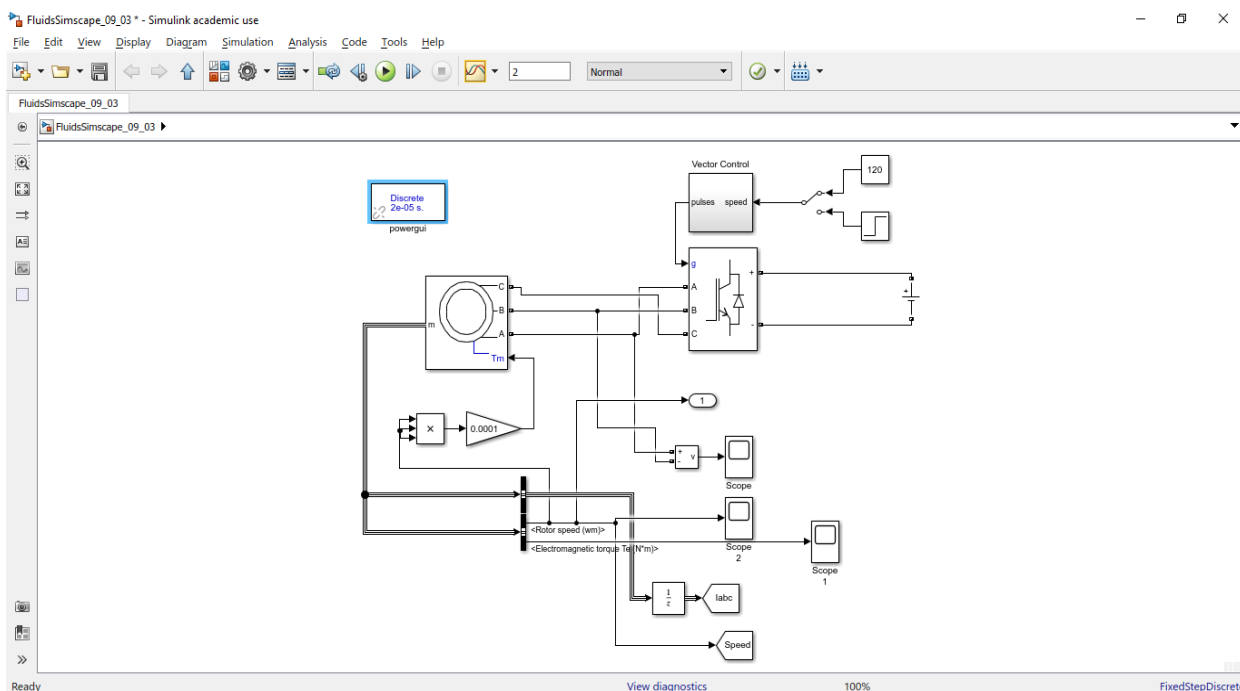


Рисунок 2 – Трехфазный асинхронный электродвигатель с векторным управлением

В данной работе используется асинхронный двигатель 3-фазового питания (Induction Motor). В MATLAB данный двигатель представлен блоком Asynchronous Machine SI Units, находящимся в библиотеке SimPowerSystems (рисунок 3) [11], [13], [14], [14].

Для подачи напряжения на двигатель будем использовать инвертор напряжения (IGBT Invertor), который берется из библиотеки Power Electronics под названием Universal Bridge.

Для задания постоянного питания на инвертор напряжения будем использовать блок DC Voltage Source, взятый из раздела Electrical Sources. Зададим постоянное напряжение величиной 530 В.

Параметры асинхронного двигателя приведены на рисунке 4.

Параметры инвертора напряжения даны на рисунке 5.

Изначально скорость на двигатель задавалась с помощью блока Constant (рисунок 6). В дальнейшем скорость будет задаваться с помощью ОРС сервер, но так как нам нужно изменять скорость используя PID-регулятор, то в финальной модели скорость на двигатель будет задаваться расчетом разницы, заданной уставкой расхода и реального значения расхода перед емкостью, а нагрузку на вал двигателя зададим с помощью блока GAIN используя коэффициент 0,0001.

В модели также используется дискретная задержка, представленная блоком Unit Delay, взятого из раздела Discrete.

Для моделирования системы необходим блок Powergui, который можно найти в разделе Fundamental Blocks библиотеки SimPowerSystems (Simscape). Параметры этих блоков и их местонахождение представлены на рисунке 7.

Для передачи сигнала в блоки From используем блоки Goto и Goto1 (рисунок 8). Для этого занесем в данные блоки наименования сигналов скорости и значения токов (Speed и Iabc).

Для управления двигателем мы приняли решение применить векторное управление. В данном блоке мы внесли регулятор тока и скорости, привели расчеты токов и потока, также включили блоки преобразования координат и

блок расчета угла положения (рисунок 9). Все сборки проводили в блоках Subsystem из раздела Ports & Subsystems библиотеки Simulink.

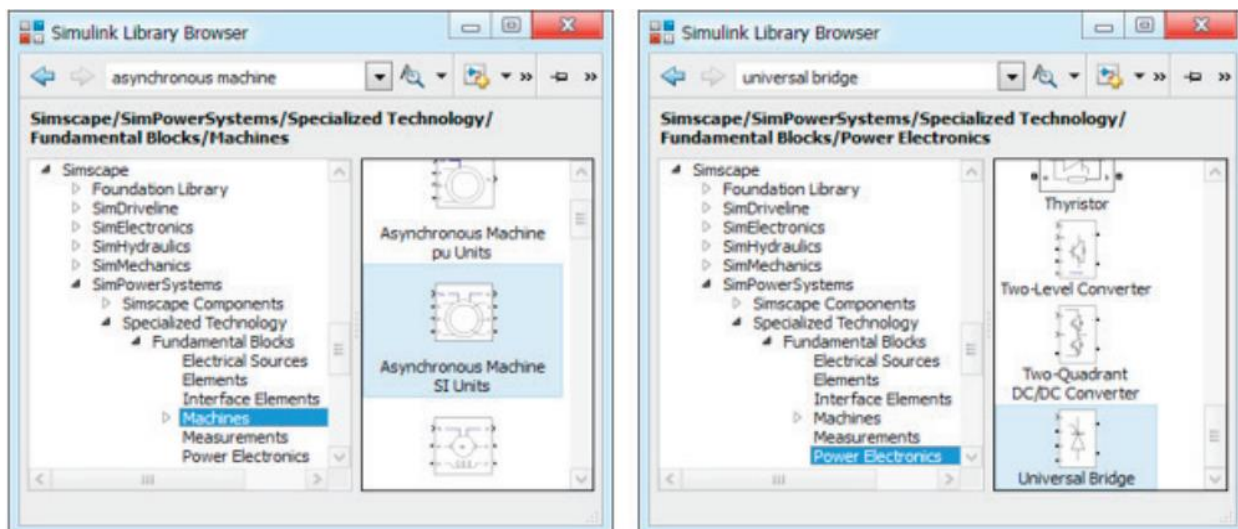


Рисунок 3 – Библиотека с блоками двигателя и инвертора

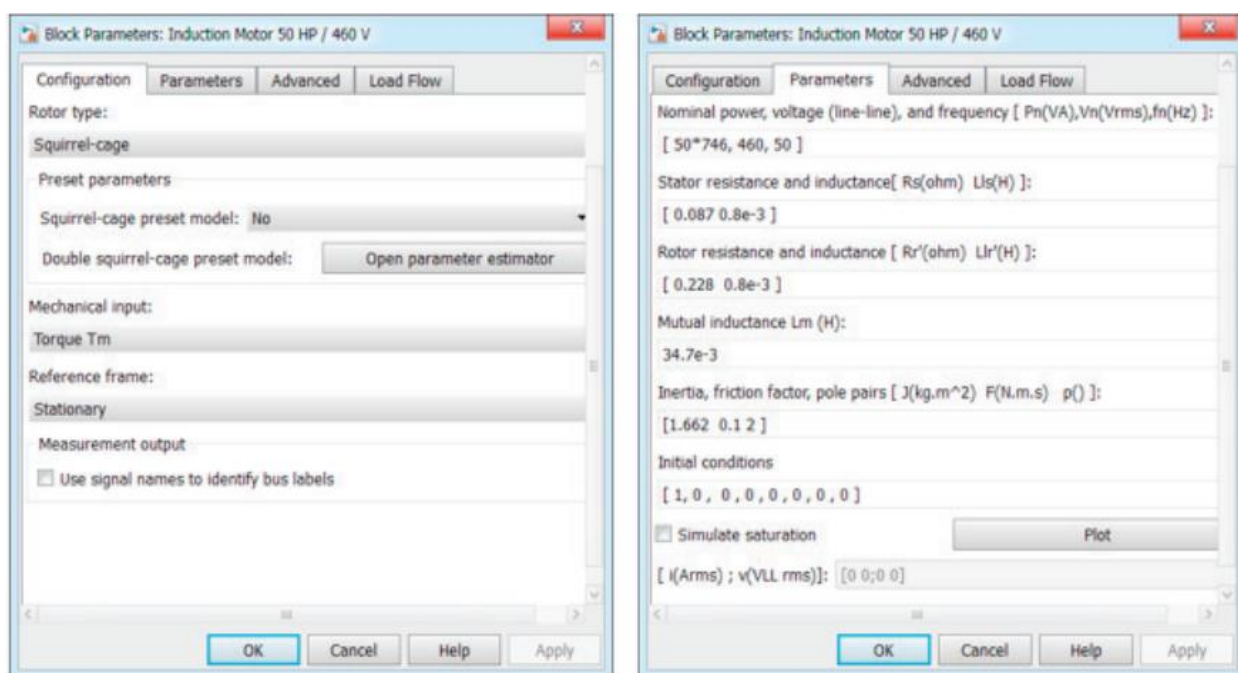


Рисунок 4 – Параметры 3-фазного асинхронного электродвигателя

Регулятор скорости (Speed Controller) представлен на рисунке 10.

Пределы ограничителя величины сигнала (блок Saturation) показаны на схеме (рисунок 10). Установленные пределы от минус 300 до 300.

Блоки расчета токов i_{qs}^* и i_d^* показаны на рисунках 11 и 12.

В блоке F_{cp} необходимо задать выражение (1):

$$Te^* * 0.341 / (Phir + 1e - 3), \quad (1)$$

где Te^* – коэффициент регулирования скорости;

$Phir$ – коэффициент потокосцепления.

Блок расчета угла положения θ представлен на рисунке 13. В блоке $Fcn1$ необходимо задать выражение:

$$34.7e - 3 * iq / Phir * 0.1557 + 1e - 3, \quad (2)$$

где iq – значение тока во вращающейся двухфазной системе координат.

Параметры дискретного интегратора 1 (Discrete-Time Integrator1) и дискретного интегратора 2 (Discrete-Time Integrator2) даны на рисунке 14.

В систему векторного управления включен блок расчета потока, иначе Flux Calculation, который показан на рисунке 15.

Параметры блока Discrete Transfer Fcn даны на рисунке 16.

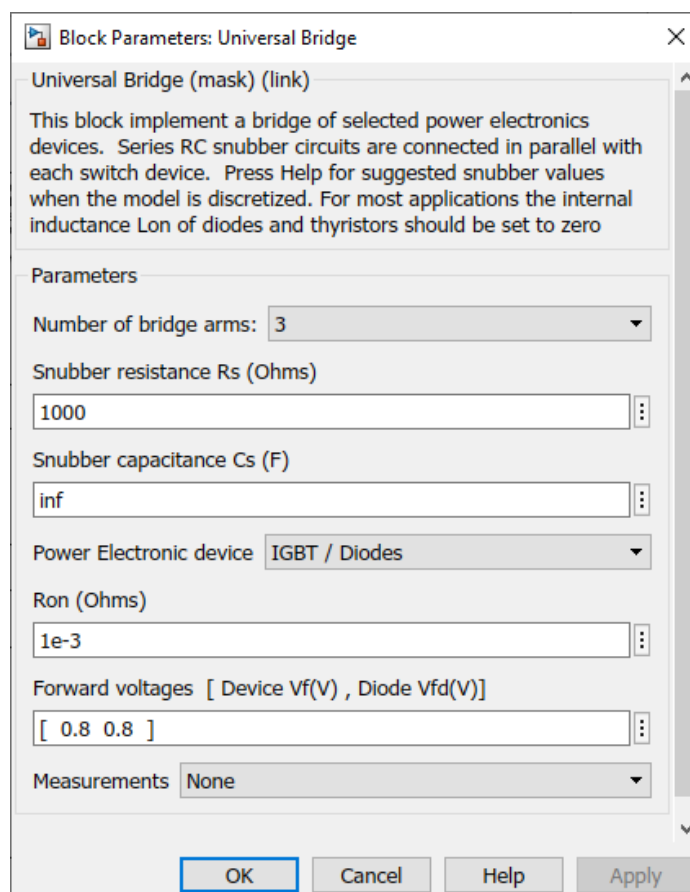


Рисунок 5 – Параметры инвертора

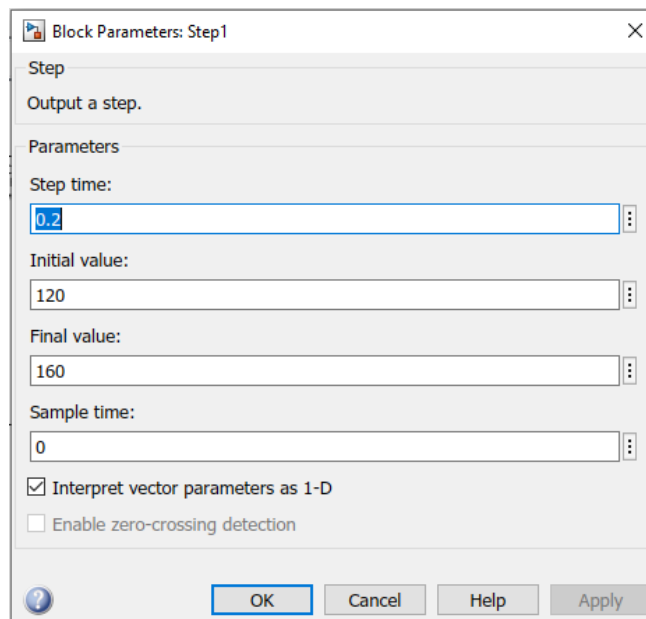


Рисунок 6 – Параметры задатчика скорости

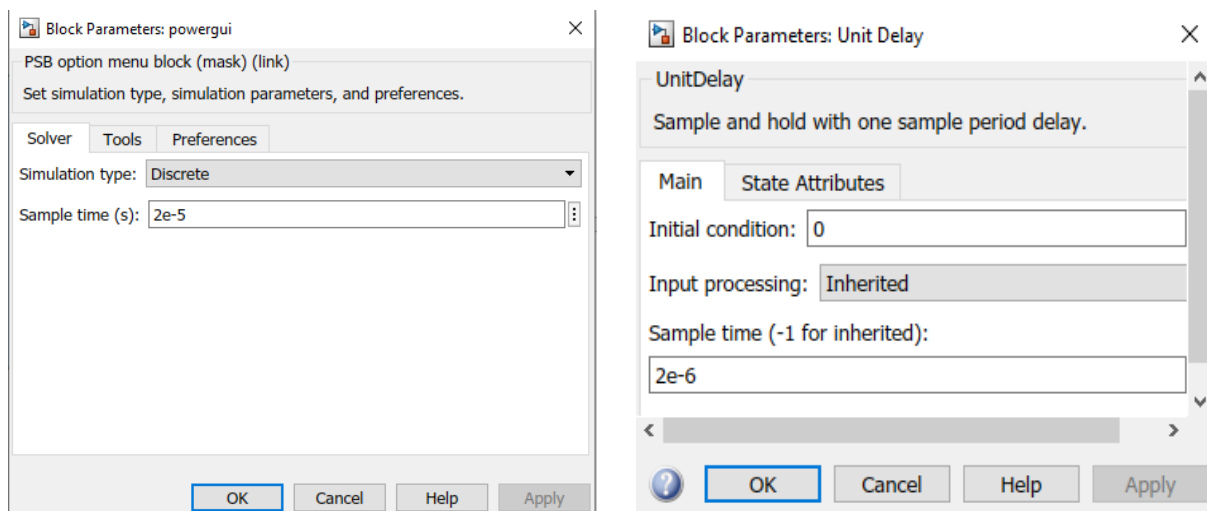


Рисунок 7 – Параметры блоков Powergui и Unit Delay

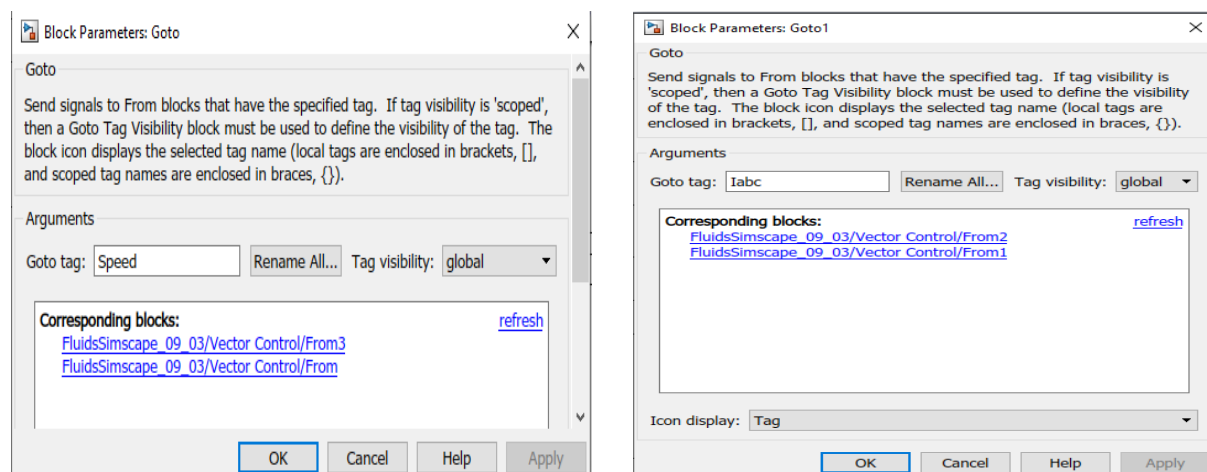


Рисунок 8 – Параметры блоков Goto и Goto1

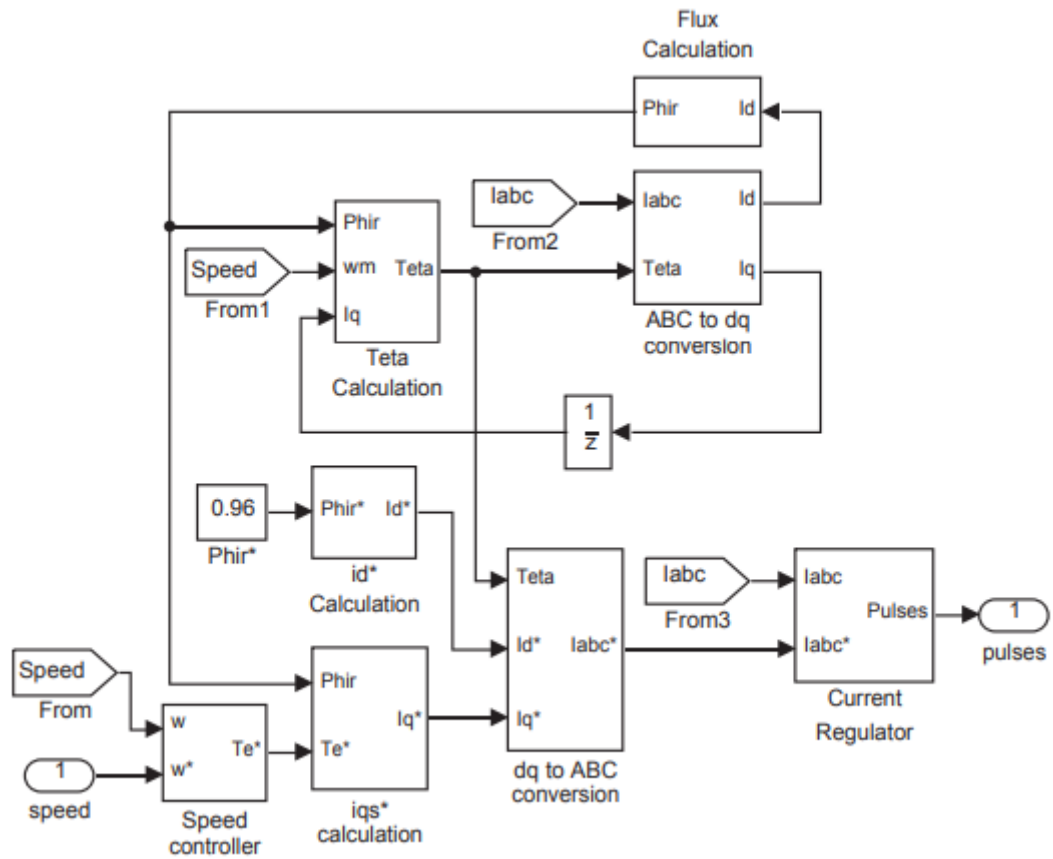


Рисунок 9 – Vector control (Блок векторного управления)

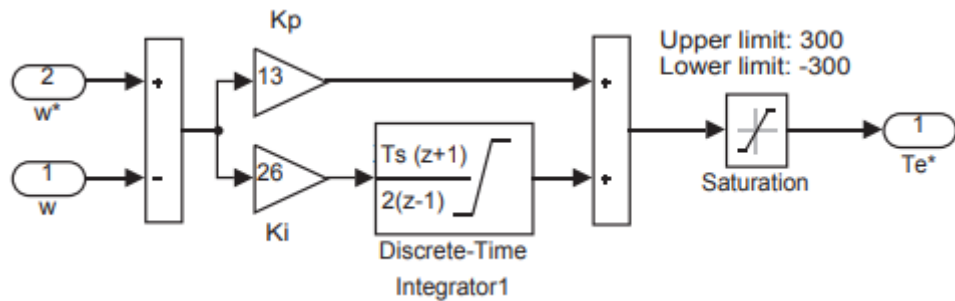


Рисунок 10 – Блок регулирования скорости (Speed controller)

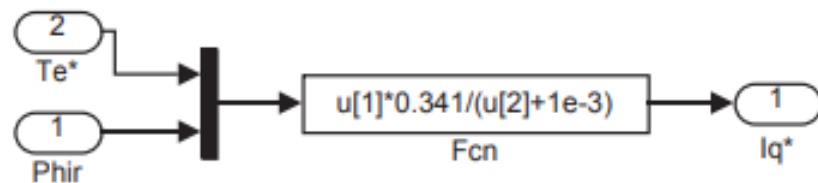


Рисунок 11 – Iqs* calculation (Расчет тока i_{qs}^*)

$$lq = (2/3) * (2/p) * (Lr/Lm) * (Te/Phir) \quad (3)$$

$$lq = 0.341 * (Te/Phir) \quad (4)$$

где $L_m = 34.7 \text{ mH}$;

$L_r = L_l' r + L_m = 0.8 + 34.7 = 35.5 \text{ mH}$;

$p = \text{nb of poles} = 4$.



Рисунок 12 – i_d^* calculation (Расчет тока i_d^*)

$$i_d^* = \text{Phir}^* / L_m \quad (5)$$

где $L_m = 34.7 \text{ mH}$.

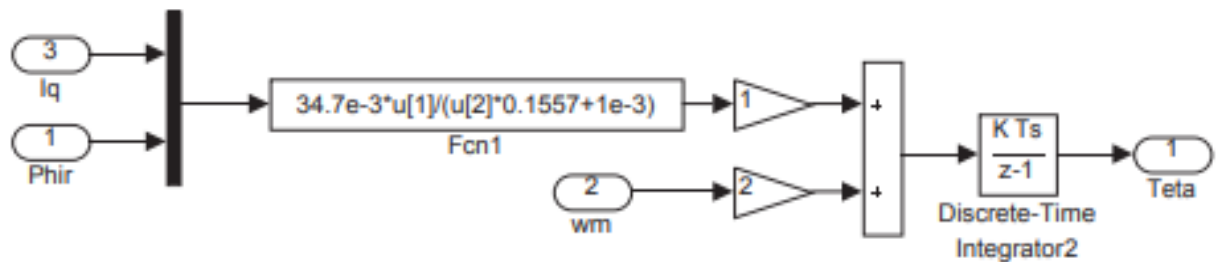


Рисунок 13 – Блок Teta calculation (Расчет угла положения V)

$$Teta = \text{Electrical angle} = \text{integ} (w_r + w_m) \quad (6)$$

$$w_r = \text{Rotor frequency (rad/s)} = L_m * I_q / (T_r * \text{Phir}) \quad (7)$$

где $w_m = \text{Rotor mechanical speed (rad/s)}$;

$L_m = 34.7 \text{ mH}$;

$L_r = L_l' r + L_m = 0.8 + 34.7 = 35.5 \text{ mH}$;

$R_r = 0.228 \text{ ohms}$;

$T_r = L_r / R_r = 0.1557 \text{ s}$.

Преобразователи координат «ABC → dq» и «dq → ABC» (conversion) приведены на рисунках 17 и 18. Функции синусов, косинусов и токов задаются в блоках *Fcn*.

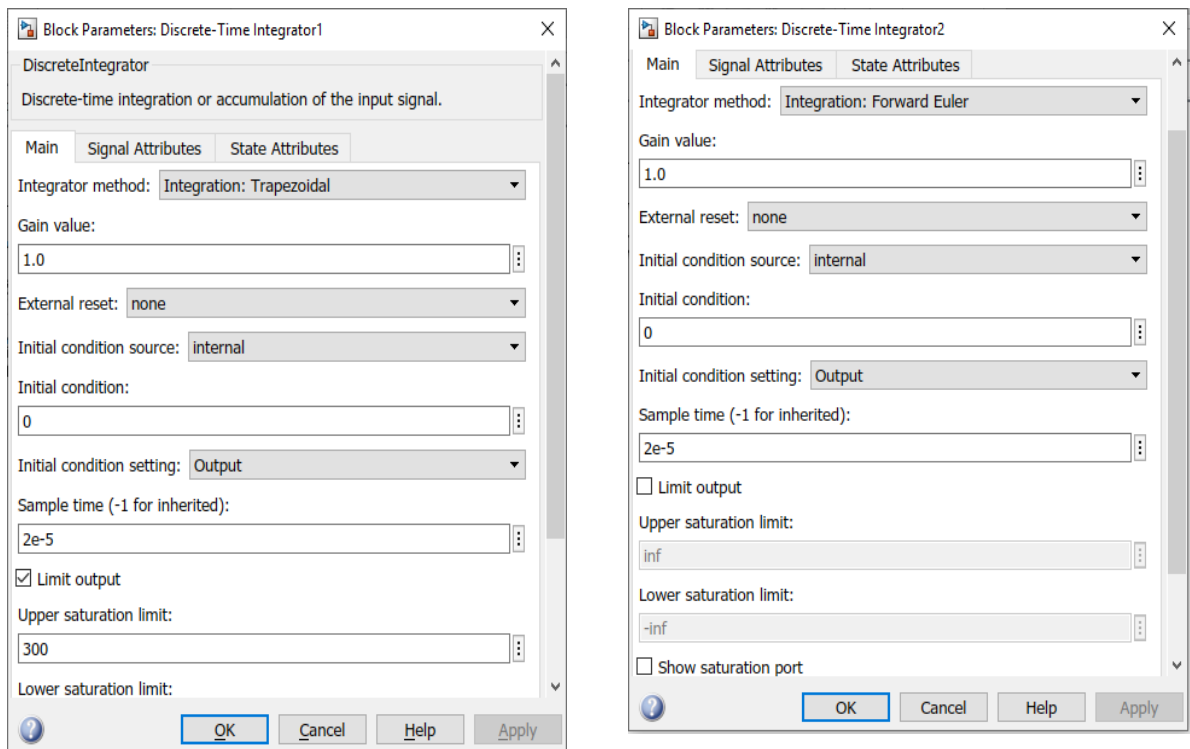


Рисунок 14 – Параметры дискретных интеграторов 1 и 2

В параметрах блока *id* необходимо записать выражение:

$$\begin{aligned} \cos Q * ia + (1.7320508 * \sin Q - \cos Q) * ib * 0.5 \\ + (-\cos Q - 1.7320508 * \sin Q) * ic * 0.5 \end{aligned} \quad (8)$$

В блоке *iq*:

$$\begin{aligned} -\sin Q * ia + (\sin Q + 1.7320508 * \cos Q) * ib * 0.5 \\ + (\sin Q - 1.7320508 * \cos Q) * ic * 0.5 \end{aligned} \quad (9)$$

В блоке *ia*:

$$-iq * \sin Q + id * \cos Q \quad (10)$$

В блоке *ib*:

$$\begin{aligned} (-\cos Q + 1.7320508 * \sin Q) * id * 0.5 \\ + (\sin Q + 1.7320508 * \cos Q) * iq * 0.5 \end{aligned} \quad (11)$$

Настройки регулятора тока показаны на рисунке 19.

Настройка блоков Relay, а также типов данных представлены на рисунке 20.

Оператор NOT задается в блоке Logical Operator.

Для наглядности выведем на осциллографы Scope графики скорости (рисунок 21) и электромагнитного момента (рисунок 22), используя для этого блок Bus Selector.

Линейное напряжение выведем с помощью блока Voltage Measurement (Vab).

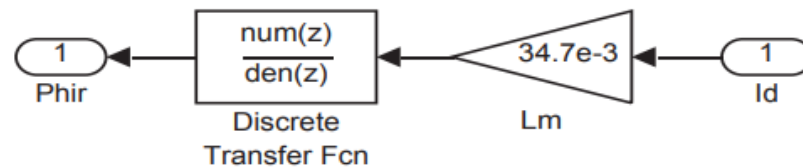


Рисунок 15 – Блок Flux Calculation (Расчет потока)

$$Phir = Lm * Id / (1 + Tr \cdot s) \quad (12)$$

где $Lm = 34.7 \text{ mH}$;

$Tr = Lr/Rr = 0.1557 \text{ s}$;

$Lr = LI'r + Lm = 0.8 + 34.7 = 35.5 \text{ mH}$;

$Rr = 0.228 \text{ ohms}$.

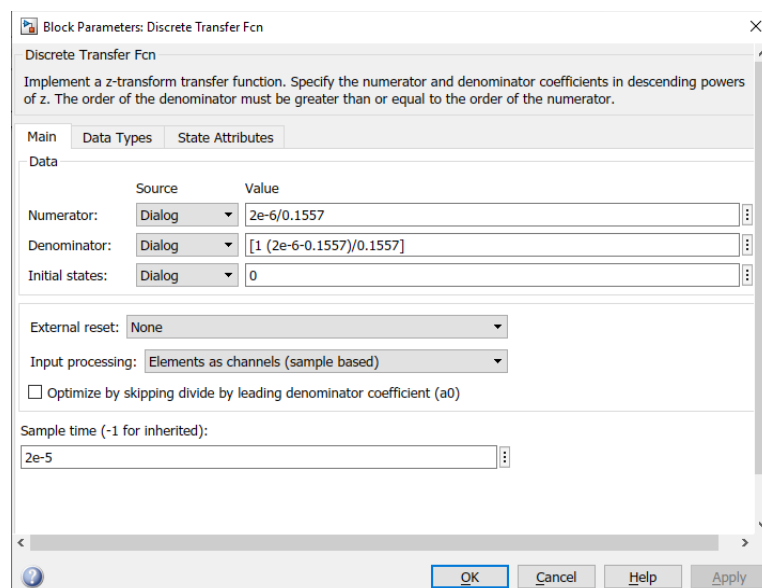


Рисунок 16 – Параметры блока Discrete Transfer Fcn

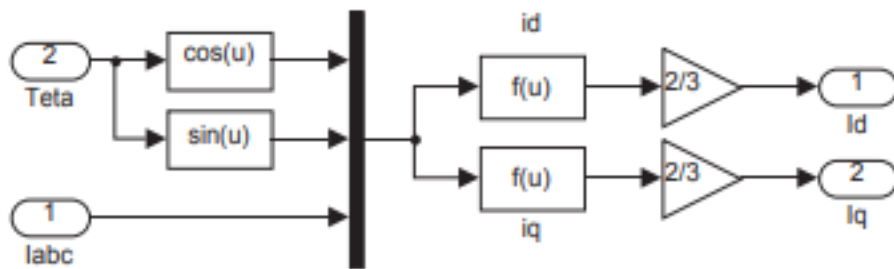


Рисунок 17 – Преобразователь координат ABC – dq

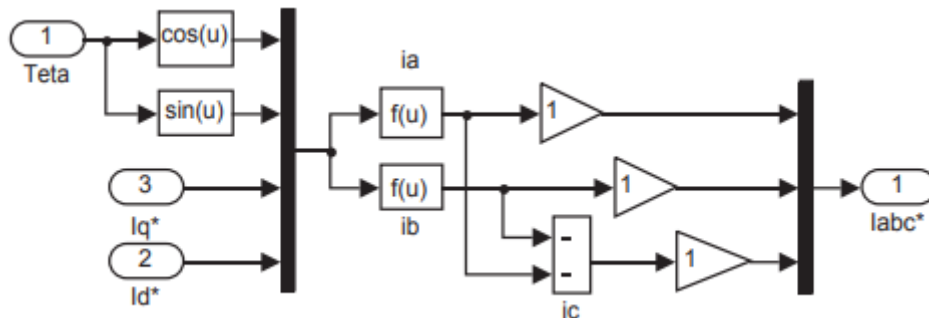


Рисунок 18 – Преобразователь координат dq – ABC

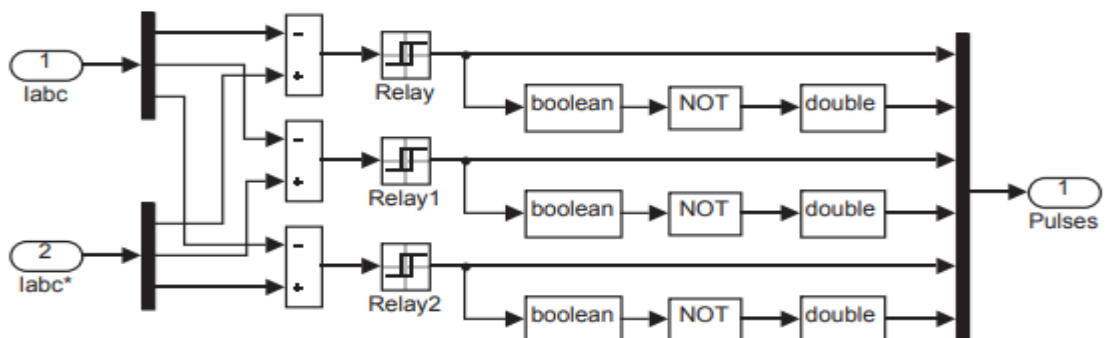


Рисунок 19 – Current Regulator (Регулятор тока)

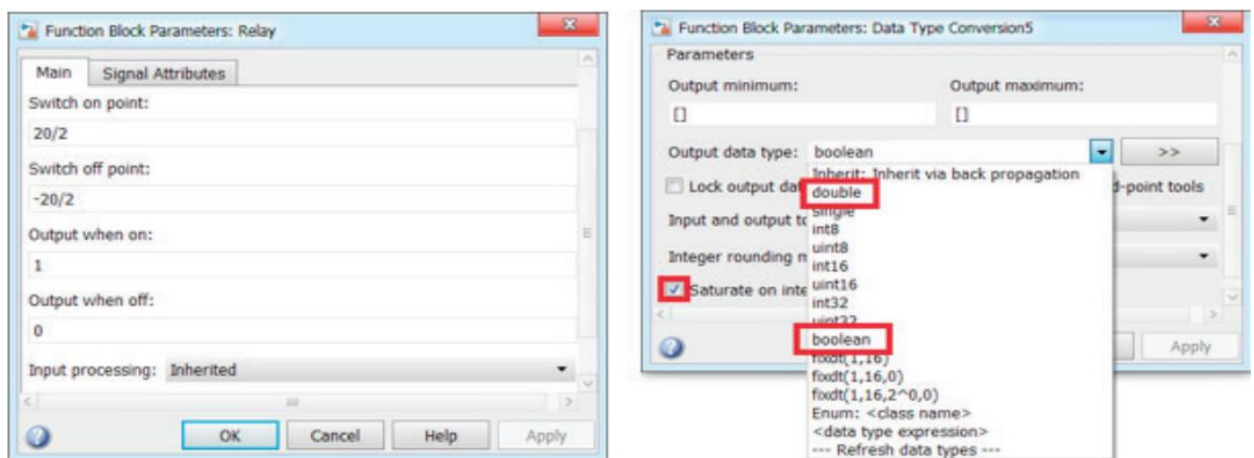


Рисунок 20 – Параметры блоков Relay

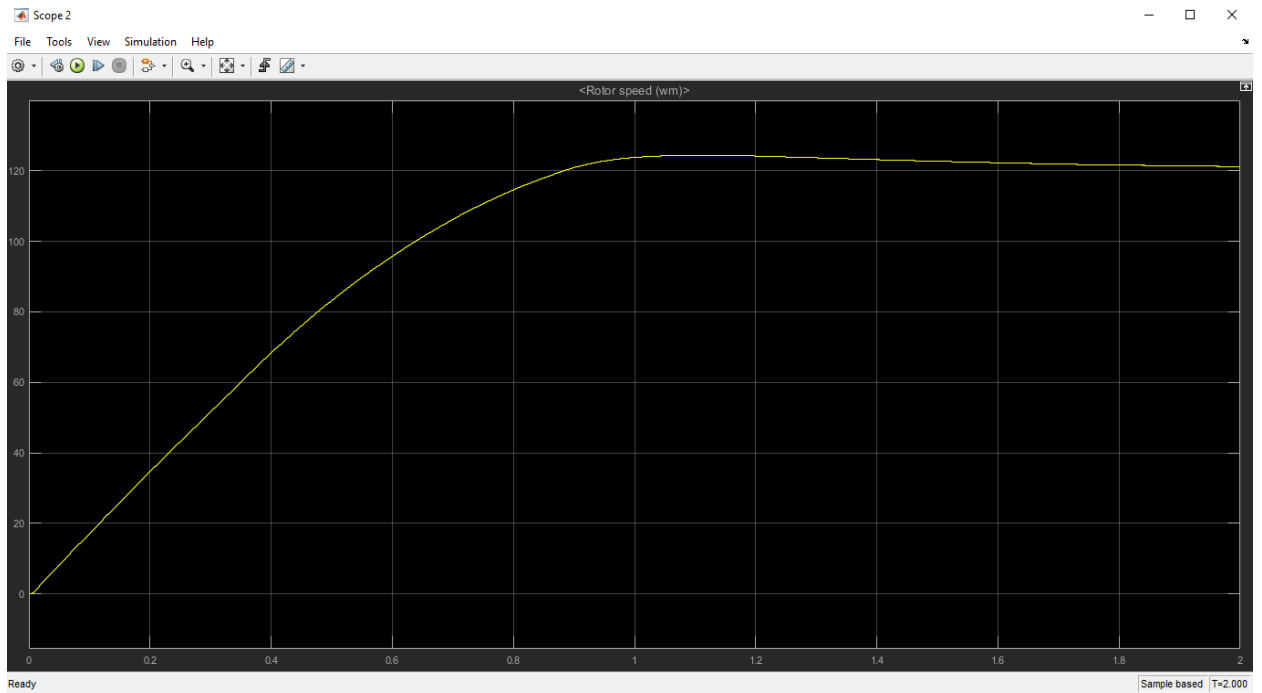


Рисунок 21 – График полученной скорости

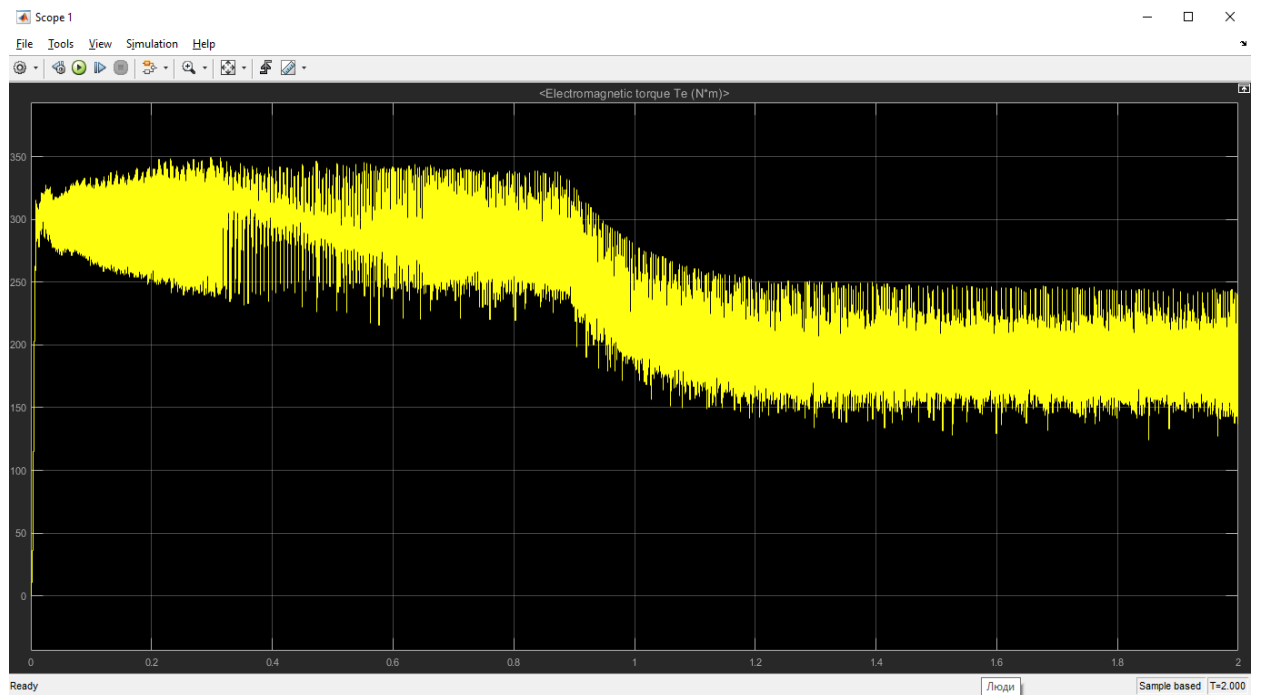


Рисунок 22 – График полученного электромагнитного момента

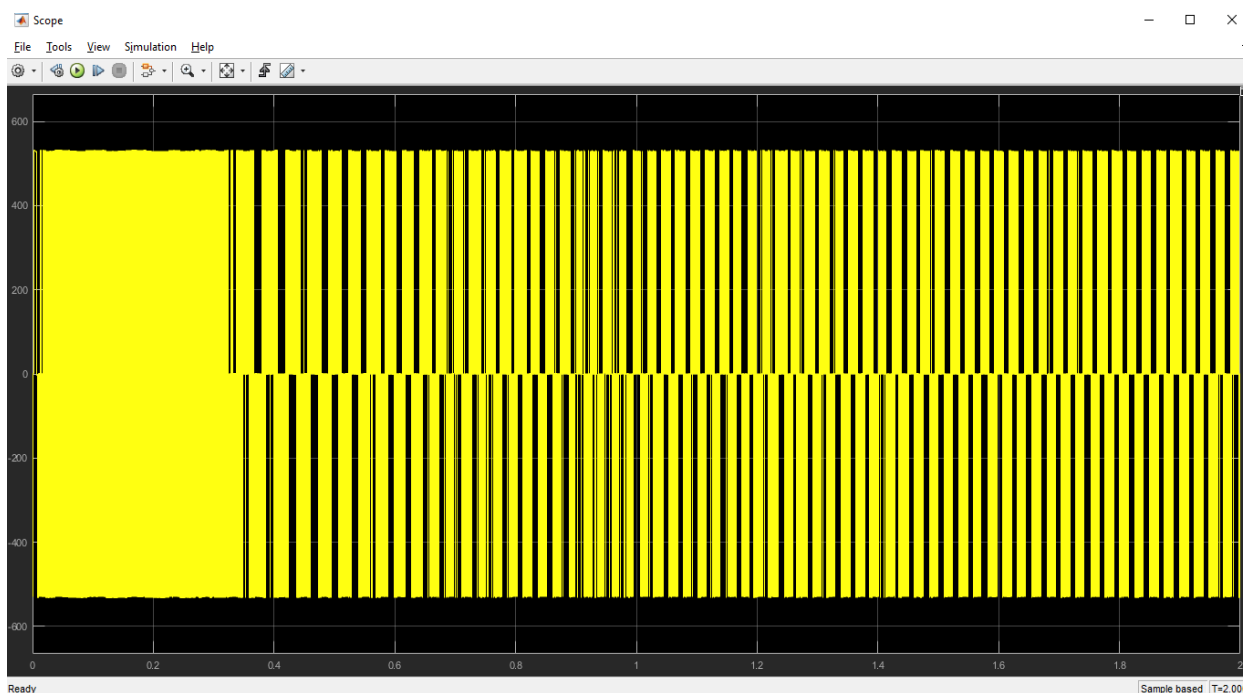


Рисунок 23 – График линейного напряжения

Данные графики показывают значения скорости, электромагнитного момента и линейного напряжения для модели, в которой скорость задается с помощью блока Constant, где мы указали значение 120. График полученный скорости (рисунок 21) свидетельствует о том, что модель считается работоспособной и в дальнейшем для получения задуманных результатов подлежит доработке.

Итого финальная модель показана на рисунке 24. В данную модель добавлено управление инвертором напряжения с помощью OPC сервера. Скорость, приходящая в блок векторного управления, рассчитывается как разность уставки расхода и реального расхода. С помощью блоков Sinusoidal Measurement (PLL) и Three-Phase Sinusoidal Measurement (PLL) вывели ток и напряжение двигателя, в дальнейшем передали данные значение в OPC сервер.

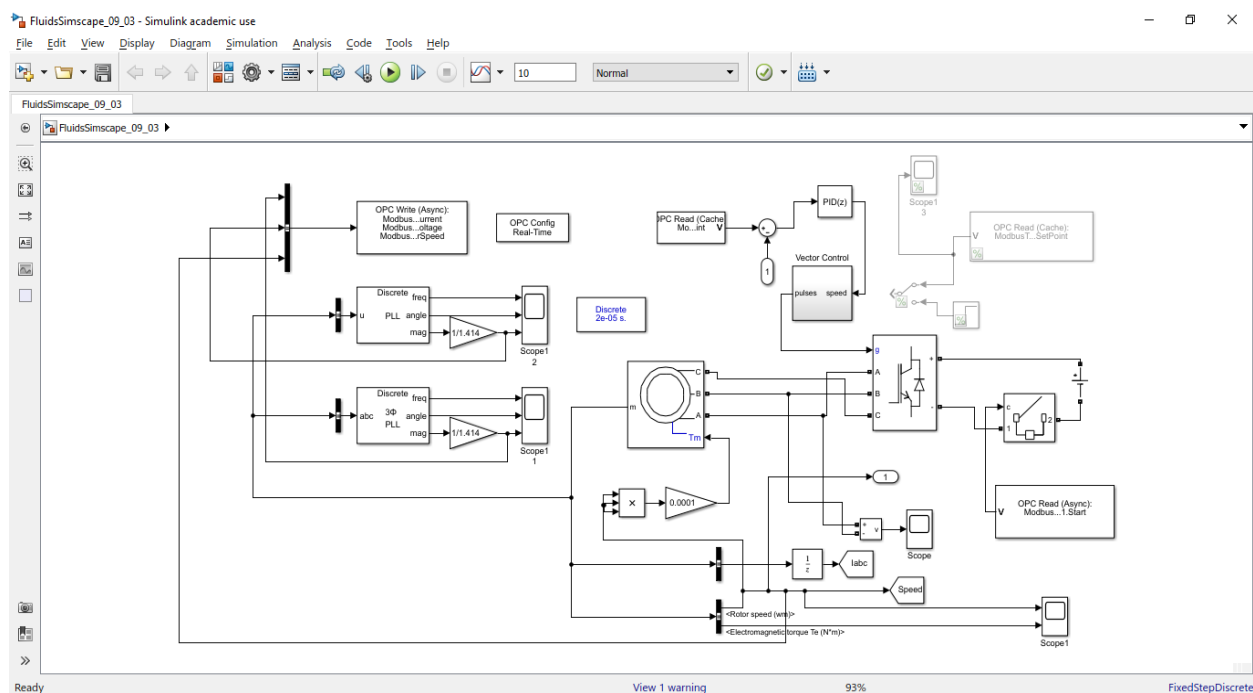


Рисунок 24 – Финальная модель электродвигателя

3.2 Выводы по моделированию системы в программном обеспечении MATLAB

Математическая модель 3-фазного асинхронного электрического двигателя на основе векторного управления показала себя исправно. Скорость заданная двумя вариантами (уставкой, либо сигналом) регулируется моделью без нареканий. Полученные графики скорости и электромагнитного момента соответствуют ожиданиям. Чтобы проверить перспективность данной работы в целом, нужно изначально проверить идеальную модель. Данная модель является идеализированным электродвигателем, что позволяет отбросить влияние внешней среды на сам процесс.

3.3 Моделирование процесса перекачки

Следующая модель является «идеальным» контуром процесса перекачки продукта. В данную систему включены 2 емкости, одна из которых является запасом продукта в недрах, другая является емкости куда происходит процесс налива. Также присутствует насос, скорость на который задается из

предыдущей модели, шаровые клапаны, управления на которые приходят с OPC сервера, расходомеры и трубы.

Основная модель представлена на рисунке 25.

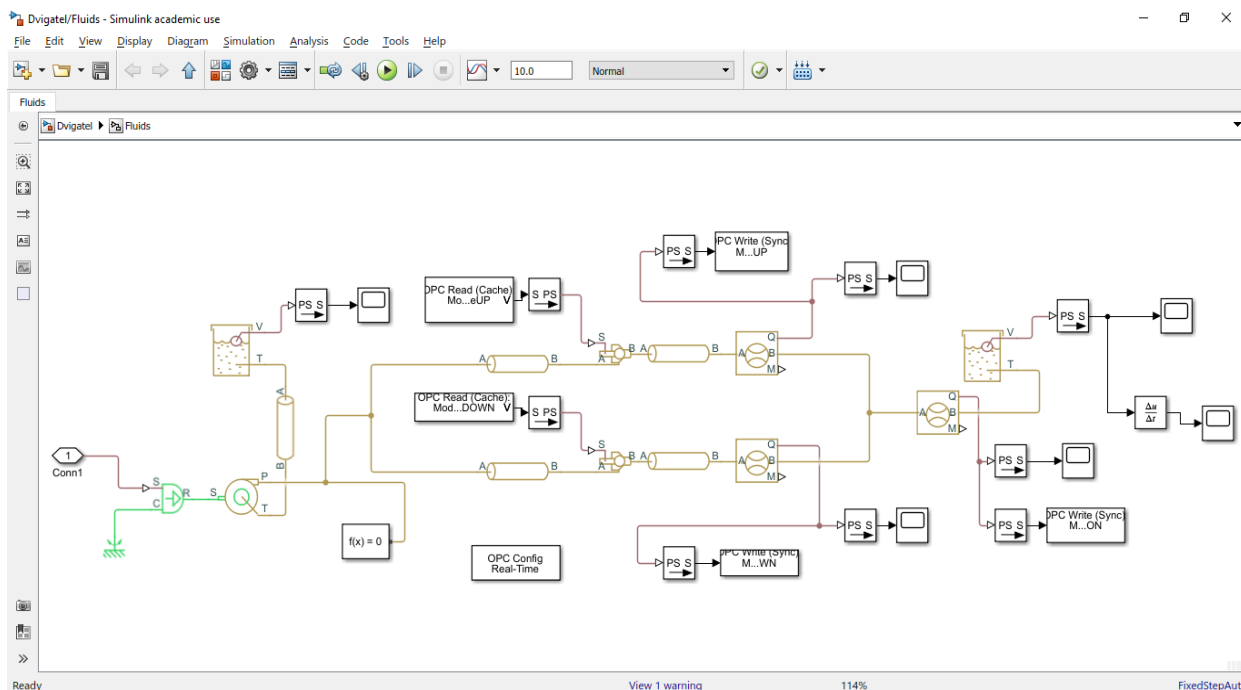


Рисунок 25 – Система перекачки продукта

Для перекачки используем модель насоса, представленную блоком «Centrifugal Pump». Настройка данного блока приведена далее.

Для любого насосного агрегата, подлежащего диагностированию и моделированию, необходимы следующие данные

- Поправочный коэффициент;
- Эталонная угловая скорость;
- Эталонная плотность;
- Сопротивление утечки;
- Крутящий момент приводного вала;
- Коэффициент крутящего давления;
- Аппроксимирующие коэффициенты.

Характеристики насоса, аппроксимированные четырьмя коэффициентами c_0 , c_1 , c_2 и c_3 , определяются для конкретной жидкости и определенной угловой скорости ведущего вала насоса. Эти два параметра и

значения коэффициентов приведены в справочном материале насосов. Чтобы применить характеристики для другой скорости ω или плотности ρ , используются законы сродства. С этими законами подача в эталонном режиме, которая соответствует заданной подаче насоса и угловой скорости, вычисляется по формуле 13:

$$q_{ref} = q * \frac{w_{ref}}{w} \quad (13)$$

где q и ω - мгновенные значения производительности насоса и угловой скорости.

Затем перепад давления p_{ref} в эталонном режиме вычисляется по уравнению 14 и преобразуется в перепад давления p при текущих угловой скорости и плотности (уравнение 15).

$$p_{ref} = \rho_{ref} * (k * (c_0 - c_1 * q_{ref}) - c_2 * q_{ref}^2 - c_3 * (q_D - q_{ref})^2) \quad (14)$$

где ρ_{ref} – плотность жидкости;

c_0, c_1, c_2, c_3 – аппроксимирующие коэффициенты;

q_{ref} – объемное нагнетание насоса при эталонном режиме;

q_D – номинальное нагнетание насоса.

$$p = \rho_{ref} * \left(\frac{w}{w_{ref}} \right)^2 * \frac{\rho}{\rho_{ref}} \quad (15)$$

Для моделирования емкостей используем блок «Tank», все характеристики данного блока представлены на рисунке 26.

Объемный расход через вывод есть функция перепада давления с этого вывода во внутреннюю часть резервуара. Скорость потока положительна, если перепад давления положительный, то есть если давление в канале выше, чем в резервуаре, и отрицательна в противном случае (формула 16):

$$q_i = A_i * \sqrt{\frac{2}{K_i * \rho}} * \frac{\Delta p_i}{(\Delta p_i^2 + p_{cr,i}^2)^{1/4}} \quad (16)$$

где A_i - внутренняя площадь поперечного сечения порта;

K_i - коэффициент потери давления, указанный для порта;

ρ - плотность гидравлической жидкости;

Δp_i - падение давления от порта к внутренней части резервуара;
 $p_{Cr, i}$ - критическое давление, при котором поток через порт переключается между ламинарным и турбулентным.

The screenshot shows the 'Parameters' tab of a 'Tank' block configuration window. The parameters are as follows:

Parameter	Value	Unit
Pressurization:	0	Pa
Tank volume parametrization:	Constant cross-sectional area	
Tank cross-section area:	0.8	m ²
Inlet pipeline diameter:	0.2	m
Pipeline pressure loss coefficient:	1.2	
Acceleration due to gravity:	9.80665	m/s ²
Minimum level of fluid:	1e-3	m
Check if fluid level violating minimum valid condition:	None	

Рисунок 26 – Характеристики блока Tank

Возьмем диаметр труб данной модели 20 сантиметров, что указано в поле Inlet pipeline diameter. Также укажем коэффициент свободного падения Acceleration due to gravity – 9.80665.

Все трубы представлены блоком Hydraulic Pipeline, все характеристики, представленные на рисунке 27, являются характерными и для остальных труб.

The screenshot shows the 'Parameters' tab of a 'Hydraulic Pipeline' block configuration window. The parameters are as follows:

Parameter	Value	Unit
Pipe cross section type:	Circular	
Pipe internal diameter:	0.2	m
Geometrical shape factor:	64	
Pipe length:	5	m
Aggregate equivalent length of local resistances:	1	m
Internal surface roughness height:	15e-6	m
Laminar flow upper Reynolds number limit:	2000	
Turbulent flow lower Reynolds number limit:	4000	
Pipe wall type:	Rigid	
Specific heat ratio:	1.4	
Initial pressure:	0	Pa

Рисунок 27 – Параметры блока Hydraulic Pipeline

Для управления системой воспользуемся шаровыми клапанами – Ball Valve. Здесь также укажем диаметр труб, а диаметр самого шара поставим – 0.21 метра (рисунок 28).

Клапан полностью закрыт при нулевом или отрицательном отклонении шара. Он полностью открыт, когда отклонение шара достигает или превышает (в зависимости от геометрии) значение, достаточное для полной очистки отверстия. Полностью закрытый клапан имеет площадь открытия, равную указанному параметру площади утечки, в то время как полностью открытый клапан имеет максимально возможную площадь открытия. Регулировка для внутренней утечки:

$$A_{Max} = \pi * r_0^2 + A_{Leak} \quad (17)$$

где A_{max} – максимальная площадь открытия;

r_0 – радиус отверстия;

A_{Leak} – внутренняя область между входом и выходом клапана.

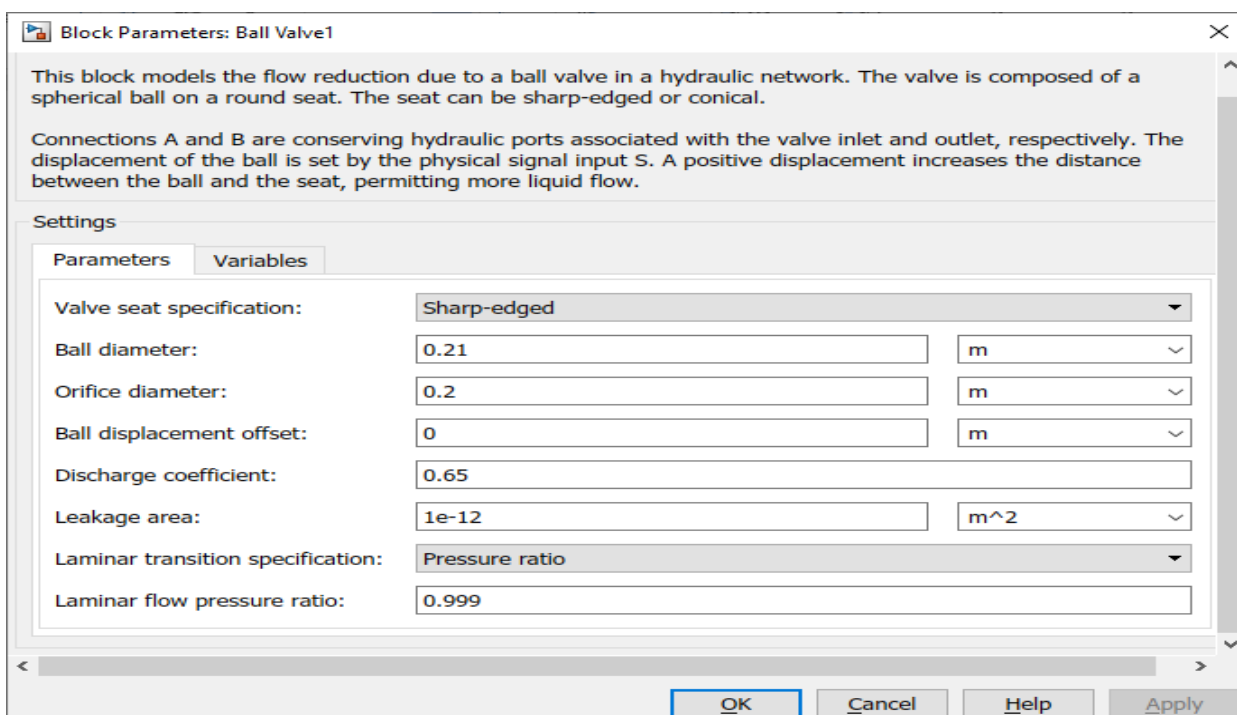


Рисунок 28 – Параметры шарового клапана

Расход будем считать с помощью блока Hydraulic Flow Rate Sensor. В данном блоке предусмотрен счетчик массового расхода и счетчик объемного расхода.

После того как обе модели готовы и протестированы следует соединить их в единую систему (рисунок 29).

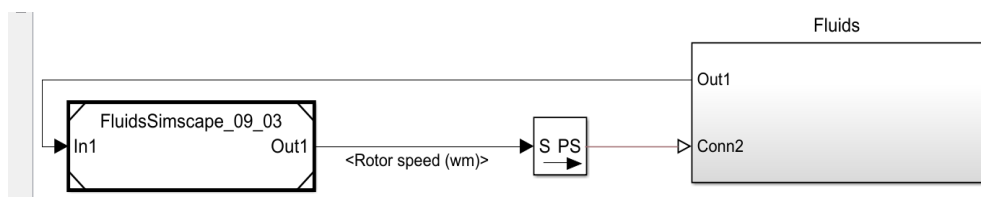


Рисунок 29 – Итоговая система перекачки продукта

3.4 Настройка OPC в MATLAB

Для передачи значений расхода, объема, токов и напряжения, а также управления с диспетчерского экрана необходимо использовать OPC server встроенный в MATLAB. Для этого в каждую модель необходимо поставить блок OPC Configuration, настройки его приведены на рисунке 30.

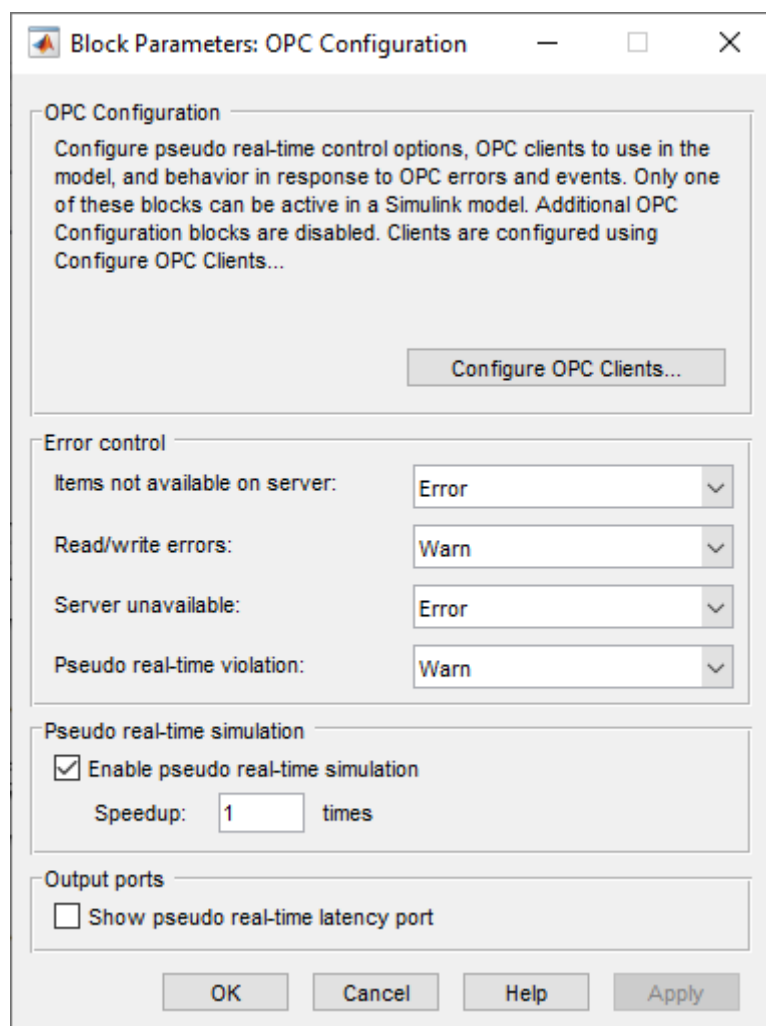


Рисунок 30 – Параметра блока OPC configuration

Для записи значений переменных в сервер используем блок OPC Write, для чтения значений переменных из OPC сервера используем блок OPC Read. Настройки для данных блоков идентичны и показаны на рисунке 31.

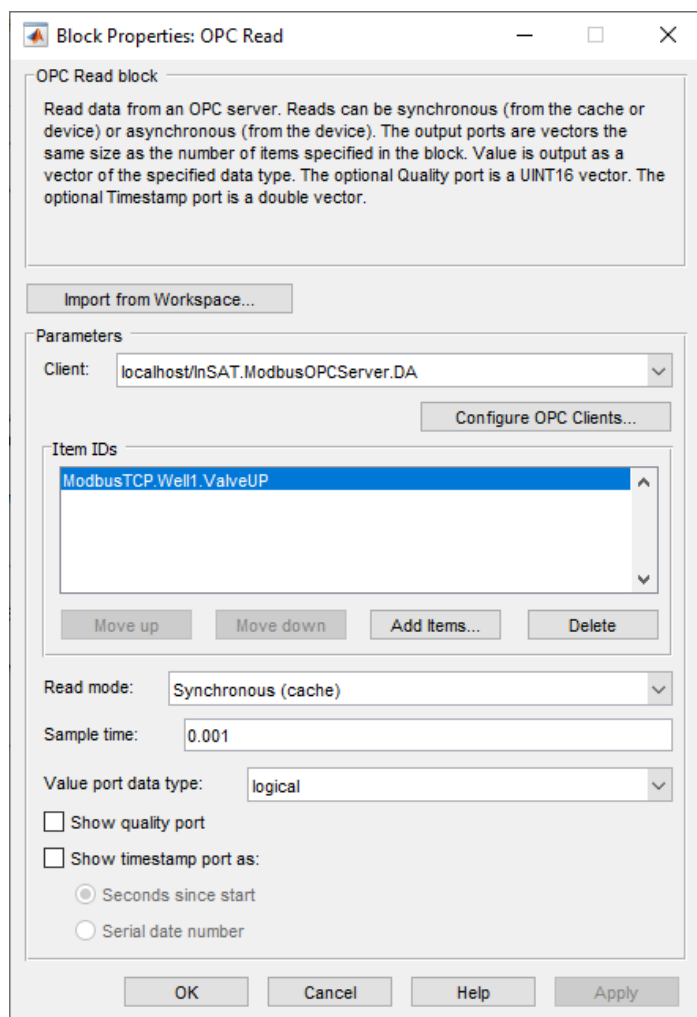


Рисунок 31 – Настройка блока OPC Read

3.5 Выводы по моделированию системы в MATLAB

Проектируемая модель отвечает заданным требованиям, что позволяет приступить к дальнейшему ее программированию в среде Tia Portal. Логика управления в модели работает исправно, все расходы и значения токов и напряжений выведены в осциллографы, привязаны к OPC серверу и представлены на рисунках. Данная модель является «идеальной» и не учитывает многие факторы, например такие как внешнее влияние среды на процесс добычи, показания многих датчиков исключены из модели и т.д.

Все расчеты приведены для времени дискретизации $2e-6$, следовательно, модель рассчитывается слишком длительно, что является минусом данного исследования.

3.6 Настройка OPC сервера «MasterOPC»

Протокол Modbus является общепромышленным стандартом [15].

Многие производители оборудования включают его в перечень поддерживаемых протоколов своих устройств. В данном разделе мы рассмотрим возможность подключения контроллера SIEMENS S7-1500 к Modbus Universal MasterOPC серверу, используя протокол передачи данных Modbus TCP.

MasterOPC позволяет использовать следующие виды протоколов [15]:

- Протокол Profibus, для этого следует к контроллеру по шине подключить коммуникационный модуль CM 1242-5;
- Протокол Profinet;
- GSM – соединение, для этого следует к контроллеру по шине подключить коммуникационный модуль CM 1242-7;
- Протокол Modbus TCP в обоих режимах (в Slave и в режиме Master);
- Modbus RTU, ASCII, USS, для этого следует к контроллеру по шине подключить коммуникационный модуль CM 1241. Данный протокол используется для работы с частотными преобразователями Micromaster.

При открытии основного окна MasterOPC выбираем создать новый проект, настройка которого показана на рисунке 32.

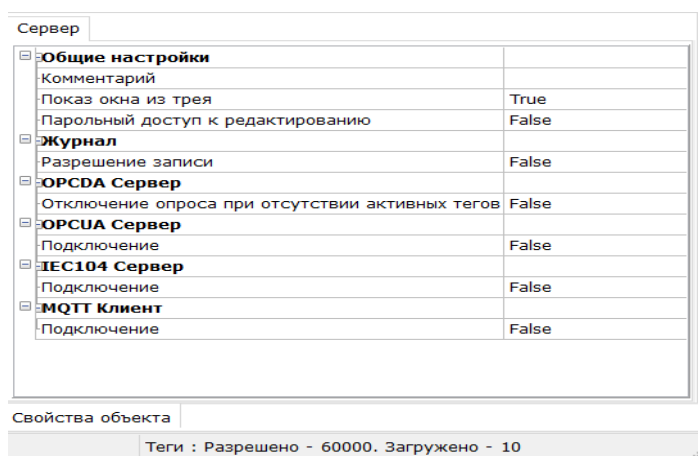


Рисунок 32 – Основные параметры сервера

Создадим новый коммуникационный узел под именем Modbus TCP, основными параметры которого являются IP адрес связываемого устройства, в нашем случае контроллер) и подключаемый порт – 502. Все настройки приведены на рисунке 33 [15].

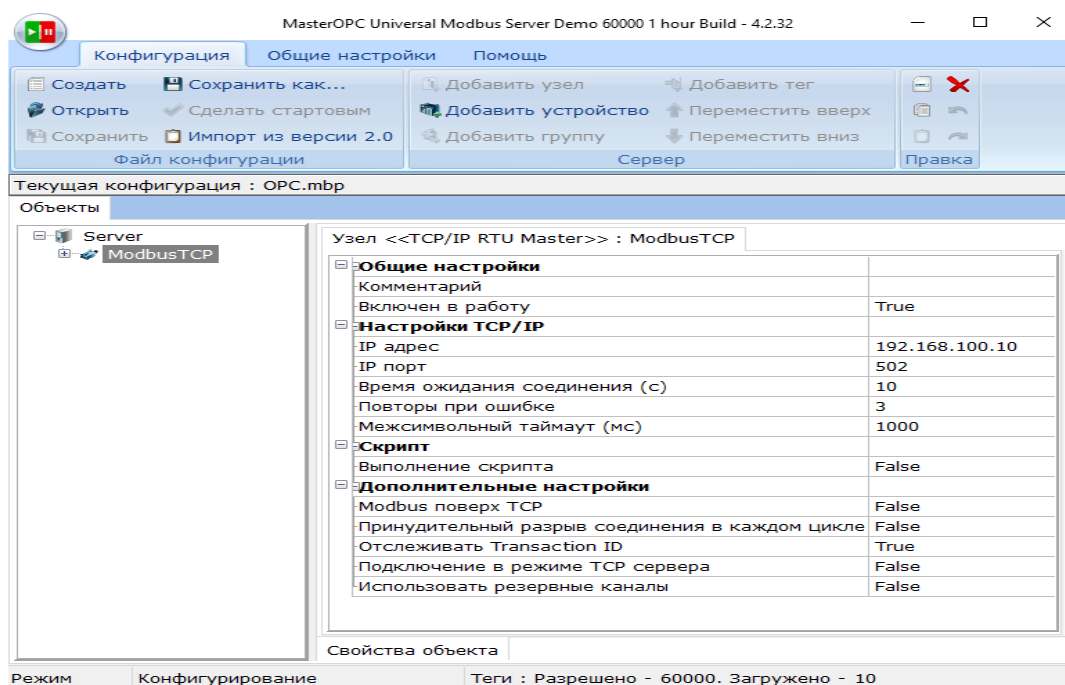


Рисунок 33 – Основные настройки коммуникационного узла

Далее добавим в коммуникационный узел устройство под названием Well. При создании данного устройства можно указать количество регистров для чтения, его адрес, период опроса и т.д. Все настройки указаны в рисунке 34.

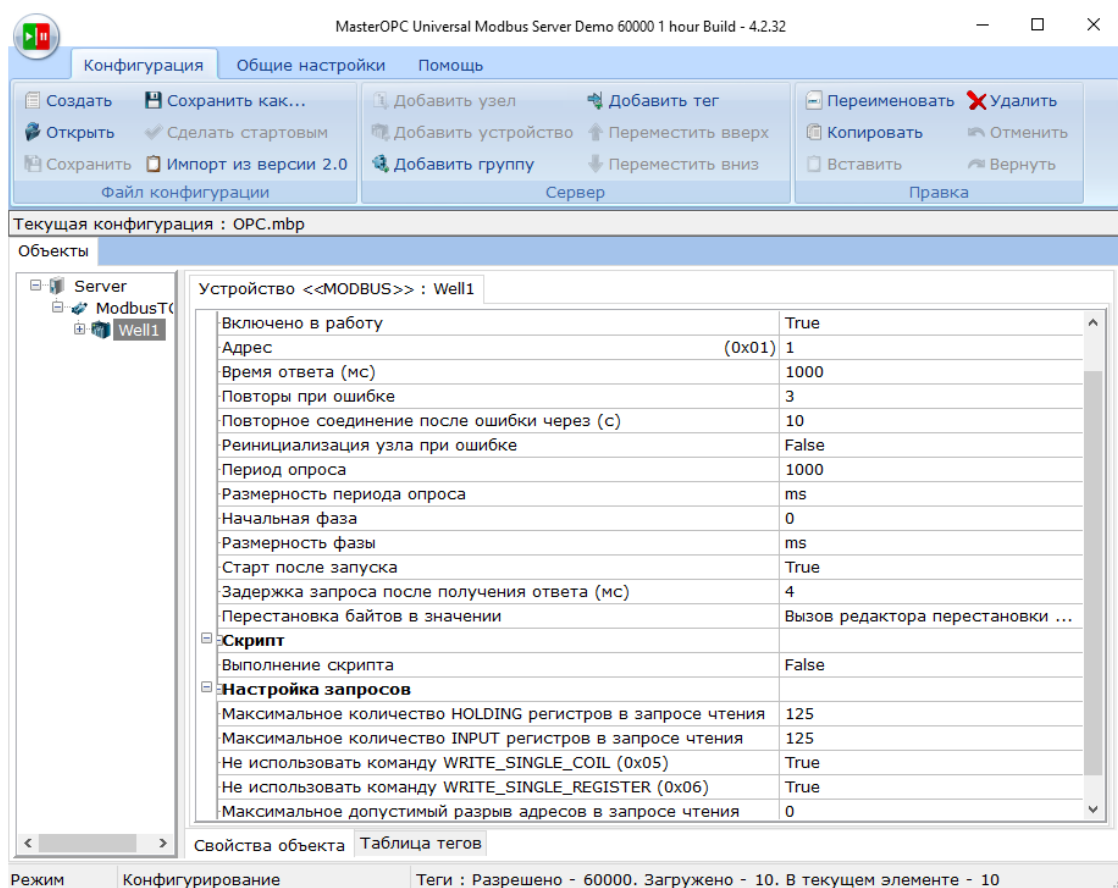


Рисунок 34 – Настройка устройства

Для корректной работы всей системы нужно добавить тэги, которые уже существуют в программном обеспечении MATLAB. Далее приведены общие настройки тэгов (рисунок 35) и таблица чтения регистров (таблица 1) [15].

Таблица 1 – Таблица чтения регистров

Наименование тэга	Тип данных в устройстве	Тип данных в сервере	Адрес	Значение
Current	Float	Double	0	Ток двигателя
Voltage	Float	Double	2	Напряжение двигателя
RotorSpeed	Float	Double	4	Скорость ротора
RateUP	Float	Double	6	Верхний расходомер
RateDOWN	Float	Double	8	Нижний расходомер
RateCOMMON	Float	Double	10	Общий расходомер
SetPoint	Float	Double	12	Уставка расхода
ValveUP	Float	Double	14	Верхний клапан

Продолжение таблицы 1 – Таблица чтения регистров

Наименование тэга	Тип данных в устройстве	Тип данных в сервере	Адрес	Значение
ValveDOWN	Float	Double	16	Нижний клапан
Start	Bool	Bool	18 бит 8	Подача питания

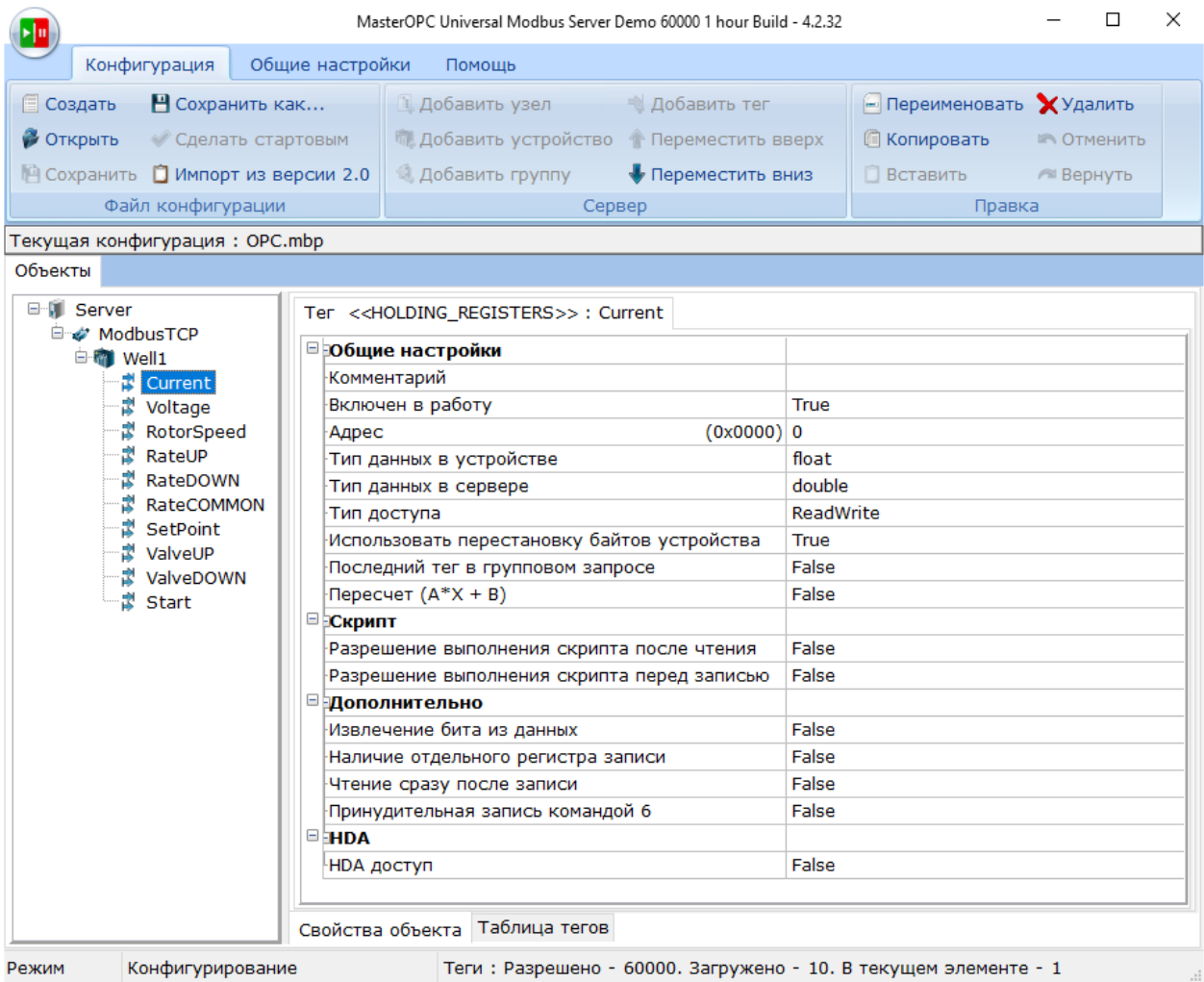


Рисунок 35 – Окно настройки тэгов

4. Программирование в среде TIA Portal

Для управления системой следует прописать логику в программном обеспечении TIA Portal. Разработанная логика должна:

- управлять питанием инвертора напряжение, к нему присвоен тэг Start;
- управлять отклонением шара в клапане, к ним присвоены тэги ValveUP и ValveDOWN;
- управлять скоростью ротора двигателя;
- передавать значения параметров диспетчеру.

Основное окно программного обеспечения TIA Portal приведено на рисунке 36.

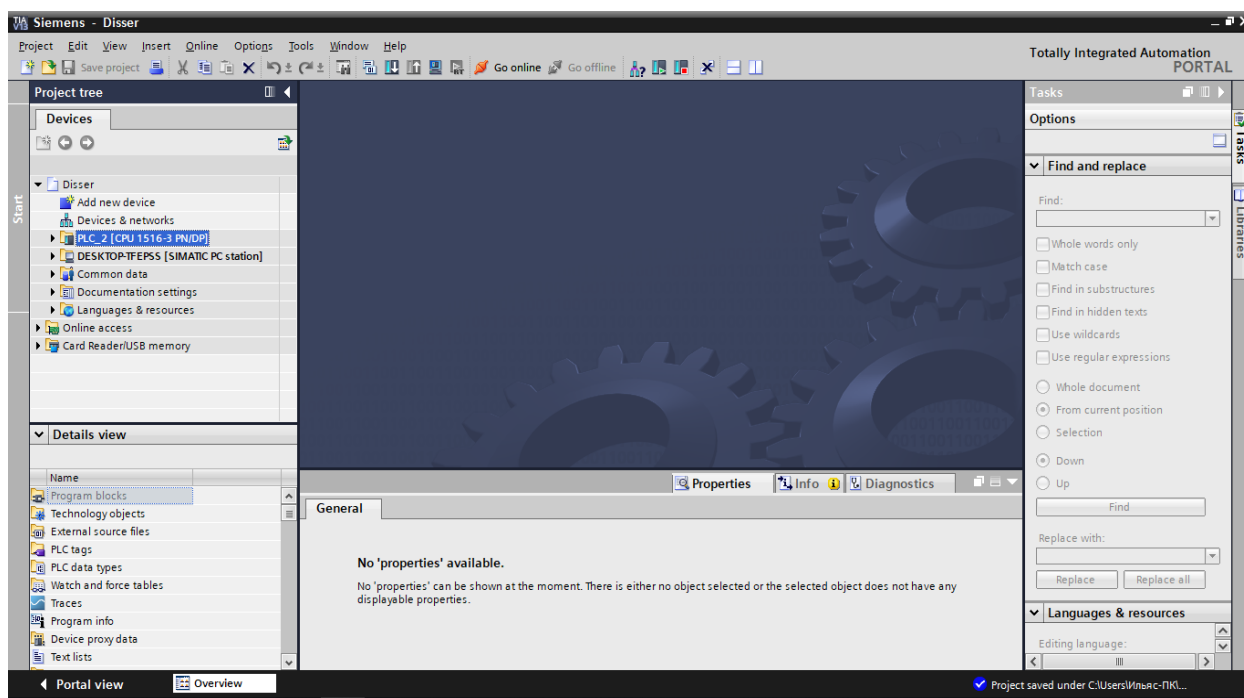


Рисунок 36 – Основное окно TIA Portal

После добавления программируемого контроллера s7-1500 и настроив его (рисунок 37) создадим базу данных для привязки тэгов в TIA Portal (рисунок 38).

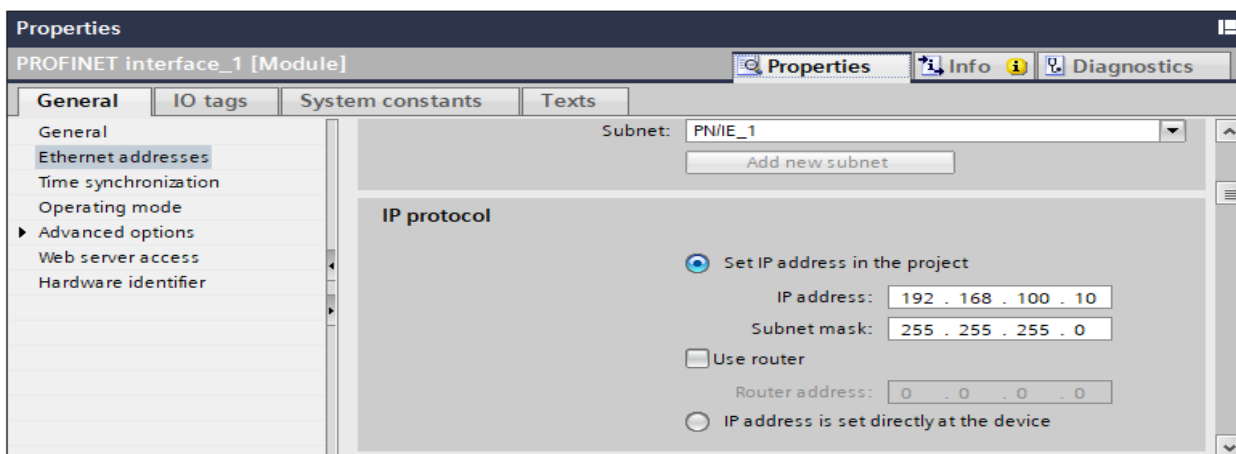


Рисунок 37 – Присвоение IP адреса контроллеру

Disser ▸ PLC_2 [CPU 1516-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Value [DB1]

	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint
1	▼ Static							
2	▼ data	Struct	0.0			☒	☒	
3	Current	Real	0.0	0.0		☒	☒	
4	Voltage	Real	4.0	0.0		☒	☒	
5	RotorSpeed	Real	8.0	0.0		☒	☒	
6	RateUP	Real	12.0	0.0		☒	☒	
7	RateDOWN	Real	16.0	0.0		☒	☒	
8	RateCOMMON	Real	20.0	0.0		☒	☒	
9	SetPoint	Real	24.0	0.0		☒	☒	
10	Start	Bool	28.0	false		☒	☒	
11	ValveUP	Bool	28.1	false		☒	☒	
12	ValveDOWN	Bool	28.2	false		☒	☒	

Рисунок 38 – Data Block 1

Чтобы создать блок OPC сервера, следует сначала создать базу данных для сервера, где будут прописаны его настройки. Такая база данных приведена на рисунке 39.

Disser ▸ PLC_2 [CPU 1516-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ MB_Config [DB3]									
MB_Config									
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint	
1	Static								
2	CONNECT	TCON_IP_v4	0.0			☒	☒		
3	InterfaceId	HW_ANY	0.0	64		☒	☒		
4	ID	CONN_OUC	2.0	1		☒	☒		
5	ConnectionType	Byte	4.0	11		☒	☒		
6	ActiveEstablished	Bool	5.0	false		☒	☒		
7	RemoteAddress	IP_V4	6.0			☒	☒		
8	ADDR	Array[1..4] o...	0.0			☒	☒		
9	ADDR[1]	Byte	0.0	192		☒	☒		
10	ADDR[2]	Byte	1.0	168		☒	☒		
11	ADDR[3]	Byte	2.0	100		☒	☒		
12	ADDR[4]	Byte	3.0	1		☒	☒		
13	RemotePort	UInt	10.0	0		☒	☒		
14	LocalPort	UInt	12.0	502		☒	☒		
15	ndr	Bool	14.0	false		☒	☒		
16	dr	Bool	14.1	false		☒	☒		
17	error	Bool	14.2	false		☒	☒		
18	status	Word	16.0	16#0		☒	☒		
19	fds	Word	18.0	16#0		☒	☒		

Рисунок 39 – Data block 3 MB_Config

В данной базе данных прописаны адрес персонального компьютера для связи с OPC сервером, локальный порт, параметры соединения и другие настройки.

Для разработки логики использовался язык FBD, это графический язык, который имеет широкий диапазон возможностей. OPC server на языке FBD представлен на рисунке 40. Все привязанные настройки взяты из Data Block 3.

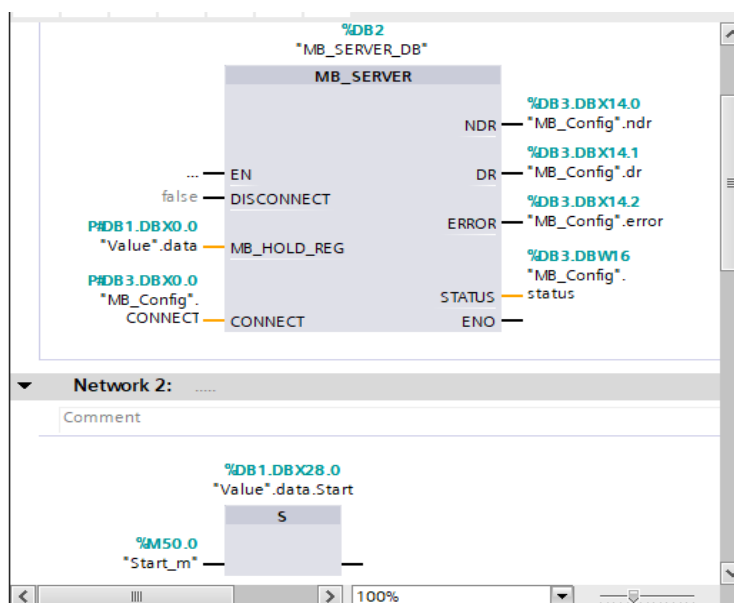


Рисунок 40 – Часть программного кода, описывающий OPC сервер

Для поддержания расхода на заданном уровне следует добавить PID – регулятор (рисунок 41). P, I и D составляющие взяты из программного обеспечения MATLAB, при помощи настройки TUNE в блоке PID.

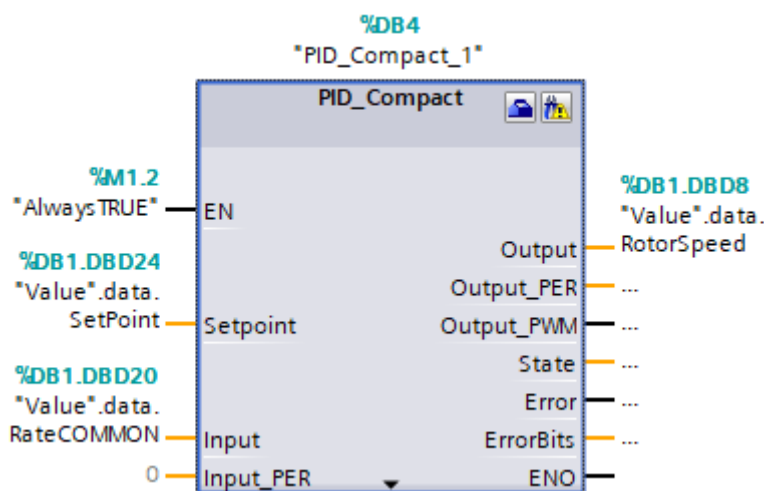


Рисунок 41 – Блок PID – регулятора

4.1 Запуск системы

Используя все вышеперечисленное:

- Финальную модель электродвигателя;
- OPC server MasterOPC;
- Разработанную логику в TIA Portal.

Ниже приводятся результаты тестирования и объяснение, почему модель не эффективна.

Так как общая модель, в которой присутствуют финальная модель электродвигателя и модель перекачки продукта, имеет время моделирования (время дискретизации) $T_s = 2e-6$ и в системе присутствует обращение к модели двигателя, то время моделирования занимает огромное количество времени. Судить об этом можно исходя из рисунков 42, 43. Исследуя эти рисунки видно неэффективность в плане ресурсозатрат разработанной системы. В первом окне видно, что при $t = 17,03$ общий расход (RateCOMMON) равен 0,011224 кг/с, а во втором окне при $t = 17,26$ общий расход равен 0,012673 кг/с при заданной уставке дебита скважины 120 кг/с. Было принято решение напрямую

задавать с TIA Portal значение скорости на насос в модель перекачки продукта, что видно на рисунке 44. Полученные результаты можно видеть на рисунках 45, 46.

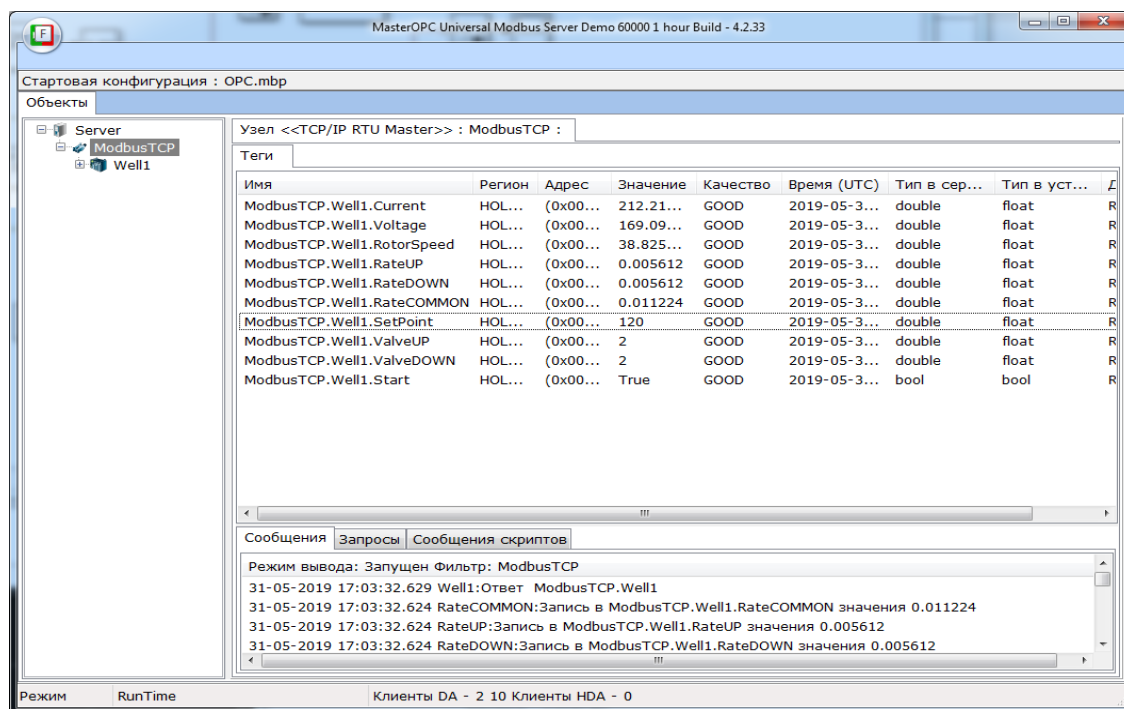


Рисунок 42 – Отображение значений переменных в MasterOPC при запущенном процессе

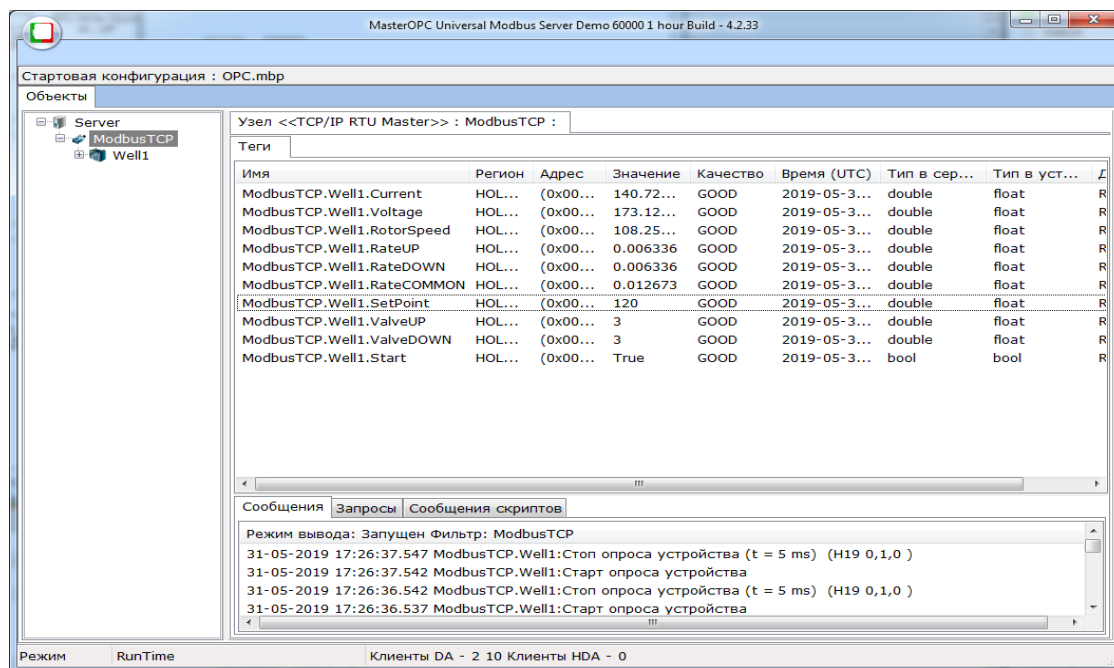


Рисунок 43 – Отображение значений переменных в MasterOPC при запущенном процессе

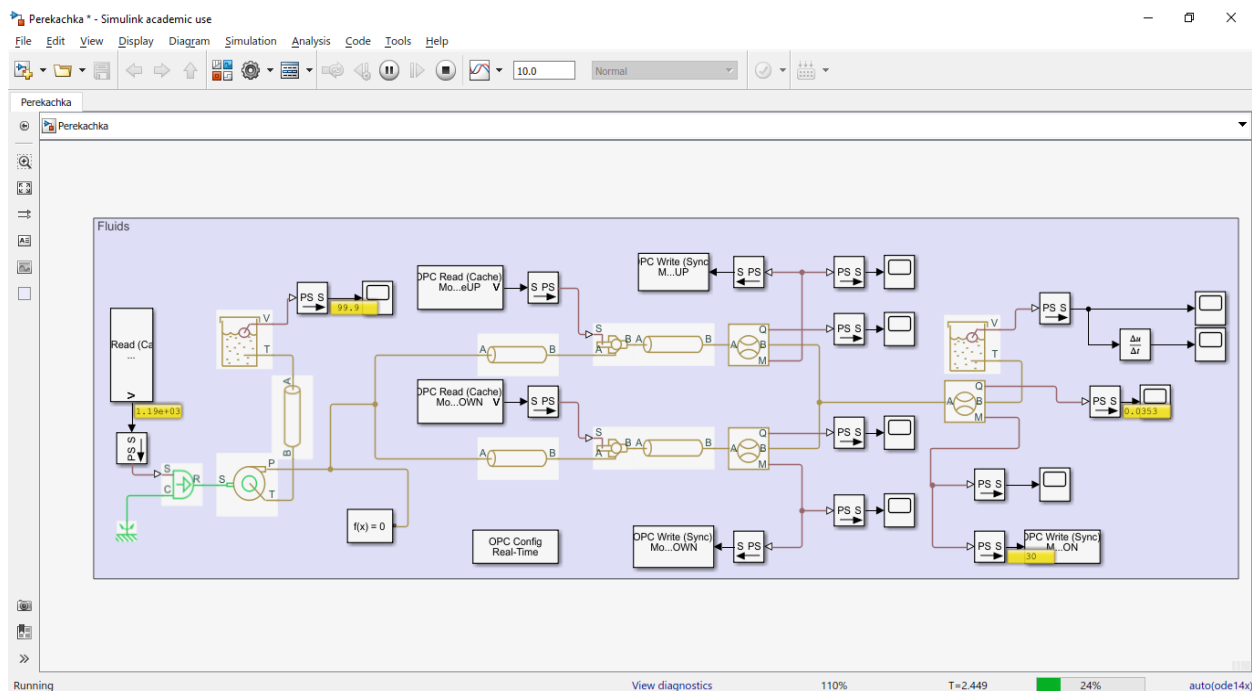


Рисунок 44 – Финальная модель перекачки

При проведении эксперимента уставка изменялась в пределах (от 0 до 72). Первая уставка была 10, модель адекватно реагирует на задание уставки, PID – регулятор сохраняет расход на заданном уровне скорость ротора при этом изменяется. Далее уставка изменялась (от 20 до 72), затем снова до 20 и 10.

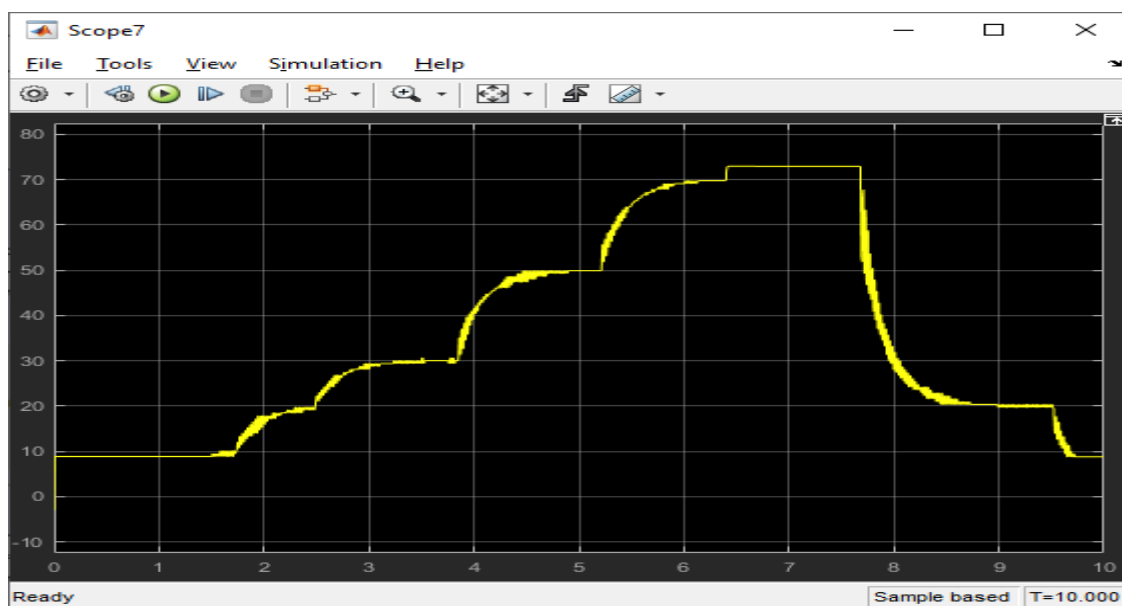


Рисунок 45 – График полученного расхода в MATLAB

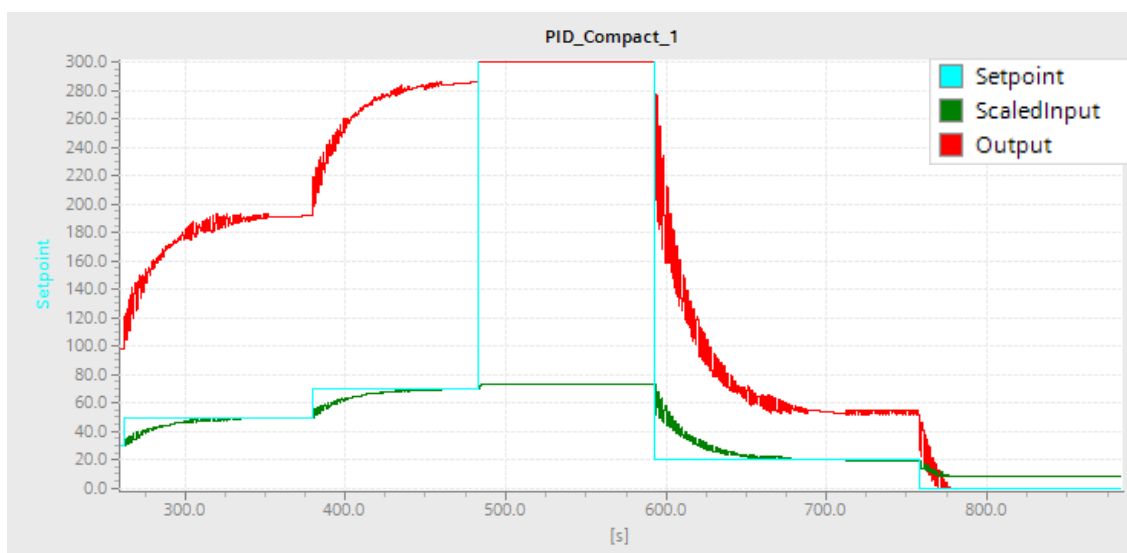


Рисунок 46 – График PID – регулятора в TIA Portal

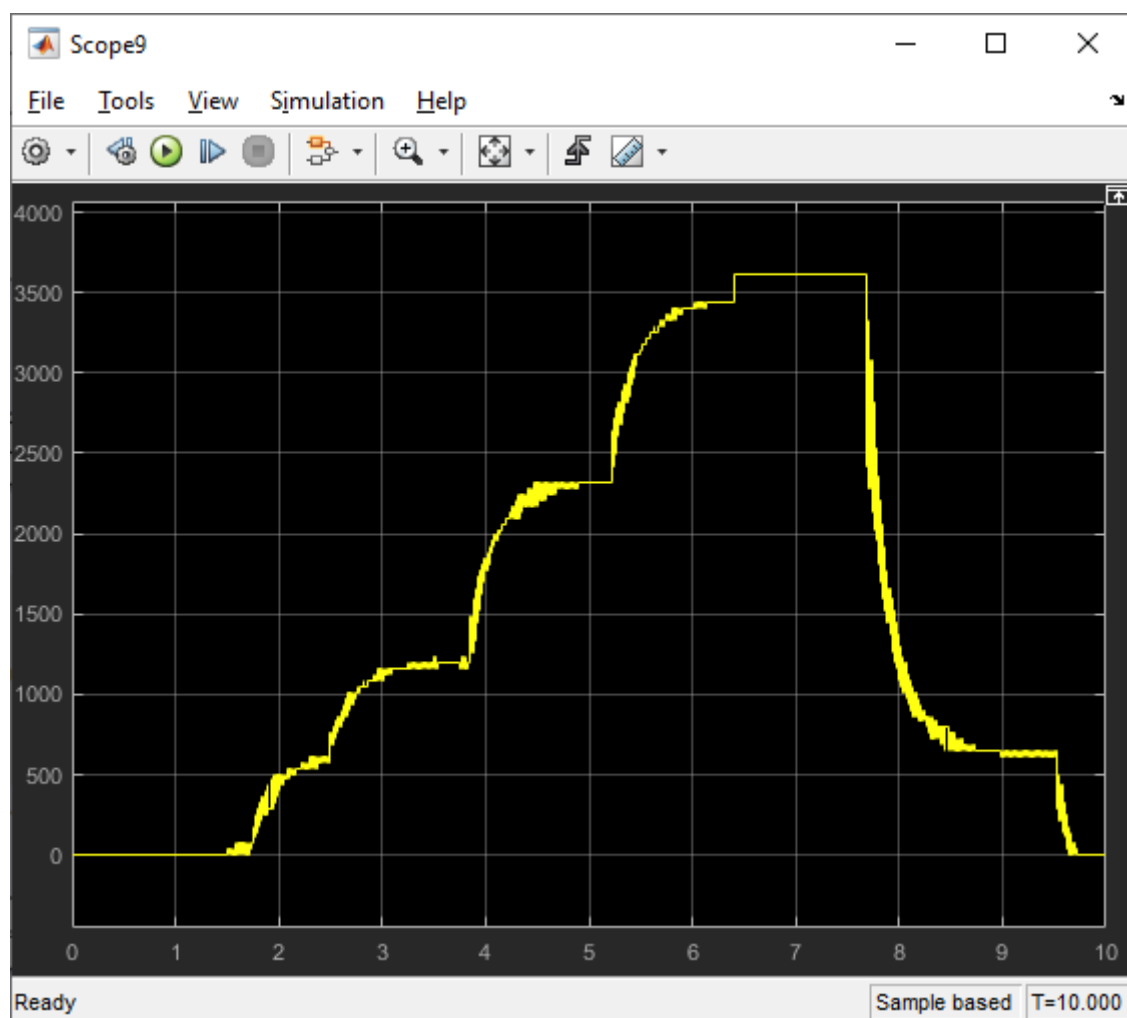


Рисунок 47 – График полученной скорости после PID - регулятора

Полученные результаты говорят о том, что модель работоспособна, и адекватно реагирует на задание уставки расхода с SCADA системы. На

рисунках 48 – 49 представлены SCADA – экраны, с помощью которых оператор может отслеживать показатели системы, такие как скорость вращения ротора, общий расход, а также задавать уставку расхода, на которую будет равняться PID – регулятор.

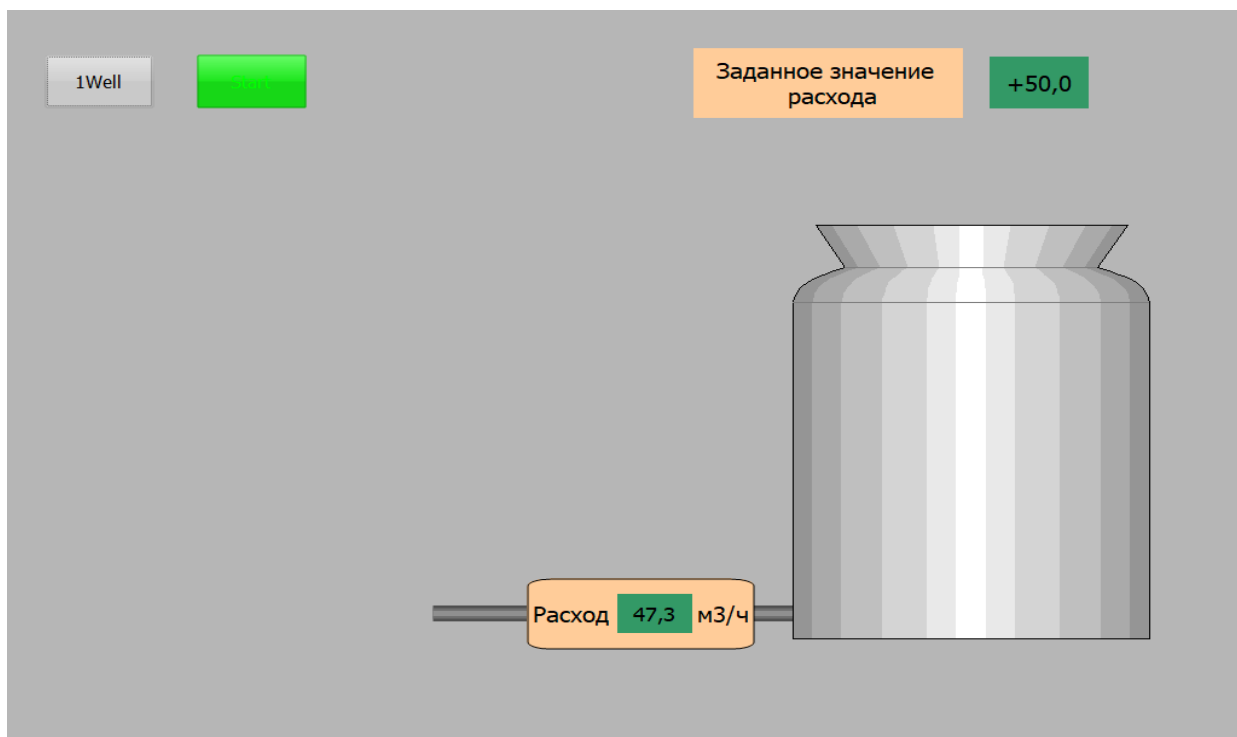


Рисунок 48 – Главный экран оператора

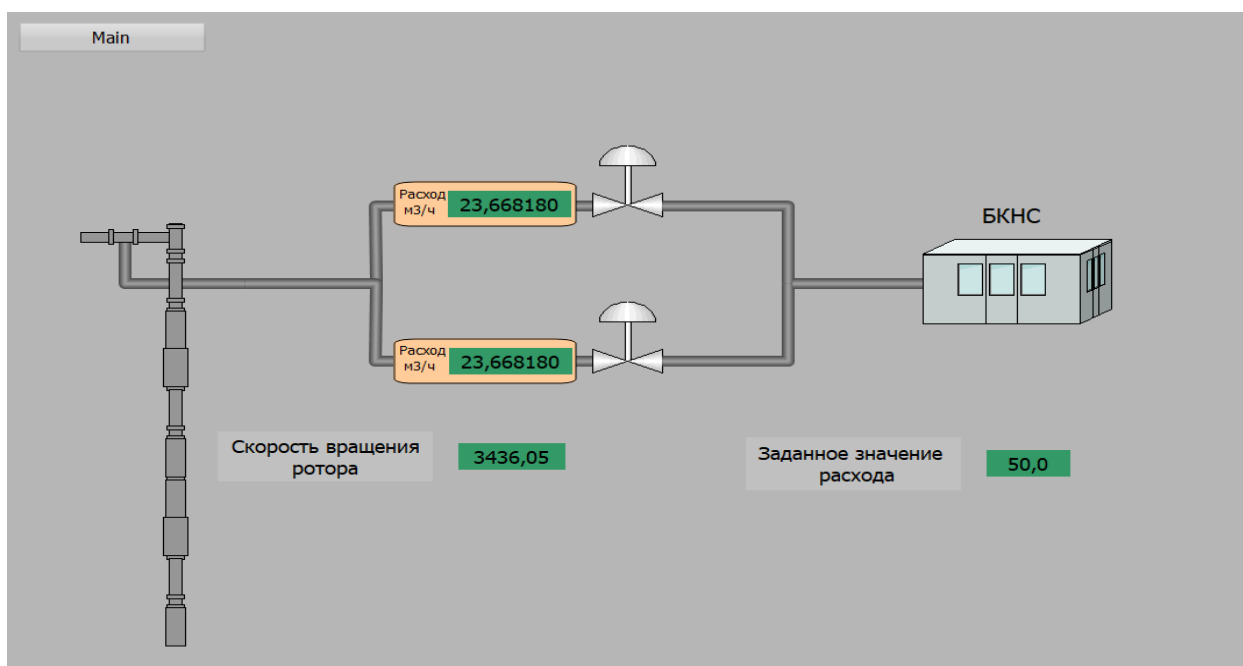


Рисунок 49 – Экран 1 скважины (Well 1)

5 Аппаратные и программные средства

Для осуществления возможности моделирования необходимо подобрать элементную базу: персональный компьютер с операционной системой Windows, промышленный логический контроллер. Также в этой главе будет описано осуществление связи между PLC и программным пакетом Matlab, средствами протокола OPC.

Так как система позволяет провести моделирование с использованием любого оборудования, выбор определенных клапанов и датчиков не обязателен. При моделировании характеристики выбранного оборудования заносят в параметры соответствующих блоков.

5.1 Промышленный логический контроллер

В современном производстве на всех уровнях присутствует автоматизация систем управления. Для внедрения в производство АСУ ТП являются используются специальные программируемые микроконтроллеры (PLC), такие как Siemens Simatic S7-1500 (рисунок 50). Они рассчитаны на выполнение конкретных задач и ориентированы на работу в реальном [16].

Фирма Siemens является одним из крупнейших разработчиков программируемых микроконтроллеров, которые могут предложить потребителю комплексные микроконтроллерные системы. Однако данная марка безоговорочно лидирует, когда речь заходит о качестве и надежности. Ярким примером такого подхода является система модульных микроконтроллеров Simatic S7-1500.

PLC Simatic S7-1500 - это самая новая линейка контроллеров от компании Siemens, который обладают передовыми характеристиками, разнообразным функционалом, и также отличным быстродействием. В новых контроллерах 1500 серии снижена задержка отклика на возмущения. Именно поэтому PLC семейства S7-1500 может быть использованы для решения задач высокого уровня сложности. Контроллер имеет естественное охлаждение [16].

Удобная конструкторская реализация PLC, а также его многомодульность позволяют его адаптировать к требованиям решаемой задачи. Если проект будет расширен 1500 контроллер позволяет нарастить модуля для продолжения работы. S7-1500 PLC защищает данные и программное обеспечение встроенное в контроллер, что дает пользователям дополнительный уровень безопасности.



Рисунок 50 – Внешний вид ПЛК S7-1500

5.1.1 Состав S7-1500

Все доступные модули в линейке семейства присоединяются к PLC с помощью профильной шины 1500 PLC. Одна монтажная стойка позволяет поддерживать 32 модуля для корректной работы. Модули расширения можно ставить в любой последовательности. Дополнительные стойки можно присоединить к контроллеру S7-1500 с помощью модуля ET 200MP, соединение будет осуществлено с помощью сети PROFINET [16].

Эксплуатационные характеристики повышаются благодаря съемному дисплею. В контроллере, без применения программатора, можно изменить практически все характеристики благодаря возможности заменимости дисплея. Вся диагностическая информация, alarms (аварии), состояния

модульного подключения, информацию по модулям, а также версию программного обеспечения. S7-1500 позволяет проводить горячую замену дисплея.

Контроллеры серии S7-1500 обладают широкими коммуникационными возможностями. Программирование АСУ на базе контроллеров Simatic S7-1500 осуществляется с помощью пакета программ TIA Portal. На контроллеры данной серии устанавливаются семь типов процессоров различной производительности: CPU 1511-1PN, CPU 1513-1PN, CPU 1515-2PN, CPU 1516-3PN/DP, CPU 1516F-3PN/DP, CPU 1518-4PN/DP, CPU 1518F-4PN/DP. Сравнительные характеристики процессоров S7-1500 приведены на рисунке 51 [16]:

	CPU 1511-1 PN	CPU 1513-1 PN	CPU 1515-2 PN	CPU 1516-3 PN/DP	CPU 1516F-3 PN/DP	CPU 1518-4 PN/DP	CPU 1518F-4 PN/DP
Рабочая память, RAM:							
• для программы	150 кбайт	300 кбайт	500 кбайт	1 Мбайт	1.5 Мбайт	3 Мбайт	4.5 Мбайт
• для данных	1 Мбайт	1.5 Мбайт	3 Мбайт	5 Мбайт	5 Мбайт	10 Мбайт	10 Мбайт
Загрузочная память	SIMATIC Memory Card емкостью до 32 Гбайт						
Типовое время выполнения:							
• логических операций	60 нс	40 нс	30 нс	10 нс	10 нс	1 нс	1 нс
• операций со словами	72 нс	48 нс	36 нс	12 нс	12 нс	2 нс	2 нс
• математических операций:							
- с фиксированной точкой	96 нс	64 нс	48 нс	16 нс	16 нс	2 нс	2 нс
- с плавающей точкой	384 нс	256 нс	192 нс	64 нс	64 нс	6 нс	6 нс
Кол-во флагов/таймеров/счетчиков	131072/ 2048/ 2048						
Кол-во OB, FB, FC, DB на программу, не более	2000	2000	6000	6000	6000	10000	10000
Размер, не более:							
• OB, FB, FC	150 кбайт	300 кбайт	500 кбайт	512 кбайт	512 кбайт	512 кбайт	512 кбайт
• DB	1 Мбайт	1.5 Мбайт	3 Мбайт	5 Мбайт	5 Мбайт	10 Мбайт	10 Мбайт
Кол-во модулей ввода-вывода на систему, не более	1024	2048	8192	8192	8192	8192	8192
Встроенные интерфейсы							
• PROFINET IRT, 10/100 Мбит/с	1 (2x RJ45)	1 (2x RJ45)	1 (2x RJ45)	1 (2x RJ45)	1 (2x RJ45)	1 (2x RJ45)	1 (2x RJ45)
• PROFINET, 10/100 Мбит/с	-	-	1 (1x RJ45)	1 (1x RJ45)	1 (1x RJ45)	2 (2x RJ45)	2 (2x RJ45)
• PROFIBUS, до 12 Мбит/с	-	-	-	1	1	1	1
Габариты, мм	35x125x130	35x125x130	70x125x130	70x125x130	70x125x130	175x125x130	175x125x130

Рисунок 51 – Сравнительные характеристики процессоров S7-1500

Для выполнения поставленных задач нам потребуется контроллер SIMATIC S7-1500 с процессором CPU 1516-3PN/DP, серийный номер: 6ES7 516-3AN01-0AB0, версия прошивки – 4,5.

5.1.2 Особенности S7-1500

ПЛК S7-1500 позволяет сохранять данные при отключении питания, исключая буферные батареи, с помощью карты памяти размером до 2 Гб.

Memory Card также позволяет сохранять проект Step7 не исключая символьные имена.

Для обмена данными между контроллером и подключенным устройством используется скоростная шина, скорость у которой достигает 400 Мб/с. Данные решения позволяет значительно сократить до минимума время цикла, также время ответа по схеме терминал-терминал не превышает 100 мкс [16].

5.1.3 Защита информации

Возможность установки защиты к доступу контроллера позволяет избежать копирования или изменения данных загруженных в контроллер, а так позволяет защитить карты памяти, библиотеки, от несанкционированного просмотра. С помощью привязки отдельных или совместных блоков к индивидуальному номеру модуля ЦПУ их чтение или копирование, изменения может быть запрещено. Реализовано 4 уровня доступа к центральному процессору (подключения НМІ происходят после ввода пароля), организация уровней доступа (1 – 3) с помощью персональных паролей. Защита от манипуляции данными, включая защиту целостности данных проекта и системы связи, целостности и подлинности обновлений встроенного программного обеспечения, обеспечивает защиту от внешних атак [16].

5.2 Технология OPC

Для обеспечения связи между ПЛК и моделью системы в программном пакете MATLAB будет использоваться технология пакетной передачи данных ETHERNET. Для осуществления данной схемы подключения нужно использовать OPC-сервер [17].

OPC - это набор открытых протоколов, регламентирующих взаимодействие между собой различных объектов автоматизации, таких как SCADA-системы, к примеру. OPC DA (Data Access) — это один из таких

протоколов, он обеспечивает обмен данными с устройствами или программными компонентами

OPC-сервер – программа, осуществляющая взаимосвязь между клиентом и сервером, которая получает данные используя внутренний формат клиента, с последующим преобразованием в формат сервера. По своей сути OPC-сервер – это некоторая универсальная модель физического оборудования, обеспечивающий взаимодействие с любым OPC-клиентом.

Программа или устройство, которая или которое соответственно принимает различные данные от сервера является OPC - клиентом.

Для обеспечения интеграции оборудования в верхний уровень АСУ ТП, а именно в систему диспетчеризации достаточно поддержки SCADA-ой всех существующих протоколов передачи данных, используемых данным оборудованием [17].

Существует большое разнообразие производителей и их продукции, поэтому для применения SCADA необходимо использовать стандартные протоколы обмена данными (Modbus, LonTalk, Profibus), но это приводит к увеличению себестоимости АСУ ТП. Кроме того, уже на существующих объектах, где уже установлена SCADA существует вероятность замены элементов, которое может использовать новый протокол обмена данными, который не поддерживается данным решением. Для решения этой проблемы было предложено использование стандартного подхода к обмену данными, что и выполняет OPC сервер.

Суть OPC сервера лежит в том, что производитель оборудования предоставляет пользователю специальное программное обеспечение (OPC сервер), которое реализует закрытый протокол обмена данными с отдельным оборудованием и передает данные в унифицированном виде. Технология OPC (рисунок 52) построена по клиент-серверному принципу. В основе технологии заложена компонентная модель – COM (Component Object Model).

Технология COM представляет собой набор интерфейсов (набор функций, которые может вызывать клиент для обмена данными с COM

сервером). Эти функции позволяют считать количество и тип переменных, которые зарегистрированы, считать их значение, выполнить подписку на эти значения и записать значения в OPC сервер [17].

Так как подсистемы готовятся заранее конечной системы и все интерфейсы, используемые в работе, фиксируется также заранее OPC выходит на новый уровень использования, ведь все вышеупомянутое является главной особенностью OPC технологии.

Определенно достоинством применения технологии OPC также является легкая и в целом незаметная модернизация приложений, это возможно благодаря применению технологии COM (рисунок 52).



Рисунок 52 – Структурная схема связи программных комплексов по OPC

Технология OPC позволяет применять сетевую интеграцию, поддержку, и другие сервисы, которые предоставляются операционной системой. Технология OPC двоякая, она одновременно и мощная, но и сложна в использовании.

В рамках данной выпускной квалификационной работы необходимо выполнять моделирование в реальном времени, для этого будет использоваться OPC-сервер от компании «ИнСат», запуск которого, будет описана ниже. В качестве клиента, будет выступать программный пакет Matlab/Simulink [17].

5.3 Программный пакет MATLAB

В рамках текущей работы нам необходимо выполнять математическое моделирование, для этого потребуется мощный инструмент, который позволит выполнять моделирование в реальном времени, и который имеет возможность работать в качестве OPC-клиента. В качестве такого программного пакета был выбран MATLAB [18].

«MATLAB — это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов (рисунок 53)».

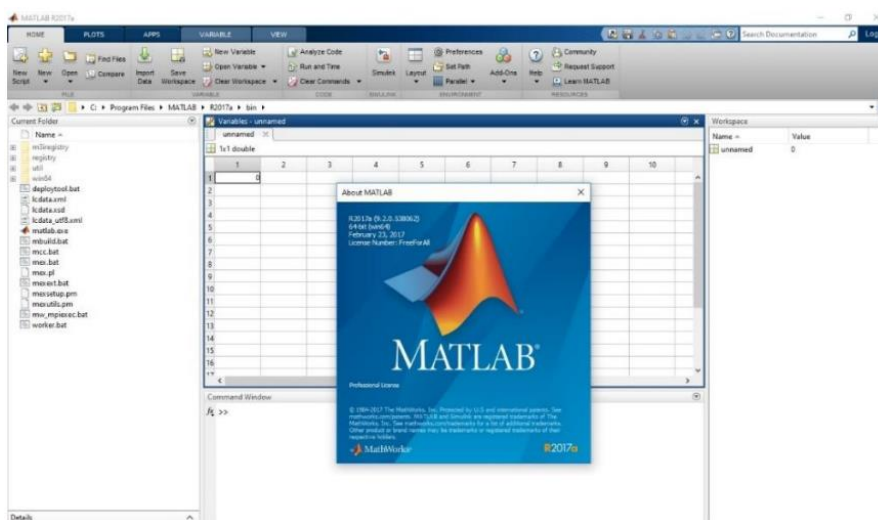


Рисунок 53 – Главное окно программного пакета MATLAB

С помощью программного пакета MATLAB можно проводить анализ данных, программировать, а также проектировать и моделировать. Для создания математических моделей. Мы будем использовать пакет «MATLAB Simulink – графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы», с помощью которого смоделируем 3-фазный асинхронный погружной электродвигатель [18].

Для решения любой задачи проектирования необходимо использовать расширения Simulink.

Для связи сервера с MATLAB необходимо обратиться к библиотеке Toolbox, которая имеет в арсенале набор интерфейсов для работы с OPC - сервером. Все вышеупомянутое позволяет наладить взаимосвязь между программным обеспечением MATLAB и внешними аппаратными средствами, которые обмениваться с ним данными. Таким образом был выбран математический пакет, который отвечает необходимым требованиям для осуществления математическое моделирования [18].

5.4 Среда разработки SIEMENS TIA PORTAL

Основной средой разработки программного обеспечения для ПЛК компании Siemens является TIA PORTAL (рисунок 54). Именно этот программный пакет будет использоваться для написания управляющей программы для передачи и приема данных из программного пакета MATLAB, так как в TIA PORTAL есть встроенный OPC-сервер, а также полная совместимость с приводами Sinamics [19].

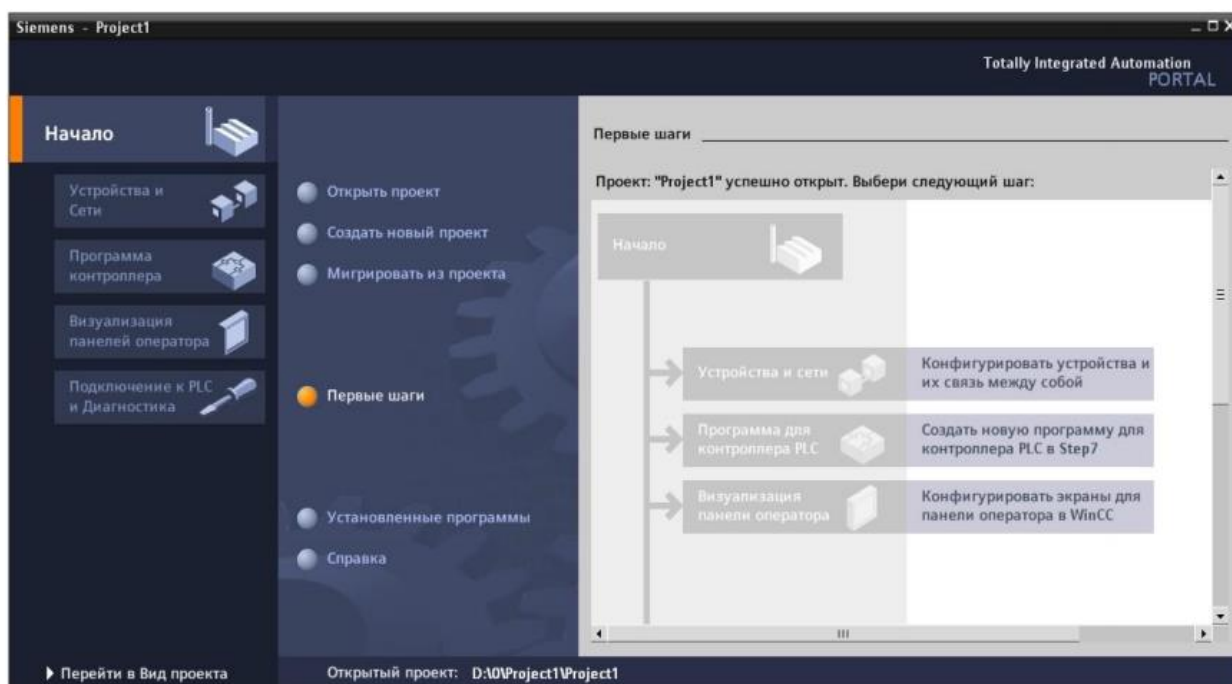


Рисунок 54 – Главное окно программного обеспечения TIA Portal

Данное ПО позволяет достигать наиболее высокую эффективность разработки любых проектов АСУ ТП, основывающихся на использовании PLC SIMATIC и интерфейса SIMATIC HMI.

Так как все подпрограммы TIA Portal пользуются одной и той же базой данных, все изменения, которые вносятся в модель, используя любой редактор, сохраняются и становятся доступными всем средствам без повтора ввода тех же самых данных [19].

«TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — интегрированная среда разработки программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов от уровня приводов и контроллеров до уровня человеко-машинного интерфейса.» Она является воплощением концепции комплексной автоматизации (англ. Totally Integrated Automation) и эволюционным развитием семейства систем автоматизации Simatic компании Siemens AG»

В TIA Portal интегрированы три основных программных пакета:

- Simatic Step 7 – для программирования контроллеров S7-1500, S7-1200, S7-300, S7-400 и WinAC;
- Simatic WinCC – для разработки человеко-машинного интерфейса (от простейших кнопочных панелей до сложных конфигураций уровня SCADA).

Таким образом использование TIA PORTAL позволяет обходиться лишь одним программным пакетом и докупать дополнительное программное обеспечение [19].

5.5 Выводы по 5 главе

Во второй главе были осуществлены описание и выбор аппаратных и программных средств стенда, на котором будет осуществляться математическое моделирование.

В качестве главного управляющего модуля будет использоваться программируемый логический контроллер компании Siemens S7-1500, данный

контроллер свободно программируется и позволяет писать программы любого уровня сложности, а также обладает интерфейсом Profinet, который позволяет осуществлять обмен данными между контроллером и программным пакетом MATLAB.

Для написания управляющей программы используется среда проектирования TIA PORTAL, которая также позволяет сконфигурировать и запустить OPC-сервер.

В качестве среды написания математической модели – используется программный пакет MATLAB, который позволяет осуществлять проектирование моделей любой сложности, а также проводить моделирование в реальном времени.

Подводя итоги, можно сказать, что в рамках второй главы были подобраны все основные программные компоненты стенда для осуществления полунатурного моделирования. А также приведено обоснование применения аппаратных средств создания модели.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Разработка, которой посвящена данная работа, представляет собой модуль процесса нефтедобычи, обеспечивающий поддержание на заданном уровне требуемых характеристик, на основе физической модели построенной в ПО MATLAB.

Исходя из особенностей модуля, можно судить о круге лиц, которые потенциально будут заинтересованы в разработке. Целевым рынком нынешней разработки являются компании, основной деятельностью которых является добыча -нефте и газопродуктов. Все компании, нуждающиеся в автоматизации технологического процесса добычи -нефте и газопродуктов, будут заинтересованы в такого рода программном продукте. Однако, в силу наличия в приложении искусственного интеллекта, работа может быть интересна также для лиц, занимающихся научно-исследовательской деятельностью, связанной с методами машинного обучения.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результат сегментирования представлены на таблице 2.

В таблице 2 приводятся основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, направление деятельности. Буквами обозначены компании: «А» - ООО «Элком+», «В» - ООО «ЭТН-Циклон», «С» - АО «ЭлеСи». Исходя из анализа карты сегментирования, можно сделать вывод о том, что разработка SCADA-системы и выполнение строительно-монтажных работ являются наиболее предпочтительным объектом для разработок среди крупных и средних компаний.

Таблица 2 – Сегментирование рынка

		Вид деятельности			
		Разработка АСУ ТП	Строительно-монтажные работы	Разработка SCADA-системы	Внедрение модуля планирования добычи
<i>Размер компании</i>	Крупные	С	В	С	
	Средние	А, В	А, В	А, В, С	
	Мелкие	А, В	А, В	А, В, С	

Исходя из анализа карты сегментирования, можно сделать вывод о том, что разработка SCADA-системы и выполнение строительно-монтажных работ являются наиболее предпочтительным объектом для разработок среди крупных и средних компаний, но внедрение модуля планирования добычи является объектом для разработок среди всех размеров компаний для российского рынка.

6.1.2 Анализ конкурентных решений

В настоящее время существует достаточное количество проектных организаций, занимающихся разработкой АСУ и внедрением их на производстве.

Компании «ЭлеСи» и «Элком+» являются лидерами в отрасли автоматизации по Томской области.

Компания «ЭлеСи» строит системы диспетчерского контроля, используя контроллеры своего производства, а также SCADA Infinity (своего производства). Цена за разработки компании невысока, но оборудование во многом уступает зарубежным аналогам.

Компания ООО Элком+ является одной из компаний, занимающейся разработкой АСУ для таких предприятий как ПАО «Газпром» и ПАО НК

«Роснефть». Компания также осуществляет предпроектное обследование и разработку проектной и рабочей документации. Располагается в г. Томске.

В таблице 3 отражена оценочная карта для сравнения разработок конкурентов.

Таблица 3 – Оценочная карта

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
			Разработанный модуль	Элком+	ЭлеСи	Разработанный модуль	Элком+	ЭлеСи
1	Повышение производительности труда пользователя	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
2	Удобство в эксплуатации	0,14	4	4	4	0,56	0,56	0,56
3	Надежность	0,10	4	3	4	0,4	0,3	0,4
4	Надежность	0,08	5	4	5	0,40	0,32	0,40
5	Минимизация ошибок учета	0,10	4	3	4	0,40	0,30	0,40
6	Ремонтопригодность	0,09	4	5	4	0,36	0,45	0,27
Экономические критерии оценки эффективности								
1	Послепроектное обслуживание	0,08	5	4	5	0,4	0,32	0,4
2	Срок эксплуатации	0,10	5	4	3	0,5	0,4	0,5
3	Цена	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
4	Конкурентоспособность продукта	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
5	Уровень проникновения на рынок	0,05	0	5	5	0	0,25	0,25
	Итого	1	44	46	47	4,34	4,01	4,61

Анализ конкурентных технических решений рассчитывается по формуле 18:

$$K = \sum B_i * B_i \quad (18)$$

где K – конкурентоспособность;

B_i – вес показателя (в долях);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из расчетов следует вывод, что проект может оказать конкуренцию в цене, улучшении производительности и удобстве использования. Однако проект обладает слабой позицией в плане ремонтпригодности и послепроектного сопровождения.

Анализ конкурентных технических решений Данный анализ проводится по оценочной карте для сравнения конкурентных технических разработок. Карта представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Оценочная карта QuaD

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Надежность	0,12	70	100	0,7	0,084
Удобство использования	0,14	75	100	0,75	0,105
Безопасность	0,15	85	100	0,85	0,1275
Улучшение производительности	0,18	90	100	0,90	0,162
Минимизация ошибок учета	0,10	65	100	0,65	0,065
Ремонтпригодность	0,09	70	100	0,70	0,063
Экономические критерии оценки эффективности					
Послепроектное сопровождение	0,09	70	100	0,70	0,063
Цена	0,07	80	100	0,80	0,056
Конкурентоспособность	0,06	65	100	0,65	0,039
Итого	1				0,7645

Оценка перспективности и качества по технологии QuaD находится по формуле 19:

$$P_{cp} = \sum P_i \cdot 100 \quad (19)$$

где P_{cp} – средневзвешанное значение показателей качества и перспективности научной разработки;

P_i – средневзвешанное значение показателя.

Значение P_{cp} отражает перспективность разработки:

$$P_{cp} = \sum P_i \cdot 100 = 76,45. \quad (20)$$

Значение $P_{cp} = 76,45$ показывает, что проект обладает перспективностью выше среднего, что позволяет говорить о дальнейшей возможности работы над проектом и его улучшении.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – метод планирования, который заключается в том, чтобы выявить факторы внутренней и внешней среды организации, и делении их на 4-ре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый – описание сильных и слабых сторон проекта, а также обнаружение возможностей и угроз для реализации проекта.

Матрица SWOT представлена в таблице 5.

Таблица 5 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
Возможности	С1. Не требуется уникальное ПО. С2. Высокая надежность. С3. Возможность перестройки системы в соответствии с требованиями заказчика. С4. Постоянная поддержка разработчиков	СЛ1. Применение только в нефтегазовой отрасли СЛ2. Длительный срок поставки необходимого программного обеспечения СЛ3. Некомпетентность персонала в использовании нового ПО. СЛ4. Высокая стоимость ПО

Продолжение таблицы 5 – SWOT-анализ

Возможности		Сильные стороны	Слабые стороны
В1. Расширение сферы предоставляемых услуг В2. Сотрудничество с компаниями разработчиками АСУ ТП В3. Увеличение клиентской базы		В2С3. Сотрудничество с компаниями разработчиками АСУ и возможность перестройки позволит создавать любую топологию модели по требованию заказчика.	В1В2В3СЛ4. Высокая стоимость разработки и недоработка старых ошибок могут стать помехой в расширении функционала.
Угрозы		Сильные стороны	Слабые стороны
У1	Неприятие автоматизации пользователями	У1У2С2С3. Дружелюбный интерфейс, понятная документация позволят избежать неправильного выполнения инструкций, а также неприятия автоматизации. Также избеганию неприятия способствует автоматическое логгирование ошибок и другие скрытые возможности системы. У3С4. Грамотная поддержка разработчика снизит вероятность медленной работы системы У5С1С2С4. Постоянная поддержка разработчика и финансирование предприятия способствуют системе всегда оставаться актуальной.	У4СЛ2 Конкуренция с другими разработчиками АСУ и наличие альтернативного ПО может усугубить положение на рынке
У2	Неверное выполнение инструкций пользователем		У1У2У3СЛ1СЛ3СЛ4 Некомпетентность персонала заказчика, медленная работа модуля совместно со сроками поставки, ценой и узкой сферой применения модуля может привести к отказу пользователей работать с системой.
У3	Медленная работа системы		
У4	Конкуренция с другими разработчиками АСУ		
У5	Потеря актуальности		

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды. Этап нужен для выявления необходимости стратегических изменений (таблица 6).

Знак «+» - сильное соответствие сильных сторон возможностям, «-» - слабое соответствие, «0» - в случае сомнений.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
Возможности проекта	В2	0	+	+	0
	В3	+	+	+	+

Продолжение таблицы 6 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4
	В1	+	-	-	-
	В2	-	-	-	-
	В3	+	+	+	+
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-
	У4	+	+	-	-
	У5	+	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4
	У1	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+
	У3	+	+	+	+
	У4	+	+	+	+
	У5	+	+	+	+

6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4

Продолжение таблицы 7 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	40

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 50, что говорит о средней

перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

6.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования выше среднего, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. Таким образом, для организации предприятия этого недостаточно (пункт 4 – 8 не подходят). Но так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации для следующих методов (пункты 1 - 3): Торговля патентной лицензией; передача ноу-хау и инжиниринг. Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны.

6.1.6 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

6.1.7 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта, которые представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Пользователь	Простота и надежность продукта

Продолжение таблицы 8 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
Научный руководитель, студент	Выполненная ВКР

Цели и результат раздела представлены в таблице 9:

Таблица 9 – Цели и результат экономической части проекта

Цели проекта: - Собрать набор характеристик насосов, методы управления и а так же методы программирования модуля. - Создать техническое задание и проектные решения.	- Реализовать алгоритм управления насосов для поддержания дебита скважин. - Произвести тестирование - Внедрить разработку
Ожидаемые результаты проекта:	Успешное внедрение разработки в соответствующие компании.
Критерии приемки результата проекта:	Успешное тестирование функционала в соответствии с функциональным требованием.
Требования к результату проекта:	Требование: - Выполнены все условия поставленные в тз проекта, модуль имеют надежную структуру и поддерживает все характеристики на заданном уровне. - Разработанный функционал полностью соответствует проектным решениям.

6.1.8 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (таблица 10).

Таблица 10 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	65000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2019
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

6.2 Планирование управления научно-техническим проектом

6.2.2 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 55 представлен шаблон иерархической структуры.



Рисунок 55 – Иерархическая структура по ВКР

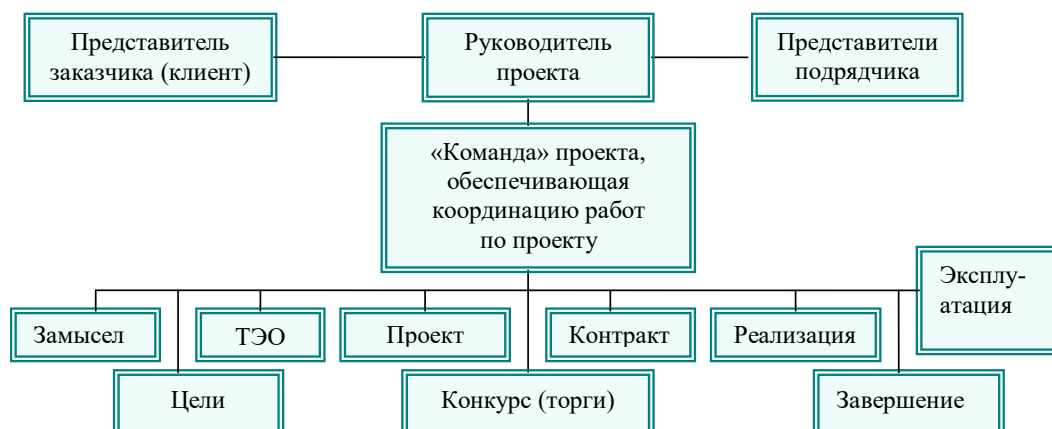


Рисунок 56 – Проектная структура проекта

В данном проекте будет использована проектная структура проекта, так как она подходит больше, потому что технология является новой и не исследуемой ранее, сложность проекта высока. Пример проектной структуры изображен на рисунке 56.

6.2.3 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 11, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИОКР

Код работ ы	Вид работ	Ис п.	Т _к , ч.	Продолжительность выполнения работ																
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			Ию нь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Выбор направления исследования	Р, С	5																	
2	Описание требований	Р	10																	

Продолжение таблицы 11 – Календарный план-график проведения НИОКР

Код работ	Вид работ	Ис п.	Т _к , ч.	Продолжительность выполнения работ															
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			Июнь
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
3	Патентный поиск	С	10																
4	Составление технического задания	Р	10																
5	Изучение литературы	С	40																
6	Сбор данных для управления насосами	С	20																
7	Проектирование математической модели насоса	С	20																
9	Проектирование математической модели перекачки	С	40																
10	Настройка связи TiaPortal с математической моделью	С	80																
11	Разработка логики управления	С	40																
12	Тестирование модуля	С	20																
14	Написание документации	С	50																
15	Проверка работы	Р	20																

■ – Руководитель(Р)

■ – Студент (С)

6.2.4 Бюджет научного исследования

В данном разделе рассчитывается стоимость технического обеспечения, используемого в разработке проекта. В таблице 34 приведены материальные затраты. В расчете материальных затрат также учитывается транспортные расходы и расходы (величина k_T) на установку оборудования в

размере 20% от стоимости материалов. Основная формула для расчета материальных затрат выглядит следующим образом (формула 21):

$$Z_M = (1 + k_t) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi} \quad (21)$$

где $N_{расх}$ – количество видов материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

m – количество видов материальных ресурсов.

Для разработки нынешней системы требуется обычное оборудование в виде персонального компьютера и купленных серверов на время жизненного цикла программного продукта. Среда и средство разработки, программный софт и другие комплектующие, а так же электроэнергия, нужные для разработки, распространяются внутри университета бесплатно и не требуют дополнительных затрат (таблица 12, таблица 13).

Таблица 12 – Расчет затрат по статье «Материальные затраты»

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы	
		Рук.	Студ.	Рук.	Студ.	Рук.	Студ.
Электроэнергия	Квт/ч	-		-	3,42 р за квт/ч	-	
Мышь	Шт.	-	1	-	350	-	350
Бумага	Пачка	-	1	-	250	-	250
Канцелярия	Шт.	-	1	-	300	-	300
Итого:						900	

Таблица 13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы	
		Рук.	Студ.	Рук.	Студ.	Рук.	Студ.
Ноутбук (ПК)	Шт.	-	1	-	35000	-	40250
Принтер	Шт.	-	1	-	2700	-	3240
TiaPortal	Шт.	1		165540		-	
MATLAB	Шт.	1		2178651		-	
Итого:						43490	

6.2.5 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату: $Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$,

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20) % от $Z_{осн}$. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 22:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M * M}{F_d} \quad (22)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – кол-во месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; при отпуске в 72 раб. дней $M = 9,6$;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблица 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1		Руководитель		17000	17000
2		Магистр		2650	2650
Итого:				19650	

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (18)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{дон}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя рассчитывается по формуле 23:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб} \quad (23)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит, для руководителя основная заработная плата с учетом районного коэффициента (формула 24):

$$Z_{осн} = 17000 * 1,3 = 22100 \quad (24)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 25:

$$Z_{дн} = (Z_m * M) / F_d \quad (25)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2650 руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 45 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6 - дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

Тогда, для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{22100 * 10,4}{254} = 905 \text{ рублей} \quad (26)$$

Для магистра:

$$Z_{дн} = \frac{2650 * 10,4}{217} = 127 \text{ рублей} \quad (27)$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365

Продолжение таблицы 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	82
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	45	52
- невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Были проведены расчеты основной заработной платы.

Результаты приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	17000	1.3	22100	905	40	36200
Магистр	2650		2650	127	80	10160
Итого по статье З _{осн} :						46360

6.2.6 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из (10 – 15) % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (28)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп} = 0,1$);

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{доп} = 36200 * 0,1 = 3620 \text{ рублей} \quad (29)$$

В таблице 17 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 17 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Исполнители	Основная зарплата(руб.)	Коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{\text{доп}}$)	Дополнительная зарплата(руб.)
Руководитель	36200	0,1	3620
Студент	10160	-	-
Итого:			3620

6.2.7 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды (таблица 18).

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	36200	3620
Студент	10160	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30 %	
Итого		
Руководитель	11946	
Студент	3048	

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

6.2.8 Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере (70 – 90) % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 30:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{осн}}) \quad (30)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 * (36200 + 10160 + 3620) = 14994 \text{ руб} \quad (31)$$

6.2.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции (таблица 19).

Таблица 19 – Бюджет затрат НТИ

№	Затраты по статьям						
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	900	43490	46360	3620	14994	14994	124358
2	5000	100 000	75000	7500	24750	24750	237000

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит 124358 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 237000 рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

6.3 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать таблица 20.

Таблица 20 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Составляющая проекта является модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии другими моделями. Также основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

6.3.1 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта.

Пример плана управления коммуникациями приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

6.3.2 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (таблица 22).

Таблица 22 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Потеря актуальности		2	5	средний	Внедрение нового функционала в процессе жизненного цикла ПО	Слишком хаотичное изменение рынка, появление новых инструментов
2	Неточность ПО		4	5	высокий	Модификация алгоритма ПО	Низкая точность, физические просадки ПК

6.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

6.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DP**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индекс доходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

6.4.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле 32:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{оп_t}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (32)$$

где $ЧДП_{оп_t}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость (таблица 23) является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной.

Таблица 23 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	58642	58642	58642	58642
2.	Итого приток, тыс.руб.	0	58642	58642	58642	58642
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-65000	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	-65000	16425	16424	16424	16425
5.	Налогооблагаемая прибыль (1-4)	-65000	42218	42218	42218	42218
6.	Налоги, тыс. руб донал.приб*20%	-65000	8444	8444	8444	8444
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги (4+6)	-65000	24869	24869	24869	24869
	Чистая прибыль, т.р. (1-7)	-65000	33773	33773	33773	33773
	Амортизация, т.р	-65000	725	725	725	725
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам	-65000	34498	34498	34498	34498
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=20\%$)	1,0	0,833	0,694	0,578	0,482
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-65000	28737	23942	19940	16628
11.	То же нарастающим итогом, тыс.руб. ($NPV = 24,247$ тыс.руб.)	-65000	-36263	-12321	7619	24247

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (NPV) – 24,247 тыс. руб. Таким

образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, NPV является положительной величиной.

Социальная эффективность (таблица 24) научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Дебит куста не поддерживается автоматически.	Модель самостоятельно производит анализ приходящих данных и используя логику управления автоматически поддерживает дебит куста на заданном уровне.
Сложность изменения характеристик оборудования.	Простота модели позволяет с легкости изменять характеристики, насоса, двигателя, клапаном и другого оборудования.

6.4.3 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (33)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (34)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблица 25).

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3	3

Продолжение таблицы 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
4. Энергосбережение	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Точность анализа	0,15	4	4	4
ИТОГО	1	25	19	22

Таблица 26 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,21	0.2
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.15	3.94
3	Интегральный показатель эффективности	15	19.7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0.95	1,05

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

6.4.4 Дисконтированный срок окупаемости

Одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 27).

Таблица 27 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-65000	28737	23942	19940	16628
2.	То же нарастающим итогом	-65000	-36263	-12321	7619	24247
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 2 + 12321/19940 = 2,61$ месяца				

Дисконтированный срок окупаемости проекта ($PP_{дск}$) составляет 2,61 месяца.

6.4.5 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 28 и графика, представленного на рисунке 57.

Таблица 28 – Зависимость NPV от i

№	Наименования показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-65000	58642	58642	58642	58642	
2	коэффициент дисконтирования						
	$i=0,1$	1	0,909	0,826	0,751	0,683	

Продолжение таблицы 28 – Зависимость NPV от i

№	Наименования показателя	0	1	2	3	4	
	$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	$i=0,3$	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	$i=0,4$	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,197	
	$i=0,6$	1	0,625	0,39	0,244	0,152	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,119	
	$i=0,8$	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	$i=0,9$	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	$i=1$	1	0,5	0,25	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						
	$i=0,1$	-65000	53305,58	48438,29	44040,14	40052,49	120836,5
	$i=0,2$	-65000	48848,79	40697,55	33895,08	28265,44	86706,854
	$i=0,3$	-65000	45095,7	34716,06	26682,11	20524,7	62018,572
	$i=0,4$	-65000	41870,39	29907,42	21345,69	15246,92	43370,416
	$i=0,5$	-65000	39114,21	26037,05	17299,39	11552,47	29003,126
	$i=0,6$	-65000	36651,25	22870,38	14308,65	8913,584	17743,862
	$i=0,7$	-65000	34481,5	19645,07	11904,33	6978,398	8009,29
	$i=0,8$	-65000	32604,95	18120,38	10027,78	5570,99	1324,102
	$i=0,9$	-65000	30845,69	16243,83	8561,732	4515,434	-4833,308
	$i=1$	-65000	29321	14660,5	7330,25	3635,804	-10052,446

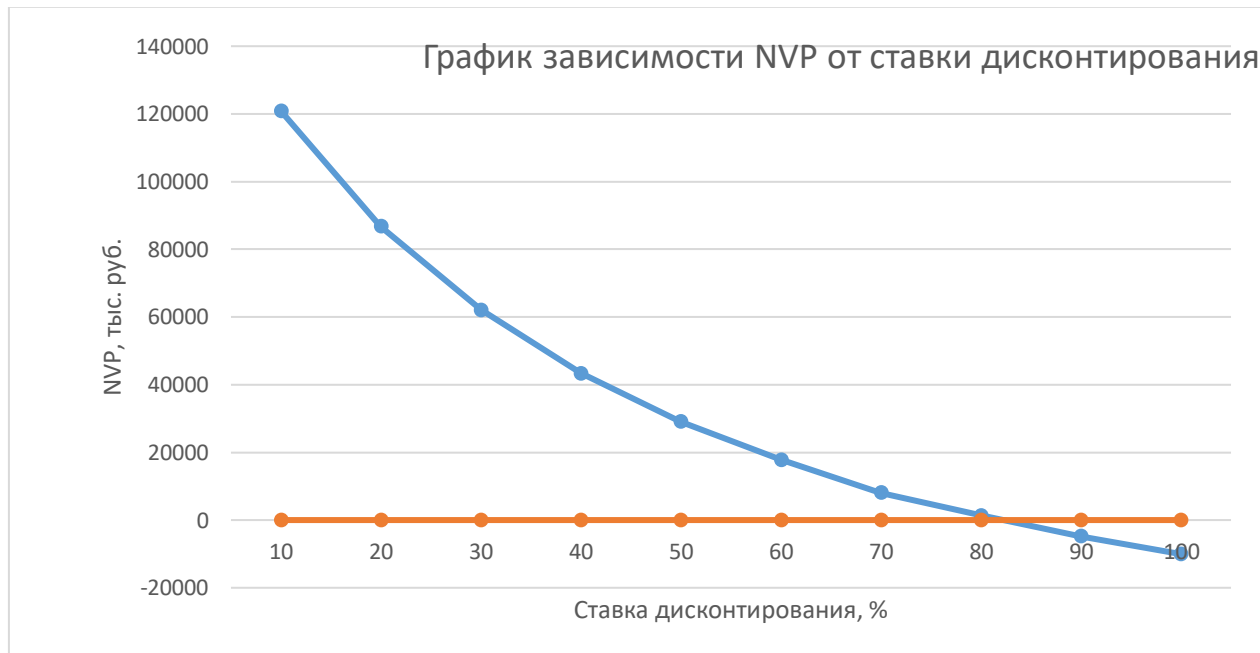


Рисунок 57 – График зависимости NVP от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь

отрицательной. Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,82.

Внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,82, что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполняется условие неравенства $IRR > i$.

6.4.6 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле 35:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (35)$$

где: I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{28737 + 23942 + 19940 + 16628}{65000} = 1,37 \quad (36)$$

Индекс доходности (PI) – 1,37, и, основываясь на том, что данная величина превышает единицу, можно утверждать, что данная инвестиция приемлема.

Таким образом, на основании всех расчётов можно сделать вывод о том, что проект является рентабельным и эффективным для инвестиций в первую очередь потому что обслуживание инвестиций не требует больших капиталовложений, так как разрабатываемая система является автономной и требует точной настройки, следовательно, и финансовые вложения только на начальном этапе своего функционирования. Все показатели финансовой и экономической эффективности, такие как чистая текущая стоимость (NPV), срок окупаемости (D_{PP}), внутренняя ставка доходности (IRR), индекс доходности (PI), рассчитанные в ходе работы по разделу подтверждают вышесказанное утверждение.

7 Социальная ответственность

7.1 Введение

В данной работе рассматривается разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом добычи нефти, а именно интеллектуального агента процесса нефтедобычи. Автоматизация производства позволяет осуществлять технологические процессы без непосредственного участия обслуживающего персонала. При полной автоматизации роль обслуживающего персонала ограничивается общим наблюдением за работой оборудования, настройкой и наладкой аппаратуры. Задачей оператора АСУ ТП является контроль над параметрами технологического процесса, управление и принятие решений в случае возникновения нештатных ситуаций.

В связи с этим будут разработаны меры по защите и снижению негативного влияния производственных факторов для рабочего места оператора согласно требованиям, а также даны рекомендации для создания благоприятных условий труда и охраны окружающей среды.

Из-за внедрения АСУ обслуживающий персонал будет работать с таким оборудованием как ПЭВМ.

При работе с вышеприведенным оборудованием человек подвергается различным воздействиям таким как:

- недостаточная освещенность;
- повышенный уровень шума и вибрации;
- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- поражение током.

7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [20].

Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно слева. Стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики. Целесообразно применение столов, имеющих отдельную от основной столешницы специальную рабочую поверхность для размещения клавиатуры. Используются рабочие столы с регулируемой и нерегулируемой высотой рабочей поверхности. При отсутствии регулировки высота стола должна быть в пределах (680 – 800) мм.

Глубина рабочей поверхности стола должна составлять 800 мм (допускаемая не менее 600 мм), ширина — соответственно 1 600 мм и 1 200 мм. Рабочая поверхность стола не должна иметь острых углов и краев, иметь матовую или полуматовую фактуру.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной — не менее 500 мм, глубиной на уровне колен — не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног — не менее 650 мм.

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700) мм, но не ближе 500 мм.

Для обеспечения физиологически рациональной рабочей позы, создания условий для ее изменения в течение рабочего дня применяются подъемно-поворотные рабочие стулья с сиденьем и спинкой, регулируемые по высоте и углам наклона, а также расстоянию спинки от переднего края сидения.

Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400-550) мм и углом наклона вперед до 15 градусов и назад до 5 градусов.;

- высоту опорной поверхности спинки (300 ± 20) мм, ширину — не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах (0 ± 30) градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах (260 - 400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной (50 - 70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (200 ± 260) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 - 500) мм;
- поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим не электризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от загрязнения.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 град. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. При 8-часовой рабочей смене и работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый [21].

7.2.1 Производственная безопасность

В данной части работы рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть во время разработки и эксплуатации системы [22].

Перечень факторов приведен в таблице 29.

Таблица 29 – Перечень факторов влияющие на работу

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Производственный шум			+	- СанПин 2.2.4/2.1.8.562-96 [23];
2. Повышенный уровень вибрации			+	- СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [24];
3. Термические опасности	+	+	+	- СП 2.13130.2012 [25]; - ГОСТ 12.1.004–91 [26];
4. Поражение электрическим током	+	+	+	- ГОСТ 12.1.019-2017 [27];
5. Отклонение показателей микроклимата		+	+	- СанПиН 2.2.4.548-96 [28];
6. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	- ГОСТ Р 55710-2013 [29];
7. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	- СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383 [30]; - СанПиН 2.2.4.3359–16 [31];
8. Умственная нагрузка	+	+		- ГОСТ 12.0.003-2015 [22].

7.2.2 Производственный шум

Требования к уровню шума содержатся в СанПин 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, остроту зрения, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные движения, уменьшает на (5 – 12) % производительность труда. Длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90 дБ снижает производительность труда на (30 - 60) %. Согласно СанПин 2.2.4/2.1.8.562-96 максимально допустимый уровень шума для работ категории 1а составляет 80 дБА.

Так как операторы будут далеко от насосной станции, следовательно, единственным источником шума являются ПЭВМ. Однако создаваемый ими уровень шума значительно меньше шума, создаваемого, насосными станциями. Следовательно, при работе операторов с АСУ специальные защитные средства не требуются.

7.2.3 Повышенный уровень вибрации

Вибрация определяется как колебательный процесс, возникающий при периодическом смещении центра тяжести какого-либо тела от положения равновесия, а также при периодическом изменении формы тела, которую оно имело в статическом состоянии.

При внедрении модуля нефтедобычи может появиться вследствие наличия в системе насосной станции. Однако стоит заметить, что подобранное оборудование находится на расстоянии от операторов и имеет низкую вибрационную активность, поэтому дополнительных мер по предотвращению вредных воздействий от вибрации в скважине (кусте) не требуется.

7.2.4 Термические опасности на рабочем месте

Во время работы некоторые части ПЭВМ могут нагреваться, что является одним из факторов производственной опасности – повышенная температура поверхностей. Неосторожное обращение с нагретыми частями может привести к ожогу третьей степени, а также к возникновению пожара.

В целях предотвращения перегрева составных частей ПЭВМ необходимо:

- использовать систему принудительного охлаждения;
- проводить регулярное обслуживание ПЭВМ (замена термопасты, удаление пыли);
- использовать защитные экраны для ограждения частей, имеющих температуру выше 70 °С.

7.2.5 Поражение электрическим током

Во время разработки модуля возможно поражение электрическим током, проходящим от сети 220 В к ПЭВМ, а также от сети к Электрический ток, при прохождении через тело человека может вызывать ожоги в местах прикосновения к токоведущим частям, поражение внутренних органов и остановку сердца.

Основными факторы, определяющими опасность поражения электрическим током являются:

- электрическое сопротивление тела человека;
- пути тока через тело человека;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- величина напряжения и тока;
- род и частота электрического тока;
- условия внешней среды;
- состояние человека.

Помещение, где расположены ПЭВМ, относится к помещениям без повышенной опасности.

К основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- основная изоляция токоведущих частей;
- защитное заземление или зануление;
- автоматическое отключение питания;
- защитное электрическое разделение цепей.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели.

7.2.6 Отклонение показателей микроклимата рабочей зоны

Основными показателями, характеризующими микроклимат в помещении, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Производственный микроклимат в помещении существенно сказывается на качестве работы и производительности труда, а также на здоровье работников. В таблице 30 представлены оптимальные и допустимые нормы микроклимата.

Таблица 30 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Опти- мальна я	Допустимая на рабочих местах				Опти- мальна я	Допус- тимая	Опти- мальная , не более	Допус- тимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост .	Не пост .	Пост .	Не пост .				
Холодный	(22 – 24)	25	26	21	18	(40 – 60)	75	0,1	0,1
Теплый	(23 – 25)	28	30	22	20	(40 – 60)	70	0,1	0,1

В помещение, где будет производиться работа, температура и влажность воздуха должны поддерживаться в соответствии с таблицей 2 путем применения следующих мероприятий: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление помещения.

7.2.7 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Среди технических требований к рабочему месту АРМ оператора особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Информацию человек получает через зрительный канал на 80 %. Неудовлетворительное освещение может, являясь причиной травматизма. Неправильная эксплуатация и ошибки, допущенные при проектировании осветительных установок, могут привести к несчастным случаям и пожару. При недостаточном освещении резко снижается производительность труда, а также увеличивается количество допускаемых ошибок. Основные требования к освещению в том, чтобы создать благоприятные условия для работы зрительного аппарата работника, так же оно должно удовлетворять вопросам безопасности, экономичности и надежности. По отраслевым нормам освещения в помещении для данной («Б» разряд, «2» – подразряд) работы рекомендуется $E_H = 300$ Лк при общем освещении.

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: АД4, ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ.

7.2.8 Повышенный уровень электромагнитных излучений на рабочем месте

Научно-исследовательская работа выполнялась с помощью персонального компьютера (ПЭВМ). При этом основным вредным фактором для инженера-исследователя является электромагнитное излучение, которое влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также может вызвать ослабление памяти и возникновение онкологических заболеваний.

Допустимые нормы электромагнитного излучения устанавливаются в СанПиН 2.2.4.3359-16.

Источниками электромагнитного излучения являются электрические сигналы цепей при работе ЭВМ и оборудования АСУ ТП. Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения нервной, сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови. ЖК-дисплеи формируют изображение методом, принципиально отличающимся от ЭЛТ мониторов. Поэтому проблем рентгеновского излучения и статического заряда на поверхности экрана у них просто не существует.

Последние разработки, в области производства LCD-дисплеев, позволяют значительно снизить уровень излучений и электромагнитных полей. Используемые дисплеи соответствуют стандарту ТСО'03, гарантируя диапазоны частот меньше 2, 5 В/м, что удовлетворяет нормам. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемой поверхности тела и индивидуальных особенностей организма. В таблице 31 представлены предельно-допустимые уровни электромагнитных полей на рабочем месте.

Таблица 31 – ПДУ электромагнитных полей на рабочем месте

Время воздействия за рабочий день, мин	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности кА/м	ПДУ магнитной индукции мТл	ПДУ напряженности кА/м	ПДУ магнитной индукции мТл
(0 – 10)	24	30	40	50
(11 – 60)	16	20	24	30
(61 – 480)	8	10	12	15

Мероприятия по снижению уровня излучений включают:

- сертификацию ПЭВМ и аттестацию рабочих мест; – применение экранов и фильтров;
- организационно-технические мероприятия;
- применение средств индивидуальной защиты путем экранирования пользователя ПЭВМ целиком или отдельных зон его тела;
- использование и применение профилактических напитков;
- использование иных технических средств защиты от патогенных излучений [32]

7.2.9 Умственные перегрузки

В процессе разработки Системы зачастую требуется получать нужные и полезные сведения. Иногда для этого необходимо проанализировать большой массив информации. В итоге факты накапливаются, но не усваиваются. Происходит перенасыщение лишней информацией.

Информационная перегрузка грозит человеку стрессом и нервным истощением. Огромное количество доступной информации и невозможность полностью обработать ее порождает нежелание, а затем и неумение концентрироваться на одном, но объемном источнике. Информационная перегрузка приводит к возникновению проблем с памятью и к общему ухудшению работоспособности мозга.

Для минимизации рисков информационной перегрузки необходимо:

- соблюдать режим труда и отдыха;
- составлять план рабочего дня, выделяя главные и второстепенные задачи;
- выполнять задачи поочередно;
- формировать высокую внутреннюю информационную культуру;
- выработать наиболее рациональные приемы и методы управления информацией.

7.2.10 Экологическая безопасность

В следствии развития научно-технического прогресса, постоянно увеличивается воздействие на окружающую среду, создаются предпосылки для возникновения экологических кризисов. В то же время прогресс расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природной среды.

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Одна из самых серьезных проблем - потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то, и другое не обходится без нарушения экологической обстановки. Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как:

- изменение климата — накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект);
- загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами;
- загрязнение водного бассейна Земли;
- опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов;
- изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением. В современных компьютерах, повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое. На текущий момент техника и технологии позволяют сократить выбросы токсичных и вредных веществ, но для обеспечения чистоты в долгосрочной перспективе, люди должны создавать замкнутые, безотходные производства, а мусор и отходы должны подвергаться переработке.

В данном случае отходами будут являться части ПЭВМ, в частности электронные платы. Необходимо не просто выкидывать электронные компоненты на свалки, а производить утилизацию и переработку.

Электронные отходы представляют собой большую опасность для окружающей среды, надо помнить, что на производство мобильных телефонов и персональных компьютеров уходят значительные доли золота, серебра и палладия, добываемых ежегодно во всем мире. Конечно, в каждом отдельном устройстве драгоценных металлов содержится мизерное количество, но если рассматривать общемировое производство (более 1,2 млрд. ежегодно), то этим количеством уже пренебрегать неразумно. Следует отметить, что концентрация этих драгоценных металлов в печатных платах более чем в десять раз превышает их концентрацию в добываемой руде. Однако переработка печатных плат технологически сложный процесс из-за неоднородности материалов, ведь они состоят из множества разнородных компонентов [33].

Печатная плата является одним из наиболее важных компонентов электронного оборудования. Она представляет собой платформу, на которой устанавливаются и связываются между собой микроэлектронные компоненты, такие как полупроводниковые микросхемы и конденсаторы. Переработка плат включает в себя три типа обработки: предварительная обработка, физическая переработка и химическая переработка. Предварительная обработка включает

в себя демонтаж многоразовых и токсичных элементов, измельчение или разделение. Затем следует физическая переработка. Потом материалы извлекают путем химического процесса переработки [33].

7.2.11 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе разработки и эксплуатации любого ПО или системы могут возникнуть ЧС. В таблице 32 приведены вероятные источники возникновения ЧС при разработке модуля.

Таблица 32 – Источники возникновения ЧС

Вероятный источник ЧС	Факторы возникновения ЧС
Персональный компьютер	- короткое замыкание; - перегрев составных частей; - оголенные провода в процессе работы.
Человеческий фактор	- курение на рабочем месте; - использование нагревательного оборудования без присмотра.

Согласно приведенной выше таблице (таблица 32) наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар на рабочем месте. Пожар – это неконтролируемое горение вне специального очага в быту приносят значительный материальный ущерб, поэтому пожарной безопасности уделяют особое внимание.

Рабочее помещение, в котором располагаются инженеры, должно обладать не менее чем 2-ой степенью огнестойкости, поскольку в нем может располагаться большое количество дорогой техники, в том числе ПЭВМ.

При строительстве подобного помещения в качестве материала должны быть использованы металл, стекло, кирпич и другие негорючие материалы. Углекислотный огнетушитель, сухой песок и внутренние пожарные водопроводы должны находиться в здании и предназначаются для своевременного тушения небольших локальных возгораний. Огнетушители типа ОУ особенно хороши, поскольку не только эффективны для тушения, но и не наносят вреда электрооборудованию.

Помещение должно быть оборудовано датчиками пожарной сигнализации, а также должны быть развешаны планы эвакуации людей при пожаре, которые определяют правильный порядок действий персонала при пожаре и указывают места расположения средств пожаротушения.

Автоматизация нефтедобычи приводит к увеличению риска возникновения пожара, поскольку увеличивается количество электрооборудования. В связи с этим АСУ построена таким образом, чтобы исключить выход нефти и газа из скважин и оборудования, а также не допустить возникновения искры в токопроводящих цепях. Для этого предусмотрена аварийная сигнализация при критических показателях оборудования (для этого используются спец. информация об аварии уходит и на главный диспетчерский пункт, где принимается оперативное решение по безопасной остановке объекта, либо происходит автоматическая аварийная остановка.

Организационные мероприятия по предупреждению возникновения пожаров [34]:

- 1) организация обучения персонала правилам пожарной безопасности;
- 2) разработка мероприятий по действиям администрации и персонала на случай возникновения пожара и организация эвакуации людей;
- 3) назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц

К эксплуатационным мероприятиям относятся:

- 1) поддержание исправной изоляции проводников;
- 2) поддержание свободного подхода к оборудованию;
- 3) соблюдение противопожарных инструкций при прокладке электропроводок, эксплуатации оборудования, освещения.

При обнаружении пожара персоналом:

- 1) немедленно сообщить в пожарную службу;
- 2) оповестить работников о случившемся;
- 3) оказать помощь в эвакуации людей и тушении пожара.

Технические мероприятия:

- 1) установка в помещении углекислотного огнетушителя ОУ-8;
- 2) расположение на видном месте плана эвакуации в случае пожара;
- 3) расположение на достигаемом расстоянии пожарного щита;
- 4) световая индикация;
- 5) звуковое оповещение в виде громкоговорителя;
- 6) пассивные датчики задымленности;
- 7) профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

В случае возникновения ЧС – пожар, необходимо действовать в соответствии со следующим распоряжением:

- убедиться в срабатывании системы пожаротушения, если по каким-то причинам система не сработала и не включила оповещение, включить ручную; если система не передала сигнал в службу пожаротушения, то сообщить по телефонам 01 (с городского) или 111 (с сотового);

- в случае отсутствия прямой угрозы здоровью и жизни произвести попытку самостоятельного тушения возгорания;

- при потере контроля над пожаром, необходимо эвакуироваться из здания в соответствии с планом эвакуации;

- ожидать приезда специалистов.

7.3 Выводы по разделу

В работе был проведен анализ, направленный на выявление вредных и опасных факторов при разработке модуля планирования процесса нефтедобычи. В данном разделе рассмотрены характеристики рабочего места в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78. Для удобной работы оператора следует произвести подбор рабочего стола, кресла и всех комплектующих, а также соблюдать климатический режим в операторной. Для снижения негативного воздействия ПЭВМ, а также ее утилизации, и периферийного оборудования на окружающую среду, требуется проводить сертификацию ПЭВМ и аттестацию рабочих мест. Также требуется проводить организационно-технические мероприятия по обеспечению безопасности в случае чрезвычайной ситуации.

На стадии разработки и эксплуатации требуется соблюдать правила электробезопасности, а так же проводить профилактические мероприятия от умственных перегрузок.

Заключение

Данная работа посвящена созданию полноценного набора инструментов для осуществления моделирования. В ходе исследования была разработана пошаговая инструкция по осуществлению связи между контроллером Siemens S7-1500 и программным пакетом MATLAB. Также для в процессе работы была построена математическая модель погружного насоса на основе которой осуществляется моделирование. Для более удобного управления системой был написан графический интерфейс управления в программном пакете WinCC Professional.

Самым энергозатратным процессом является реализация готового продукта, построенного с помощью компьютерного моделирования. Это связано с аспектом неточности модели, которая не может учесть всех характеристик итоговой системы.

В первом разделе работы был проведен обзор источников литературы по тематике исследования и были освещены вопросы истории развития цифровых двойников, математического моделирования, а также о реализованных продуктах по данной тематике.

Во втором разделе был осуществлен подбор оборудования и программного обеспечения. В качестве оборудования был выбран контроллер Siemens семейства S7-1500 с процессором CPU 1516-3PN/DP. В качестве программных компонентов моделирования были выбраны ПО MATLAB и ПО TIA Portal.

В третьем разделе работы были проведено моделирование 3-фазного погружного электродвигателя. Модель отвечает заданным требованиям и поддерживает характеристики на должном уровне.

В четвертой главе было проведено подключение OPC-сервера MASTER OPC к программному обеспечению MATLAB. Подключение осуществлено с помощью блоком OPC CONNECTION, OPC READ и OPC WRITE.

В пятой главе проведена разработки логики управление моделью в ПО MATLAB. Рассмотрено решение управления с помощью PID – регулятора. Разработана SCADA – система для контроля и управление, которые осуществляет оператор. Так как первая модель после запуска была неэффективна, принято решение упростить модель. Итого скорость на насос задается напрямую после выхода PID - регулятора с TIA Portal. Спроектированная модель отвечает заданным требованиям, логика, прописанная в программном обеспечении TIA Portal эффективно управляет расходом при задании уставки. Значения расходомеров приходят на экран оператора, задержки получения данных нет, а это значит потери значений нет, и оператор сможет вовремя отреагировать на изменения системы. Таким образом разработка системы диспетчерского контроля и управления оборудованием добычи нефти в концепции комплексной оптимизации добычи на сложных нефтяных месторождениях прошла успешно.

В шестой главе проведен анализ на выявление опасных и вредных факторов рабочего места инженера, разработаны меры по снижению воздействия этих факторов на человека: в качестве мер по снижению шума, воздействующего на людей в рабочем помещении, предусмотрено использование звукопоглощающих материалов; в качестве мер по улучшению микроклимата предусмотрено поддержание в помещении оптимальной температуры и влажности воздуха; в качестве мер по снижению недостатка освещенности предусмотрено использование искусственного освещения; в качестве мер по снижению электромагнитного и электростатического излучения предусмотрено заземление компьютера.

Также были рассмотрены вопросы по производственной санитарии, технике безопасности, пожарной безопасности, охране окружающей среды

Список использованной литературы

1. Digital Twin: перспективы использования цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nfp2b.ru/2019/01/09/digital-twin-perspektivy-ispolzovaniya-tsifrovyyh-dvoynikov/>. – Заглавие с экрана. – Дата обращения: 14.04.2019.
2. Сущность математического моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.su/8_2926_sushchnost-matematicheskogo-modelirovaniya.html. – Заглавие с экрана. – Дата обращения: 26.04.2019.
3. Добыча в цифровом формате [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-may/1589543/>. – Заглавие с экрана. – Дата обращения: 01.05.2019.
4. Н.В. Чухарева, А.В. Рудаченко, А.Ф. Бархатов, Д.В. Федин, Транспорт скважинной продукции: Учебное пособие. — ТПУ, 2011.
5. ГОСТ 3085. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие требования – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии– 15.02.2014- стр. 32.
6. ГОСТ 3085.13. Электроустановки во взрывобезопасных зонах (кроме подземных выработок) – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии– 15.02.2014- стр. 32.
7. ГОСТ 16920-93. Термометры и преобразователи температуры манометрические – Федеральное агентство по техническому регулированию. И метрологии– 01.01.1995- стр. 10.
8. ГОСТ 22520-85. Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия – ИПК издательство стандартов Москва – 01.04.2003- стр. 23.
9. ГОСТ 28723-90. Расходомеры скоростные, электромагнитные и вихревые. Общие технические требования и методы и испытаний – ФГУП «Стандартинформ» – 01.01.1992- стр. 10.

10. Герман-Галкин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. — СПб.: КОРОНА-Век, 2008.— 368 с.
11. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. — СПб.: КОРОНА принт, 2007.— 320 с.
12. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. — М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008.— 288 с.
13. Simscape Power Systems Examples [Электронный ресурс] // MathWorks. — Режим доступа: www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html. - Заглавие с экрана. - Дата обращения: 25.05.2019.
14. Терёхин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.— 292 с
15. Modbus Universal MasterOPC сервер [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://insat.ru/products/Universal_MasterOPC/siemens_s7-1200_modbus_universal.pdf. — Заглавие с экрана. — Дата обращения: 30.05.2019.
16. Siemens S7-1500 Программируемый контроллер [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-1500.html>. — Заглавие с экрана. — Дата обращения: 10.05.2019.
17. OPC технология [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://opcserver.ru/services/opc-tekhnologiya/>. — Заглавие с экрана. — Дата обращения: 15.05.2019.
18. MATLAB [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://matlab.ru/products/matlab>. — Заглавие с экрана. — Дата обращения: 15.05.2019.
19. Программное обеспечения в TIA Portal [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://new.siemens.com/ru/ru/produkte/avtomatizacia/industry->

Заглавие с экрана. – Дата обращения: 20.05.2019.

20. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» - Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР - 26.04.1978 - стр. 9.

21. Grandars: Организация рабочего места при работе за компьютером. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-hiznedeyatelnosti/organizaciyaraboty-za-kompyuterom.html>, свободный дата обращения 23.04.2019.

22. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» - Общество с ограниченной ответственностью «Экожилсервис», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» - 01.12.2012 - стр. 16.

23. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». – Госкомсанэпиднадзор РФ – 31.10.1996 г. – стр. 19.

24. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». - Госкомсанэпиднадзор РФ – 31.10.1996 г. – стр. 41.

25. СП 2.13130.2012. «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (с Изменением N 1)» - Федеральное государственное учреждение «Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России) (Докипедия: СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты Обеспечение огнестойкости объектов защиты) - стр. 27.

26. ГОСТ 12.1.004–91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования - Министерство внутренних дел СССР, Министерство химической промышленности СССР – 01.07.1992- стр. 68.

27. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты». – Частным учреждением Федерации независимых профсоюзов России "Научно-исследовательский институт охраны труда в г.Екатеринбурге" – 01.01.2019 – стр. 20.

28. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – НИИ медицины труда РАМН (Афанасьева Р.Ф., Репин Г.Н., Михайлова Н.С., Бессонова Н.А., Бурмистрова О.В., Лосик Т.К.); Московский НИИ гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана (Устюшин Б.В.); при участии Санкт-Петербургского НИИ гигиены труда и профзаболеваний (Синицина Е.В., Чашин В.П.); Госкомсанэпиднадзор России (Лыткин Б.Г., Кучеренко А.И.) – 1.10.1996 г. - стр. 12.

29. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий». - Обществом с ограниченной ответственностью "Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский светотехнический институт им.С.И.Вавилова" (ООО "ВНИСИ") – 01.07.2014 – стр. 24.

30. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов». - Г.Онищенко – 09.06.2003 г. – стр. 24.

31. СанПиН 2.2.4.3359–16. «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». - А.Ю.Попова – 1.01.2017 г. – стр. 72.

32. Журнал «Нормативные акты по охране труда» №1 – 2005. «Инструкция по организации работ, охране труда и экологической безопасности при работе на ПЭВМ (ПК)».

33. Nature time: Как осуществляется переработка электроники. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nature-time.ru/2015/03/kakosushhestvlyaetsya-pererabotka-elektroniki/>, свободный - Дата обращения 23.04.2019).

34. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ (последняя редакция)

Приложение А

(обязательное)

Development of supervisory control and control system for oil production

Section Introduction.

Section 1 Review of literature sources on the subject of the study.

Section 1.1 Definition of digital double.

Section 1.2 Definition of mathematical model.

Section 1.3 Main stages of mathematical modeling.

Section 1.4 Classification of models.

Section 1.5 Implemented projects using digital counterparts

Development of supervisory control and control system for oil production equipment in the concept of integrated optimization of production in complex oil fields

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM71	Халитов Ильяс Минхамитович		

Консультант отделения автоматизации и роботехники

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШПИБ	Пичугова И. Л.	-		

Introduction

This work is devoted to the creation of a full set of tools for modeling. In the course of the study, a step-by-step instruction was developed for communication between the Siemens S7-1500 controller and the MATLAB software package. Also for in the process of work a mathematical model of the submersible pump was built on the basis of which the simulation is carried out. For more convenient management of the system, a graphical management interface was written in the WinCC Professional software package.

The most energy-consuming process is the implementation of the finished product, built using computer simulation. This is due to the inaccuracy of the model, which cannot take into account all the characteristics of the final system.

Since mathematical modeling is only gaining momentum, the implementation of such projects could only be engaged in large companies that could purchase equipment for testing, which is not a cost-effective business.

The relevance of this work is determined by the fact that the mathematical model closely describes the behavior of the simulated system, which allows you to pre-configure it and identify potential design errors. Mathematical modeling avoids the cost of expensive equipment and adjust the system to the proper robotics.

The purpose of the final qualifying work is to develop a system of Supervisory control and management of oil production equipment in the concept of integrated optimization of production in complex oil fields. To achieve this goal, the study solves the following tasks:

1. literature review of sources on the subject of programming mathematical models;
2. analysis of existing solutions for communication between the controller and the MATLAB software package;
3. writing control programs in the software package TiaPortal;
4. building a mathematical model in the Matlab software package;
5. creating a graphical user interface.

The paper also contains sections on social responsibility and management, resource efficiency, typical for the model considered in the WRC.

The object of this work is to create a complex for the implementation of mathematical modeling.

The subject of this work is the methods of mathematical modeling using automation Siemens, as well as software package MATLAB.

The practical significance of this work is the possibility of further implementation of the obtained mathematical modeling tools in existing projects – gas and oil production.

1. REVIEW OF LITERATURE SOURCES ON RESEARCH SUBJECT

1.1 Definition of digital double

Digital Twin is a virtual, software-based analogue of a physical product, group of products or process, simulating internal processes, technical characteristics and behavior of a real object under the influence of interference and the environment, and its work is to collect and reuse digital information. At the same time, the double is not limited to the collection of data obtained at the stage of design and Assembly of the finished product. Digital twins continues to process data during the working process of the model.

Since the digital double is based on the real model, it means that the double should take all the readings from the real sensors. Therefore, taking readings from the sensors, you can set the input perturbation to double. Taking this into account, it is possible to compare the readings of real sensors with the sensors of the digital double and based on these readings it is possible to draw conclusions about the differences, and about the causes of their occurrence.

Digital double contains:

- digital model ;
- material characteristic;
- management and maintenance of the product;
- information on the impact of external factors.

The most effective use of Digital Twins is for products with the following criteria:

- Support of products qualified specialized services (condition monitoring, monitoring, technical support)
- Long product life cycle (5..70 years old)
- Large number of copies of installed equipment
- Wide range and variety of operating conditions
- Inaccessibility of the product for maintenance

This is a very extensive list of criteria that cover products from various industries, such as Energy (nuclear, oil and gas industry, engineering); Aircraft engines and systems; Complex industrial equipment (pumps, drives, etc.); Railway and road transport systems; Medical equipment.

Another interpretation of the digital double is a virtual model, which at the micro-and macro-level either describes the real object (acting as a double of the finished product), or serves as a prototype of the future object. At the same time, any information that can be obtained by testing a physical object should be obtained on the basis of testing its digital counterpart.

Now widespread classification, which includes three types of twins: digital twins prototypes (Digital Twin Prototype, DTP), digital twins instances (Digital Twin Instance, DTI) and aggregated twins (Digital Twin Aggregate, DTA).

A DTP twin characterizes the physical object of which it is the prototype and contains the information necessary to describe and create the physical version of the object. This information includes production requirements, an annotated 3D model, specification for materials, processes, services, and disposal.

DTI-twins describe a specific physical object with which the double remains associated throughout its life. Twins of this type typically contain annotated 3D model with common dimensions and tolerances, specification of materials, which lists current and past components, the specification on the process, listing the operations that were performed during the creation of this physical object, as well as the results of any tests on site, records of maintenance, including the replacement of components, performance indicators, test results and measurements obtained from sensors, current and predicted values of the monitored parameters.

DTA counterparts are defined as a computing system that has access to all digital counterparts-instances and can send them requests in the mode of random or proactive surveys.

Symbiosis with Internet of things technologies is a driver for the development of both technologies. Digital counterparts receive real data from

sensors that monitor real objects, while the Internet of things provides data collection and analysis from various sensors and makes this process economical and efficient.

Briefly tracing the history of the development of the concept of digital twins, we can say that from the moment when man began to create material products, he used virtual models-twins. First he created them in his imagination, then on paper, then in the computer, and now in the cloud, using smart sensors, the Internet of things, artificial intelligence. At each new stage, new digital technologies and methods of modeling, forecasting, analysis and training were added to the concept. This process is likely to continue in the future.

Digital doubles have undoubtedly become a very useful tool. They improve maintenance operations and simplify product support, save money by reducing the number of failures and extend the life of the equipment. It can be assumed that with the development of the Industrial Internet of Things (IIoT), digital counterparts will become more detailed, and will work to maximize the return on investment in equipment and its maintenance, in parallel, stimulating the improvement of product design.

1.2 Definition of mathematical model

Since the middle of the XX century in various areas of human activity, mathematical methods and computers have been applied widely.

A mathematical model is an approximate description of a class of phenomena or objects of the real world in the language of mathematics. The main purpose of the simulation is to describe as closely as possible the study model and predict the behavior of the real model.

The experiment, which uses real objects of the model is not always effective in terms of economy, in this situation comes to the aid of mathematical modeling, which allows you to conduct an experiment using a digital double. In other words, the real experiment does not allow you to quickly and cost-effectively replace the equipment to test the theory. This particularly affects the medical field, it is

impossible to put in reality an experiment on the influence of any disease or the impact of the spread of a nuclear explosion.

1.3 Main stages of mathematical modeling

1) Construction of the model.

At this stage, a practical model describing the behavior of the system is created, it includes all the characteristics of the process, phenomena, etc.

Further, when certain dependencies are identified, a mathematical model is built. This stage is the most difficult.

2) The Solution of the mathematical problem to which the model leads.

At this stage, the logic is developed and an algorithm for solving the problem using a computer is created. The computer allows you to find a solution with the necessary accuracy and at a given time.

3) Interpretation of the results obtained from the mathematical model.

Further, the decision arising from the mathematical model is interpreted in the language adopted in this field.

4) Check the adequacy of the model.

The next step is to compare the results with the results of a real experiment or with the results of a theoretical experiment.

5) Modification of the model.

When the model is modified, the model is simplified or improved, which leads to the approximation of the intended results.

1.4 Classification of models

In General, mathematical models can be divided into two types:

- functional;
- structural.

In the first case, all the values characterizing the phenomenon or object are expressed quantitatively. In this case, some of them are considered as independent variables, and others — as functions of these quantities. The mathematical model is

usually a system of equations of different types (differential, algebraic, etc.), establishing quantitative relations between the considered quantities. In the second case, the model characterizes the structure of a complex object consisting of separate parts, between which there are certain relationships. Typically, these relationships are not quantifiable. It is convenient to use graph theory to construct such models. A graph is a mathematical object that represents a set of points (vertices) on a plane or in space, some of which are connected by lines (edges).

1.5 Projects using digital doubles

Artificial intelligence, neural networks, digital counterparts, virtual reality — some of the names of industry 4.0 technologies draw pictures of a fantastic future. However, in industry, they all solve one important, but rather banal task — improving efficiency. Moving in this direction on the crest of a new industrial revolution, you can achieve really fantastic results. Including in the field of oil production, which, however, has its own specifics.

Considering the technology used by PJSC Gazprom, upstream can be represented as a huge investment pipeline, starting with the search for oil reserves and completing work together with the end of the life cycle of the field. The value and cost of solutions are distributed on a conveyor basis: few, but the most important and expensive decisions in terms of the success of the entire project are made at the first stages of its implementation, much cheaper, relatively easily fixable, but numerous — at the end, at the stage of industrial operation of the asset. At the same time, the information is quite the opposite: there are very few data for the correct and accurate assessment of the prospects of the field, the choice of methods for its research and development, they have to be collected literally bit by bit. In contrast, there is so much information during the period of operation that its systematization and analysis is already causing a big problem. In both cases, digital technologies help to make the right decisions.

Vadim Yakovlev, first Deputy General Director of Gazprom Neft said, «Digitalization for us is not only the introduction of new digital technologies. It is

also a revision of both our internal processes and our approaches to interacting with our many partners. We aim to build a single open information platform where all our suppliers, contractors and subcontractors can work on an equal basis with us. At the same time, we do not want to impose our product on them, but to involve everyone in the process of its creation on the principles similar to open-source, providing unique technological opportunities and inviting to joint development and improvement of this platform in the co-creation format. We want to go beyond the legal boundaries of our company, to make transparent the entire cycle of value creation for the participants, to move from the relationship "customer/contractor" to work together on the overall result and increase the value of the prize for each of us.»

Big risks for the sake of a big prize are the characteristics of the earliest stage of the field development project, when it is necessary to make the main decision: whether to undertake development at all, what are the chances to find industrial oil reserves and, accordingly, to recoup investments. Everything is complicated by the fact that, as a rule, data on the object under study is very small and they are often extremely scattered. From the mass of this information, often with a completely non-obvious correlation, it is necessary to collect the whole integrated picture.

With the construction of such complex relationships artificial intelligence already copes much better than human. In addition, the machine can much faster analyze more options and give a clear mathematical assessment of the probability of success in a particular case. This is the basis of the cognitive geologist project, which Gazprom Neft is implementing together with the best international IT experts.

In order to assess the scale of the problem to be solved by the project, it is enough to say that today the evaluation of geological objects takes from one to two years, 70% of which is spent just on routine pre-processing operations. The self-learning model of the geological object, which is planned to be created, will mathematically process all existing characteristics of the object and give the final result, while the model will assess the probability of correct answers. Given all this, the time required for processing geological data may be reduced by about six times,

that is, up to two months. At the same time, confidence in the correctness of the forecast should grow significantly. In particular, due to the fact that the "Cognitive geologist" will issue recommendations on the need for additional point studies — those that are still lacking for a more accurate answer to questions about the prospects of the asset. This will reduce the amount of data required to make an investment decision by almost a third.

Even after the prospects of the field have been proved, and the decision to start the development of the asset has been made, there are still plenty of opportunities for fatal errors worth billions of dollars. To do this, it is enough to form not even the wrong, but simply a non-optimal scheme of development. All the information at the stage of development is so great that to work out all kinds of options and design configurations, connections between the elements of the system cannot afford to man. As a result, the conceptual design of a large field today takes about two years, and the result is limited to several options. At the same time, the guarantee that it is really the best options and the best options have not been rejected during the analysis and evaluation, perhaps, no one will give.

Within the framework of the Cognitive engineering project, machine intelligence goes through a huge number of different combinations of well models, tillage schemes, oil collection and oil treatment systems, evaluates their performance, and macroeconomics. Due to this, the choice has now increased from a few to thousands of options with clearly digitized pros and cons, and the period of passage of the stage — from two years has decreased to six months.

In the future, it is planned to include various limitations in the evaluation process, such as access to resources, deadlines, financial opportunities, to obtain a development scheme close to the ideal from the point of view of implementation. It is with the help of this technology that the scheme of development of the northernmost continental Deposit of Russia — East Messoyakha—was optimized. The selection of the optimal drilling system of the asset allowed bringing the project to a positive profitability and putting it into commercial operation in 2016.

10 years ago in Russia the construction of high-tech wells — horizontal, multi-barrel — was rather an exception than a rule for almost all oil companies. Today, the share of such facilities in the overall drilling program of Gazprom Neft exceeds 60%. Without this, it is simply impossible to develop such complex geological objects as, for example, the Novoportovskoye field. At the same time, control over the construction of almost all high-tech wells of the company is now remotely conducted from the drilling control Center "Geonavigator" (tsub), located in St. Petersburg. Based on the geological model, teams of specialists conduct the drill at a depth of 2-3 KMPO layer thickness of only 2-3 m. Changes in the configuration of the productive horizon are monitored using sensors installed on the drilling tool. However, they are located in a couple of tens of meters from the bit, so the signal of critical changes (for example, that the well came out of the productive horizon) reaches the tsub with a delay of 20-30 minutes.

To solve the problem, Gazprom Neft has launched the digital drilling project, which involves the construction of a mathematical model that will be trained, and which, according to parameters such as the load coming to the drill tool, temperature, vibration, resistance, penetration rate, will predict all changes in conditions at the farthest point of the well in real time. A prototype of such a model has already been created and is successfully used in the Central Bank. According to Maxim Shadura, head of the IT, automation and telecommunications Department of the Gazprom Neft exploration and production unit, the accuracy of the lithology prediction at the bottom, which comes from an artificial neural network, already exceeds 80%, and this is not the final result: "the Model is constantly re-trained by comparing the results of the forecast with the real situation, which is transmitted from the sensors. Both errors and accurate hits — everything becomes valuable information for model training."

Alexey Vashkevich, Director of the Directorate for exploration and development of the resource base of Gazprom Neft said, «the Development of digital technologies in the exploration and production unit of Gazprom Neft has been engaged for more than 5 years, during this time the total portfolio of digital projects

has grown from dozens to hundreds. But the full potential of digitalization is possible only in combination with real business challenges. The development strategy of BRD includes a level of tasks that can be effectively solved only with the help of digital technologies. Now our priority task is to form a digital strategy and create a system environment for the effective management of the entire range of projects and initiatives, as well as ensuring their connection with projects at the corporate level. It is also important to take into account in the new strategy all the experience of our colleagues, which will result in the necessary synergy».

The company's specialists believe that eliminating the blind spot in the well is only the initial task for artificial intelligence. In the future, the mathematical model of drilling will allow technologists to proactively predict possible emergency situations, to determine the optimal operating conditions of the equipment. Due to training and complexity, this model can predict and/or recommend the trajectory of the well construction, as well as give the economic efficiency of the work performed.

Digital transformation is most often presented as the introduction of a set of modern technologies into production activities, while often forgetting that the success of the business primarily depends on how clearly the management system is built. After all, hundreds of contractors are involved in the development of any large asset, the document flow is estimated by hundreds of thousands of documents. Such a scale causes serious delays in the transmission of important information, which often leads to critical deviations from the plan, an increase in the timing and cost of the project.

In order to avoid this, Gazprom Neft is creating a project management Center, which in fact is not a single object, but a whole network of multifunctional expert centers that collect information on the implementation of projects in almost real time, analyze it and based on the results of the analysis of predicting the development of the situation. This system has its own hierarchy, at the top of which there is a center that manages the portfolio of large projects, at the bottom — regional and project centers that control operational activities.

At the same time, the methods and principles of management are actively changing. "Today we are actively introducing such a concept as product teams into business, — said Maxim Shadura. — If before the period of work teams constituted of representatives of business, putting the task and IT-specialists able to solve this problem was limited to the creation and implementation of the finished product in commercial operation, in today's world with the start of operation product development is just beginning. We change the ideology of project teams to product teams, which are formed at the time of the birth of the idea of a new solution, create, implement it and continue to live with it until the tool itself, the solution itself loses its relevance. A distinctive feature of this approach is the responsibility for the long-term result, because only it will determine the success of the product."

Denis Sugaipov, head of the Directorate, major projects unit of the exploration and extraction of "Gazprom oil": the Center of project management involves how the introduction of digital tools, and a complete rethinking of the methods of management of large projects. Of course, technology plays an important role, including obtaining a transparent and reliable picture at all levels of project implementation. This is a trace of the supply of materials, and the assessment of the pace of construction using laser scanning, and mathematical modeling of optimal solutions — all technologies are not listed. But at the center of all changes, first of all, is closer integration of various functions and divisions within the company. However, our ambitions are wider — we want to involve hundreds of our contractors and partners in this system. Through the use of open source software and the inclusion of partner processes in a single cycle of analysis and management, we will be able to optimize solutions based on mutual factors and potential synergies, which in turn will help each participant to be more effective and earn more.

Project management center is, of course, not only organizational changes. The project also contains a lot of technologies. This includes 3D scanning of objects under construction using lasers and drones, and the use of multi-agent technologies that have already proved their effectiveness, allowing optimizing the process of

delivery of materials and equipment to the Novoportovskoye field by barges in a short ice-free period.

In General, due to such organizational and digital optimization, it is planned to increase the level of compliance of the actual execution of works with the plan from 60 to 90%, reducing the period of implementation of large projects from five to three years.

Perhaps, only at the stage of commercial operation the field can be compared with any other industrial facility and, accordingly, increase efficiency with the help of digital technologies on the same principles — that is, to optimize operating activities. At this stage, there is already more than enough information, objects for the application of forces, too — true, and the effect of optimizing their work is orders of magnitude lower than in the initial stages of development of the asset. But this is only if we consider these objects in isolation from each other. If the optimization is complex, the effect will grow accordingly. "When there is a lot of data, a huge number of small point tasks, each of which can not have any significant impact on the efficiency of the field, — explained Maxim Shadura. — the big prize can be achieved by developing a comprehensive integrated solution that evaluates all the relationships."

Such a solution will be digital twins created within the framework of the project "production management Center" (CDC). In the framework of the pilot project in "Gazpromneft-Hantise" was created by the digital twin system of mechanized lifting fluid, which is a mathematical model, which contains all processes of the production system — from the wellhead to the delivery of oil submersible and high pressure pumps, elements of the Assembly and preparation of oil, the tank battery. The discrepancy between the characteristics of the operating mode of the real equipment with the ideal mode, which reproduces the model, allows you to automatically diagnose breakdowns, accidents, and therefore select the optimal modes of operation, to avoid all of the above. The digital model also helps to identify the least efficient wells that can be turned off to meet the production quota defined under the OPEC agreement

Today, Gazpromneft-Khantos Adds to the existing digital counterparts of reservoir pressure maintenance and electricity supply systems, which will allow to concentrate the management of all energy flows in the data CENTER, and the experience gained in the Khanty-Mansiysk is actively transferred to the company's enterprises in Noyabrsk, Muravlenko, digital counterparts are created at the Novoportovsky field.

"As part of this project, we are not just forming a set of tool, we are introducing new approaches to asset management, — said Maxim Shadura. — Starting with the formation of the program of improvement of the most problematic processes for each of the enterprises, today we begin to assemble the systems into a single whole, engage in automation according to the same rules and ultimately form a complete asset management model".

Conclusion

This Appendix provides a description of the introduction to the work. The review of literature sources on the research subject is given. An overview of digital twins is also given. The paper includes a description of mathematical models, the main stages of mathematical modeling and classification of models.

The description of the implemented projects with the help of digital twins is given.