

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка модуля планирования процесса нефтедобычи с использованием цифровых двойников</b>

УДК 004.422.833:622.276.5:004.356

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Гилев Владислав Андреевич		

#### Руководитель

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

#### Нормоконтроль

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования – магистратура

Отделение – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Осенний /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)
30.05.2019	Основная часть	60
17.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
08.05.2019	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Суходоев М.С.  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Гилеву Владиславу Андреевичу

Тема работы:

Разработка модуля планирования процесса нефтедобычи с использованием цифровых двойников	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.05.2019, 3487/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является механизированная нефтедобыча, а именно, куст скважин, оборудованный электрическими центробежными насосами.</p> <p>Цель работы: создание модуля планирования процесса нефтедобычи, который обеспечивает требуемые характеристики на заданном уровне.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Требования к разработке;</li> <li>2. Обзор литературы;</li> <li>3. Объект автоматизации;</li> <li>4. Разработка алгоритма;</li> <li>5. Выбор технологий и используемого ПО;</li> <li>6. Реализация модуля.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функциональная схема автоматизации добывающей скважины;</li> <li>2. Блок-схема алгоритма;</li> <li>3. Схема информационных потоков.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна, Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Исаева Елизавета Сергеевна, ст. преподаватель ООД ШБИП</p>
<p>Раздел на иностранном языке</p>	<p>Пичугова Инна Леонидовна, ст. преподаватель ОИЯ ШБИН</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>3.1.1 Технологический процесс 3.1.3 Цифровой двойник</p>	
<p>3.2 Разработка алгоритма 3.2.1 Первая часть алгоритма 3.2.2 Вторая часть алгоритма</p>	
<p>3.3 Выбор технологий и используемого ПО 3.3.1 Язык программирования 3.3.2 Интегрированная среда разработки 3.3.3 Передача данных 3.3.4 Хранение данных 3.3.5 Схема информационных потоков</p>	
<p>3.4.5 Разработка приложения</p>	
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Гилев Владислав Андреевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ71	Гилеву Владиславу Андреевичу

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тариф на электроэнергию – 2,39 руб/кВт.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Проект выполняется в соответствии с: – ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность».
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– отчисления во внебюджетные фонды (27,1 %); – расчет дополнительной заработной платы (15 %).

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

– Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– определение целевого рынка и проведение его сегментирования; – проведение анализа конкурентных технических решений; – выполнение SWOT-анализа проекта.
– Разработка устава научно-технического проекта	Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется
– Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– определение структуры работ в рамках НТИ; – определение трудоемкости выполнения работ; – составление календарного плана проекта; – определение бюджета НТИ;
– Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– определение интегрального финансового показателя; – определение интегрального показателя ресурсоэффективности; – определение сравнительной эффективности проекта.

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей):
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Карта сегментирования рынка.</li> <li>2. Оценка конкурентоспособности технических решений.</li> <li>3. Матрица SWOT.</li> <li>4. Календарный план проведения НИИ.</li> <li>5. Определение бюджета НИИ.</li> <li>6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ.</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**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
8ТМ71	Гилев Владислав Андреевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ТМ71	Гилеву Владиславу Андреевичу

<b>Школа</b>	<b>Информационных технологий и робототехники</b>	<b>Отделение</b>	<b>Автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистратура</b>	<b>Направление/специальность</b>	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема диссертации:

Разработка модуля планирования процесса нефтедобычи с использованием цифровых двойников

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>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.</p>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019);</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78;</li> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015;</li> <li>– СП 2.13130.2012;</li> <li>– ГОСТ 12.1.004-91;</li> <li>– ГОСТ 12.1.019-2017;</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548-96;</li> <li>– ГОСТ Р 55710-2013;</li> <li>– СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03;</li> <li>– СанПиН 2.2.4.3359-16.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень магнитных излучений;</li> <li>– недостаточное освещение рабочей зоны;</li> <li>– неблагоприятный климат;</li> <li>– умственные перегрузки.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная температура поверхностей, оборудования и материалов;</li> <li>– вероятность возникновения пожара;</li> <li>– незащищенные электрические провода.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ возможной утилизации отходов;</li> <li>– разработка возможного решения проблемы.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее вероятной ЧС при разработке и эксплуатации ПО является пожар на рабочем месте.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ТМ71	Гилев Владислав Андреевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 133 страницах, содержит 47 рисунков, 31 таблицу, 38 источников литературы и 6 приложений

Объектом исследования механизированная нефтедобыча при помощи установок электроцентробежных насосов.

Цель работы – разработка модуля планирования нефтедобычи, который реализует заданный алгоритм с целью максимизации энергоэффективности.

В результате было разработано приложение для компьютеров работающих под управлением ОС Windows, представляющее из себя WinForms приложение способное подключаться к ОРС-серверу, записывать значение в БД, и отображать их на экранной форме. Так же в приложении реализован разработанный алгоритм оптимизации.

Для выполнения пояснительной записки использовался офисный пакет приложений MS Office 365. Графический материал разрабатывался при помощи MS Visio 2016. Моделирование технологического процесса проводилось при помощи Simulink. Приложение разрабатывалось при помощи MS Visual Studio 2017.

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ, АЛГОРИТМЫ, ОРС, УЭЦН, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

## Содержание

Введение.....	16
Обозначения и сокращения .....	18
1 Обзор литературы.....	19
2 Требования к разработке.....	22
2.1 Наименование.....	22
2.2 Область применения.....	22
2.3 Основание для разработки .....	22
2.4 Назначение разработки .....	22
2.5 Требования к программе или программному изделию.....	23
2.5.1 Требования к функциональным характеристикам.....	23
2.5.2 Требования к надежности.....	23
2.5.3 Условия эксплуатации .....	24
2.5.4 Требования к параметрам и составу технических средств .....	25
2.5.5 Требования к информационной и программной совместимости .....	25
2.5.5.1 Требования к программным средствам.....	25
2.5.5.2 Требования к исходным кодам и языкам программирования.....	25
2.5.6 Специальные требования .....	26
2.6 Требования к программной документации .....	26
3 Разработка модуля.....	27
3.1 Объект автоматизации.....	27
3.1.1 Технологический процесс .....	27
3.1.2 Объем автоматизации .....	28
3.1.3 Цифровой двойник.....	29
3.2 Разработка алгоритма .....	30
3.2.1 Первая часть алгоритма.....	31
3.2.2 Вторая часть алгоритма .....	32
3.3 Выбор технологий и используемого ПО .....	36
3.3.1 Язык программирования .....	36
3.3.2 Интегрированная среда разработки.....	36
3.3.3 Передача данных .....	37
3.3.4 Хранение данных .....	41
3.3.5 Схема информационных потоков.....	44
3.4 Создание модуля.....	45
3.4.1 Настройка цифрового двойника .....	45
3.4.2 Настройка ОПС-сервера.....	48

3.4.3	Создание БД.....	50
3.4.4	Настройка подключения.....	54
3.4.5	Разработка приложения.....	56
3.5	Проверка работоспособности.....	60
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	65
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	65
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	66
4.1.2	SWOT-анализ.....	67
4.2	Планирование управления научно-техническим проектом.....	69
4.2.1	План проекта.....	69
4.2.1.1	Структура работ в рамках НТИ.....	69
4.2.1.2	Определение трудоемкости выполнения работ в рамках НТИ.....	70
4.3	Бюджет научного исследования.....	74
4.3.1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	74
4.3.2	Специальное оборудование для научных работ.....	75
4.3.3	Расчет основной заработной платы исполнителей НТИ.....	76
4.3.4	Расчет дополнительной заработной платы исполнителей НТИ.....	77
4.3.5	Расчет отчислений во внебюджетный фонды.....	77
4.3.6	Научные и производственные командировки.....	78
4.3.7	Расчет накладных расходов.....	78
4.3.8	Расчет бюджета НТИ.....	79
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.....	79
4.4.1	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	79
4.4.2	Оценка абсолютной эффективности исследования.....	82
4.4.2.1	Расчет чистой текущей стоимости.....	82
4.4.2.2	Дисконтированный срок окупаемости.....	84
4.4.2.3	Внутренняя ставка доходности (IRR).....	84
4.4.2.4	Индекс доходности (рентабельности) инвестиций.....	86
5	Социальная ответственность.....	87
5.1	Введение.....	87
5.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
5.3	Производственная безопасность.....	89
5.3.1	Термические опасности на рабочем месте.....	90
5.3.2	Электробезопасность на рабочем месте.....	91
5.3.3	Отклонение показателей микроклимата рабочей зоны.....	92

5.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	92
5.3.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений на рабочем месте .....	93
5.3.6 Умственные перегрузки.....	94
5.4 Экологическая безопасность .....	95
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
5.6 Выводы по разделу .....	99
Заключение.....	100
Список публикаций .....	101
Список источников.....	103
Приложение А. Development of a planning module for the oil production process using digital twins .....	103
Приложение Б. Функциональная схема автоматизации добывающей скважины .....	126
Приложение В. Блок-схема структурной оптимизации (первая часть алгоритма).....	127
Приложение Г. Блок-схема планирования (вторая часть алгоритма) .....	128
Приложение Д. Схема информационных потоков .....	129
Приложение Е. Листинг алгоритма .....	130

## Введение

В современном мире большую роль играет автоматизация технологических процессов, потому что в условиях рыночной экономики предприятиям необходимо повышать производительность, сокращать сроки выпуска продукции, выполнять задачи, которые недоступны человеческим рукам. Поэтому невозможно представить предприятие без автоматизированных производственных линий, ведь автоматизация позволяет освободить человека от выполняемых функций и переложить их на систему АСУТП. Автоматизированная система управления технологическим представляет из себя совокупность программных средств, таких как ПО для ЭВМ и ПО для ПЛК, а также технических средств, таких как датчики и исполнительные устройства.

В последние годы требования к системам автоматизации изменились и теперь недостаточно передачи функции человека, касающихся управления и контроля, оборудованию, также необходимо сокращать производственные издержки, а значит нужно оптимизировать использование энергии и ресурсов, проведение технического обслуживания систем автоматизации.

Рассмотрим непосредственно процесс нефтедобычи, в котором автоматизация получила широкое распространение. На основании источника [1] проанализируем использование электроэнергии нефтедобывающим предприятием. Большая часть электроэнергии потребляется на глубиннонасосную добычу нефти, а именно 46 %, следовательно, необходимо оптимизировать затраты энергии насосного оборудования.

Целью магистерской диссертации является создание модуля планирования процесса нефтедобычи, который реализовывал бы алгоритм определения оптимальных дебитов скважин с учетом максимизации энергоэффективности работы насосного оборудования. В данном случае, модуль – это программное обеспечение, которое реализует заложенные алгоритмы определения необходимых дебитов скважин, обмен информацией с ОРС сервером, запись параметров технологического процесса в базу данных

и отображение параметров технологического процесса в удобной для человека форме, а именно в виде графиков и экранных форм.

Для разработки программного обеспечения необходимо решить ряд задач:

- 1) Изучить управление насосными агрегатами и определить наиболее энергоэффективный;
- 2) Разработать алгоритм нахождения оптимальных уставок для насосных агрегатов;
- 3) Выбрать необходимые технологии для реализации модуля:
  - язык программирования;
  - библиотеки;
  - ПО для разработки программы;
- 4) Подготовить «стенд» для тестирования:
  - организовать удаленный сервер для запуска цифрового двойника;
  - разместить на сервере ОРС-сервер;
  - подготовить сервер БД и СУБД;
- 5) Реализовать модуль;
- 6) Проверить работоспособность на тестовом «стенде».

## **Обозначения и сокращения**

В работе используются следующие обозначения и сокращения:

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

БД – база данных;

КПД – коэффициент полезного действия;

НКТ – насосно-компрессорные трубы;

НТИ – научно-техническое исследование;

ООП – объектно-ориентированное программирование;

ПДУ – предельно допустимый уровень;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

ПЭД – погружной электродвигатель;

СУБД – система управления базами данных;

УЭЦН – установка электроприводного центробежного насоса;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЭЦН – электроцентробежный насос;

ER - entity-relationship;

HDA - historical data access;

HMI – human-machine interface;

OPC – open platform communication;

SCADA – supervisory control and data acquisition;

SDK – software development kit;

SQL – structured query language.

## 1 Обзор литературы

Любая современная компания стремится к увеличению прибыли и успешному развитию, при которых риски должны быть минимальными. Для достижения этих целей используют один из этапов процесса управления компанией или производством – планирование. Основная роль планирования заключается в нахождении управленческих решений. Что характеризуется тем, что в процессе планирования устанавливают цели и распределяют ресурсы системы в целом. Планирование позволяет определять формы, характер и последовательность будущих действий [2].

Одним из первых упоминаний о появлении задачи планирования считается создание первых городов или площадок, где было необходимо координировать работу большого числа людей: в строительной и военных областях, в области безопасности жизнедеятельности, священнослужителей и т.д. [3].

Процесс планирования, как правило, разделяют на три этапа:

1. определение количественных показателей, которые способствуют компании в достижении поставленных целей;
2. выделение определяющих действий для достижения целей. Здесь во внимание принимаются как внешние, так и внутренние факторы;
3. разработка системы планирования, которая является гибкой и обеспечивает достижение поставленных целей компании [4].

Важный шаг в управлении производством, а именно, в непосредственном его планировании, основан на пошаговой разработке производственных планов.

Производственные планы определяют, что будет производиться и где, какого типа, кем и как. Любой план, в том числе и производственный, для детальной проработки должен основываться на определенных принципах:

- непрерывности;
- необходимости;
- единства;

- экономичности;
- гибкости;
- точности;
- участия;
- нацеленности на конечный результат [5].

В систему планирования производства включены четыре основных звена:

- стратегический план;
- тактический план;
- производственная программа;
- календарный план [4].

Перечисленные выше планы всегда связаны между собой и не противоречат друг другу.

При этом основной проблемой планирования является вопрос распределения операций между всеми имеющимися ресурсами с учетом всех возможных ограничений. Для решения проблемы прибегают к процессу оптимизации плана производства.

Оптимизация плана производства – это нахождение наилучшего варианта производственной программы из всех возможных при эффективном использовании производственных мощностей и ресурсов [6].

Первым историческим упоминанием оптимизационной задачи считается поэма «Энеида», написанная Публием Вергилием Мароном (I в до н.э.). В поэме описывается, как королева Дидо сбегая на северное побережье Африки, борется с ухищрениями местного правителя [3].

После разработки производственного плана, все полученные решения, с точки зрения процесса оптимизации, можно разделить на:

- решения, оптимальные по всем критериям;
- решения, оптимизированные по одному или нескольким критериям;

– решения, удовлетворяющие всем ограничениям.

В результате процесс формирования оптимального производственного плана сводится к последовательному решению двух подзадач: поиск допустимых планов и затем выделение лучшего производственного плана из всех допустимых [3].

## **2 Требования к разработке**

Состав и содержание требований разработаны на основании ГОСТ 19.201-78.

### **2.1 Наименование**

Полное наименование – модуль планирования процесса нефтедобычи с использованием цифровых двойников.

Краткое наименование – модуль.

### **2.2 Область применения**

Программа должна быть применима для ЭВМ, работающих под управлением операционной системы Windows.

### **2.3 Основание для разработки**

Основанием для разработки является задание на выполнение выпускной квалификационной работы на тему «Разработка модуля планирования процесса нефтедобычи с использованием цифровых двойников» выданное студенту группы 8ТМ71 Гилеву Владиславу Андреевичу.

### **2.4 Назначение разработки**

Разрабатываемый модуль делится на две части, первая это тестовая платформа, которая включает в себя цифровой двойник для моделирования технологического процесса нефтедобычи и ПО для организации обмена данными со второй частью – программой.

Программа представляет собой приложение с графическим интерфейсом и предназначена для оптимизации процесса нефтедобычи, путем реализации заданного алгоритма определения оптимальных уставок.

## **2.5 Требования к программе или программному изделию**

### **2.5.1 Требования к функциональным характеристикам**

Программная часть должна обеспечивать выполнение функций, которые указаны ниже:

- возможность подключения к ОРС-серверу, для получения данных о показателях технологического процесса;
- возможность подключения к базе данных, для записи данных о показателях технологического процесса;
- возможность отображения показателей технологического процесса в виде графиков;
- возможность останавливать и запускать процесс отображения показателей технологического процесса;
- возможность осуществлять планирование процесса нефтедобычи в соответствии с заданными алгоритмом.

Тестовая платформа должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- возможность моделирования технологического процесса нефтедобычи;
- предоставлять показатели технологического процесса посредством ОРС;
- хранение данных в БД;
- возможность подключения посредством Internet;
- возможность получать требуемые данные из программной части посредством ОРС.

### **2.5.2 Требования к надежности**

Надежное (устойчивое) функционирование программного обеспечения должно быть обеспечено выполнением Заказчиком совокупности организационно-технических мероприятий, перечень которых приведен ниже:

- организацией бесперебойного питания технических средств;
- использованием лицензионного программного обеспечения;
- регулярным выполнением рекомендаций Министерства труда и социального развития РФ, изложенных в Постановлении от 23 июля 1998 г. Об утверждении межотраслевых типовых норм времени на работы по сервисному обслуживанию ПЭВМ и оргтехники и сопровождению программных средств»;
- регулярным выполнением требований ГОСТ 51188-98 «Защита информации».

Время восстановления после отказа, вызванного сбоем электропитания технических средств (иными внешними факторами), не фатальным сбоем (не крахом) операционной системы, не должно превышать 30-ти минут при условии соблюдения условий эксплуатации технических и программных средств.

Время восстановления после отказа, вызванного неисправностью технических средств, фатальным сбоем (крахом) операционной системы, не должно превышать времени, требуемого на устранение неисправностей технических средств и переустановки программных средств.

### **2.5.3 Условия эксплуатации**

Климатические условия эксплуатации должны соответствовать следующим требованиям:

- Температура: (22 – 25) °С;
- Относительная влажность: (40 – 60) %.

Количество пользователей для обслуживания модуля должно составлять не менее 2. Один из них – это оператор, который непосредственно взаимодействует с программной частью. Второй – инженер-программист, который вносит требуемые изменения в программу, базу данных и ОПС-сервер.

## **2.5.4 Требования к параметрам и составу технических средств**

Для функционирования программной части необходима ПЭВМ со техническими характеристиками:

- процессор x64 не ниже 1.6 Ghz;
- оперативную память объемом не менее 1 ГБ;
- операционную систему Windows;
- VGA-совместимый адаптер;
- HID-устройства: клавиатура, мышь;
- монитор с разрешением не менее 1280x720.

## **2.5.5 Требования к информационной и программной совместимости**

### **2.5.5.1 Требования к программным средствам**

Для работы программной части модуля необходимы следующие компоненты:

- Microsoft .NET Framework 4.6.1;
- OPC Core Components;
- MySQL connector.

Для работы тестовой платформы необходимы следующие компоненты и ПО:

- Matlab;
- MySQL Server;
- OPC сервер.

### **2.5.5.2 Требования к исходным кодам и языкам программирования**

Программная часть модуля должна быть разработана при помощи языка программирования C#.

Взаимодействие программной части с базой данных должно происходить посредством запросов на языке SQL.

### **2.5.6 Специальные требования**

Графический интерфейс программной части модуля должен быть простым и должен быть выполнен в цветах Томского Политехнического Университета.

### **2.6 Требования к программной документации**

В состав программной документации должны входить:

- техническое задание;
- листинг программного кода;
- пояснительная записка в рамках магистерской диссертации.

### 3 Разработка модуля

#### 3.1 Объект автоматизации

##### 3.1.1 Технологический процесс

Технология нефтедобычи заключается в извлечении её из пластов через скважины. Нефть может самостоятельно подниматься по скважине от пласта для поверхности под действием давления. Пластовое давление обычно гидростатическое, то есть такое же, как и в воде на такой же глубине, а в скважине заполненной нефтью давление меньше (призобойное давление), из-за перепада давлений, который называется депрессией, и происходит фонтанирование [7].

Во время эксплуатации скважины пластовое давление снижается, в результате депрессия уменьшается и это приводит к уменьшению дебита скважины. Существует несколько способов увеличения дебита, например механизированный способ добычи нефти при помощи электроцентробежных насосов. При использовании ЭЦН забойное давление в скважине снижается, следовательно, увеличивается депрессия и увеличивается дебит.

При помощи установки погружных электроцентробежных насосов из пласта откачивается жидкость, содержащая нефть, воду, газ и различные примеси, на рисунке 1 приведена схема нефтедобычи при помощи УЭЦН.

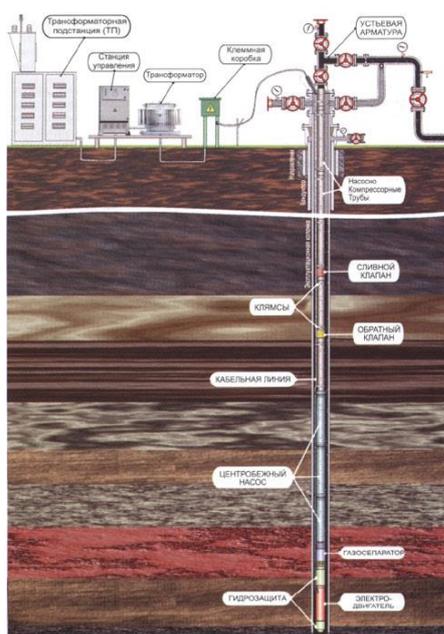


Рисунок 1 – Схема нефтедобычи с применением УЭЦН

Рассмотрим более подробно схему нефтедобычи. Установка ЭЦН состоит из погружного и наземного оборудования. Состав погружного оборудования включает в себя: насосно-компрессорные трубы (НКТ) на которых в скважину спускают электронасосный агрегат, состоящий из обратного и сливного клапанов, многоступенчатого центробежного насоса, газосепаратора и электродвигателя с гидрозащитой.

В состав наземного оборудования входят: устьевое оборудование (колонная головка и устьевая арматура), а также электрооборудование, состоящее из клеммной коробки, трансформатора, станции управления и трансформаторной подстанции.

Электродвигатель приводится в движение электроэнергией от трансформатора, которая подается по кабельной линии, закрепленной на насосно-компрессорной трубе при помощи пояса крепления кабеля (клямса) [8].

### 3.1.2 Объем автоматизации

На рисунке 2 представлен заложенный объем автоматизации скважины с ЭЦН в систему АСУТП.

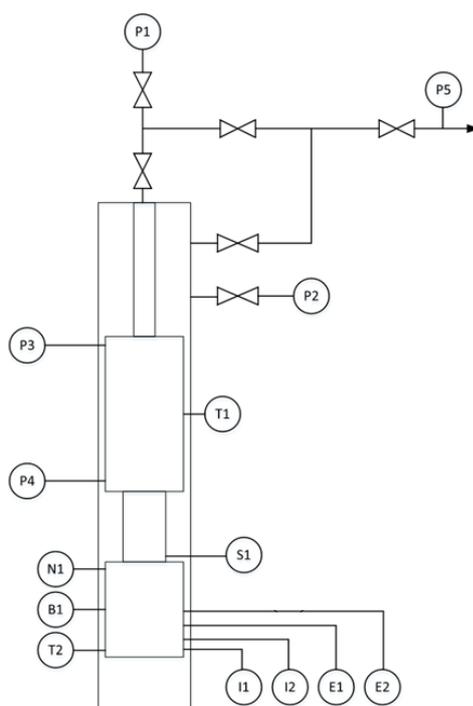


Рисунок 2 – Объем автоматизации

В таблице 1 представлены обозначения и параметры, показанные на схеме.

Таблица 1 – Обозначения

№ пп	Технологический параметр	Обозначение
1	Давление буферное	P1
2	Давление затрубное	P2
3	Давление на выкиде насоса	P3
4	Давление на приеме насоса	P4
5	Линейное давление	P5
6	Температура насоса	T1
7	Скорость вращения	S1
8	Состояние ЭЦН (вкл. – откл.)	N1
9	Сопротивление изоляции кабеля	B1
10	Температура электродвигателя	T2
11	Действующее значение тока электродвигателя	I1
12	Ток по фазе А, В, С	I2
13	Действующее линейное напряжение	E1
14	Напряжение по фазе А, В, С	E2

Функциональная схема автоматизации представлена в приложении Б.

### 3.1.3 Цифровой двойник

Цифровой двойник – это программный прототип реального физического устройства, который отражает технические характеристики и поведение реального объекта. В рамках разработки модуля планирования, цифровым двойником выступала модель скважины, разработанная в ходе выполнения магистерской диссертации Халитовым Ильясом. На рисунках 3 и 4 представлена модель собранная в Simulink.

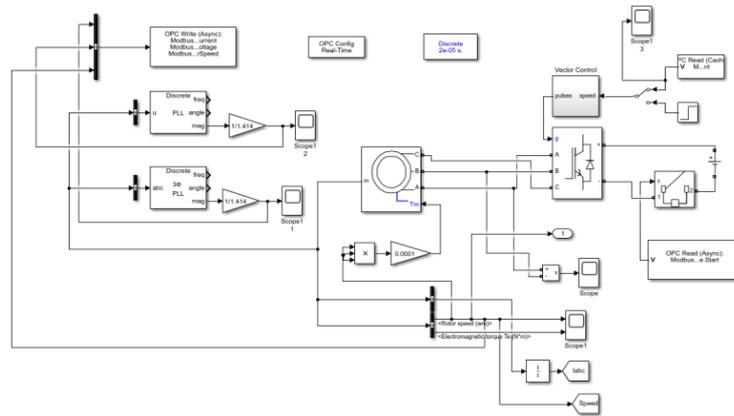


Рисунок 3 – Модель асинхронного электродвигателя

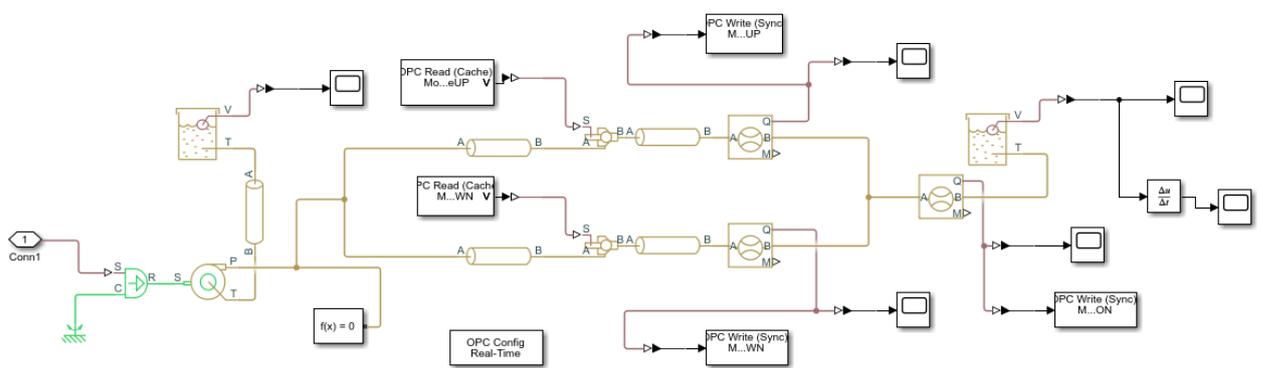


Рисунок 4 – Модель насоса и трубопровода

Модель состоит из двух частей. Первая часть (рисунок 3) – это асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и векторной системой управления, которая отражает работу ПЭД при механизированной добычи нефти.

Вторая часть – это насос, который перекачивает добываемую жидкость из скважины, и трубопровод, по которому перекачивается жидкость.

### 3.2 Разработка алгоритма

Цель разработки алгоритма – это достижение максимальной энергоэффективности куста скважин, реализуется это за счет планирования и вычисления необходимых уставок скоростей для электродвигателей. Сам алгоритм будет состоять из двух этапов. На первом этапе будет проводиться структурная оптимизация, исходя из заданного дебита куста в целом, а на

втором будет решаться задача линейного программирования, которая будет определять требуемые уставки.

### 3.2.1 Первая часть алгоритма

Как уже упоминалось ранее первый этап заключается в структурной оптимизации, это значит, что прежде, чем решать оптимизационную задачу, необходимо определить достаточное число скважин для обеспечения требуемого дебита куста, исходя из номинальных дебитов скважин. На рисунке 5 представлена упрощенная структурная схема нефтедобычи.

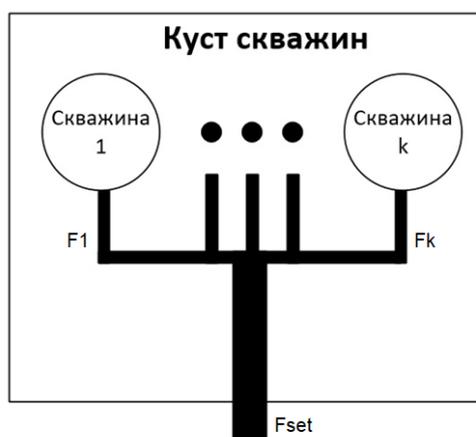


Рисунок 5 – Структурная схема нефтедобычи

Для определения наиболее экономичных скважин был введен коэффициент удельного энергопотребления:

$$k_{iэ} = \frac{N_i}{F_i}, \quad (1)$$

где  $F_i$  – это номинальный расход скважины;

$N_i$  – это номинальная потребляемая мощность электродвигателя скважины.

На основании введенного коэффициента скважины сортируются по возрастанию и отбирается необходимое количество наиболее экономичных скважин, остальные скважины не эксплуатируются. Блок схема алгоритма структурной оптимизации представлена в приложении В, разработана в соответствии с ГОСТ 19.701-90 «Схемы алгоритмов программ, данных и систем».

Выбор количества работающих скважин был связан с тем, что КПД асинхронного электродвигателя зависит от нагрузки, на рисунке 6 приведен график зависимости.

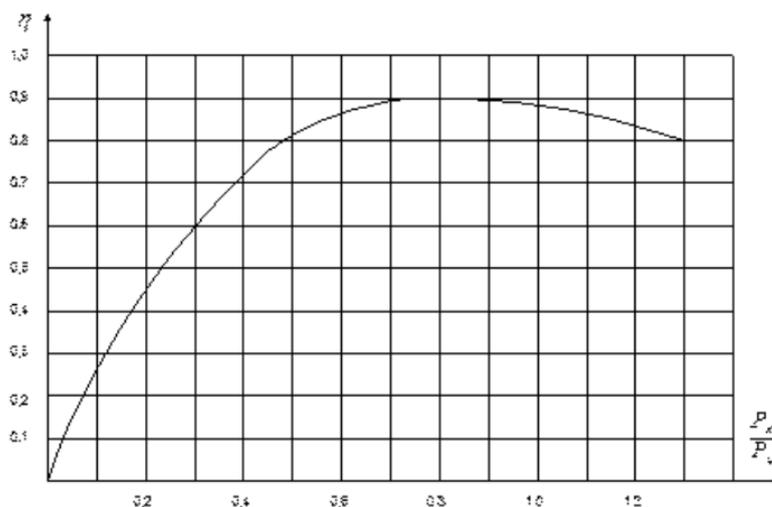


Рисунок 6 – Зависимость КПД от нагрузки на двигатель

Из графика видно, что наибольшее КПД электродвигателя достигается при нагрузке равной 0,75 от номинальной мощности ( $P_n$ ), поэтому для того, чтобы обеспечить оптимальные показатели энергоэффективности для всего куста, необходимо чтобы ПЭД-ы работали близко к номинальному режиму. При разработке алгоритма нагрузка на двигатель ограничивалась в диапазоне от  $0,7 \cdot P_n$  до  $1,1 \cdot P_n$ , данное ограничение будет использовано во второй части алгоритма.

### 3.2.2 Вторая часть алгоритма

Второй этап – это решение оптимизационной задачи. На вход алгоритм получает номинальные параметры и показатели технологического процесса для скважин, отобранных первой частью. Затем решается задача линейного программирования. В случае успешного решения задачи пользователю выводятся рассчитанные значения, а в случае неудачи – сообщение о том, что не удалось найти оптимальное решение, блок-схема алгоритма приведена в приложении Г.

Перейдем к составлению задачи линейного программирования. Рассмотрим общий вид задачи линейного программирования, пусть: дана система  $m$  линейно независимых уравнений с неизвестными  $x_1, \dots, x_n$ , называемая системой ограничений задачи линейного программирования:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1; \\ &\dots \\ a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m. \end{aligned}$$

Требуется найти неотрицательные значения переменных  $x_i \geq 0, i = 1, n$ , которые удовлетворяют системе уравнений и доставляют минимум целевой функции:

$$f(x) = c_1x_1 + \dots + c_nx_n.$$

Стоит отметить, что ограничениями в задаче линейного программирования могут быть не только уравнения, но и неравенства.

В другом виде задачу линейного программирования можно записать так:

$$\min_x f^T, \text{ при } \begin{cases} A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq, \\ lb \leq x \leq ub. \end{cases}$$

Исходя из модели, переменными  $x_i$  являются скорости вращения роторов.

Первым ограничением будет служить требуемый дебит куста скважин:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \omega_i \geq Fset, \quad (2)$$

где  $\alpha_i$  – это коэффициент, отражающий взаимосвязь подачи насосного агрегата и скорости вращения ротора электродвигателя;

$\omega_i$  – это скорость вращения ротора электродвигателя;

$Fset$  – это необходимый расход куста скважин.

Обратимся к законам пропорциональности насоса [9] из которых следует, что зависимость между скоростью и подачей линейная,

следовательно, мы можем вычислить коэффициент через показатели технологического процесса:

$$\alpha_i = \frac{F_i}{\omega_i}, \quad (3)$$

где  $F_i$  – расход скважины;

$\omega_i$  – скорость вращения ротора электродвигателя.

Оставшиеся условия будут вытекать из ограничений, связанных с нагрузкой на электродвигатель:

$$0,7 \cdot P_H \leq P_i \leq 1,1 \cdot P_H, \quad (4)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность электродвигателя;

$P_i$  – потребляемая мощность электродвигателя.

Необходимо выразить эти условия через скорость вращения, поэтому вернемся к законам пропорциональности насоса, из которых следует то, что зависимость между скоростью вращения и потребляемой энергией кубическая:

$$N_i = \beta_i \cdot \omega_i^3, \quad (5)$$

где  $\beta_i$  – коэффициент, который связывает скорость вращения ( $\omega_i$ ) и потребляемую энергию ( $N_i$ ).

На рисунке 7 представлена зависимость в виде графика.



Рисунок 7 – Зависимость потребляемой энергии от скорости вращения

Потребляемая насосом мощность выражается через мощность электродвигателя:

$$N_i = \eta_i \cdot P_i, \quad (6)$$

где  $\eta_i$  – КПД электродвигателя

Приравняем (5) и (6) выразим  $P_i$  и подставим в (4), в результате получим оставшиеся ограничения для задачи линейного программирования:

$$0,7 \cdot \frac{\beta_i \cdot \omega_H^3}{\eta_i} \leq \frac{\beta_i \cdot \omega_i^3}{\eta_i} \leq 1,1 \cdot \frac{\beta_i \cdot \omega_H^3}{\eta_i};$$

$$0,89 \cdot \omega_H \leq \omega_i \leq 1,03 \cdot \omega_H.$$

Осталось определить целевую функцию, в качестве целевой функции была взята потребляемая мощность всеми работающими электродвигателями:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\beta_i \cdot \omega_i^3}{\eta_i} \rightarrow \min.$$

Но функция не является линейной, а задача линейного программирования подразумевает то, что целевая функция и ограничения должны быть линейными. Поэтому необходимо линеаризовать функцию, для линеаризации функции разложим её в ряд Тейлора:

$$\sum_{n=0}^k \frac{f^{(n)}(a)}{n!}.$$

Применительно к нашей функции, разложение в окрестности номинальной точки выглядит следующим образом:

$$\frac{\beta_i \cdot \omega_i^3}{\eta_i} = \frac{\beta_i \cdot \omega_H^3}{\eta_i} + 3 \cdot \frac{\beta_i \cdot \omega_H^2}{\eta_i} (\omega_i - \omega_H).$$

Опустим постоянные слагаемые, т.к. они влияют только на перемещение прямой вдоль оси ординат, следовательно, получаем конечный вид целевой функции:

$$\sum_{i=1}^n \frac{3 \cdot \beta_i \cdot \omega_H^2 \cdot \omega_i}{\eta_i} \rightarrow \min.$$

### **3.3 Выбор технологий и используемого ПО**

#### **3.3.1 Язык программирования**

Исходя из целевой платформы, а именно ЭВМ с установленной операционной системой Windows, и технического задания, был выбран язык программирования C#. C# (произносится си шарп) — объектно-ориентированный язык программирования. Был разработан в 1998—2001 годах компанией Microsoft. Разработка проводилась под руководством Андерса Хейлсберга, создателя компилятора, который использовался в Turbo Pascal и Delphi, и Скотта Вильтаумота [10][11].

Достоинствами языка являются:

- поддержка и совершенствование языка со стороны Microsoft;
- большое количество библиотек и SDK;
- использование объектно-ориентированного подхода;
- наличие хороших инструментов разработки;
- строгая типизация;

К недостаткам языка относятся:

- наличие строгой ориентированности на .NET платформу;
- необходимость покупки лицензии при использовании инструментов коммерческими фирмами.

#### **3.3.2 Интегрированная среда разработки**

Исходя из выбранного языка программирования, в качестве среды разработки приложений была выбрана Microsoft Visual Studio 2017 Community.

Microsoft Visual Studio – это совокупность программ, включающих в себя интегрированную среду разработки ПО и другие инструменты. В состав входят редактор исходного кода, с поддержкой дополнительных функции ускоряющих и упрощающих процесс разработки, отладчик кода, различные

редакторы для разработки графических интерфейсов, дизайнер классов и дизайнер баз данных [12].

Достоинства:

- поддержка нескольких языков программирования;
- возможность отладки приложений;
- высокая скорость разработки;
- предоставление возможности модульного тестирования приложений;
- наличие встроенного web-сервера.

Недостатки:

- платная для разработки проектов на коммерческой основе;
- отсутствие кроссплатформенности.

### **3.3.3 Передача данных**

Основным фактором при выборе технологии обмена данными было требование обеспечения совместимости разрабатываемого модуля с другими программными продуктами, поэтому была выбрана технология OPC.

OPC (Open Platform Communication) – это серия спецификаций, разработанных поставщиками средств автоматизации, конечными пользователями и разработчиками программного обеспечения. Эти спецификации определяют интерфейс между клиентом и сервером, а также сервером и сервером, предоставляя доступ к данным в реальном времени, к мониторингу сигналов тревоги, к историческим данным и другим приложениям [13].

Последней версией стандарта является OPC Unified Architecture, в котором используется понятие объекта, по аналогии с ООП. Объект представляет из себя физическое устройство, например датчик – расходомер, который отображает значение расхода, параметры сигнализации и их границы срабатывания [14].

Механизм обмена информацией построен на клиент-серверной архитектуре. В системе может быть как несколько клиентов, так и несколько серверов, при этом не только сервер может обслуживать несколько клиентов, но и каждый клиент может параллельно подключаться к нескольким серверам. Обмен по OPC-интерфейсу всегда происходит между OPC-клиентом и OPC-сервером. OPC-сервер является связующим звеном между OPC-клиентом и собственно устройствами. Он сам непосредственно работает с устройством и предоставляет клиенту OPC-интерфейс для получения результатов сбора данных с устройств или записи значений для вывода на устройства. OPC-клиентом же является конечная программа, получающая данные ввода через OPC-интерфейс от сервера или управляющая выводом. Клиентом может быть SCADA-система, как и любая другая пользовательская программа, в рамках магистерской диссертации это разрабатываемый модуль оптимизации, на рисунке 8 представлена структура клиента.

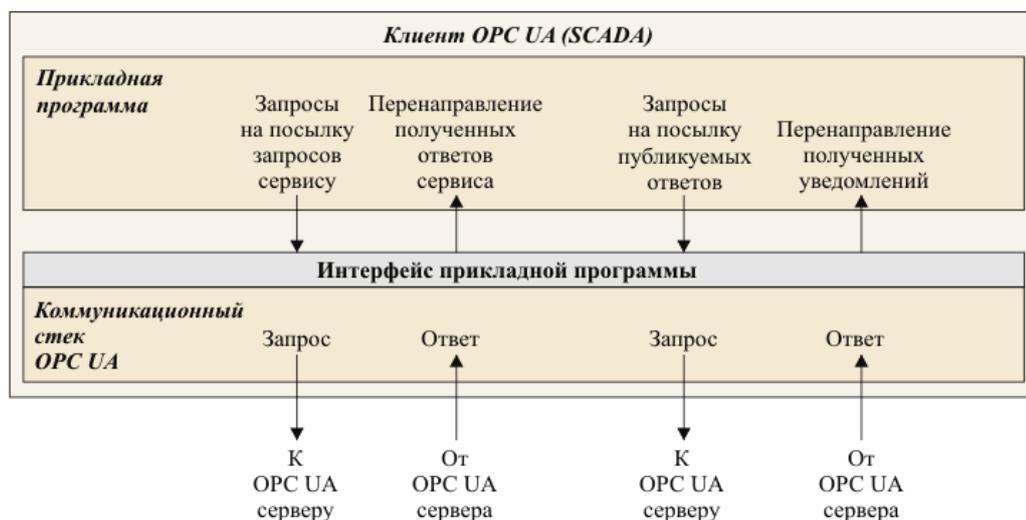


Рисунок 8 – Структура клиента в OPC UA

Доступ к данным OPC-сервера осуществляется через элементы (items) адресного пространства OPC (или OPC-переменные), каждый из которых имеет свое уникальное имя (тэг). Элементы организованы в виде иерархического адресного пространства, во многом аналогичного файловой системе, где есть ветви (соответствуют директориям), служащие для группировки других элементов, и конечные узлы (соответствуют файлам), предоставляющие доступ к данным OPC-сервера. Каждый конечный узел

имеет свой основной тип данных, права доступа (чтение или запись), а также может иметь набор дополнительных связанных с ним свойств (например, верхний и нижний предел измерения, единицы измерения и т.д.), на рисунке 9 представлена структура OPC-сервера.

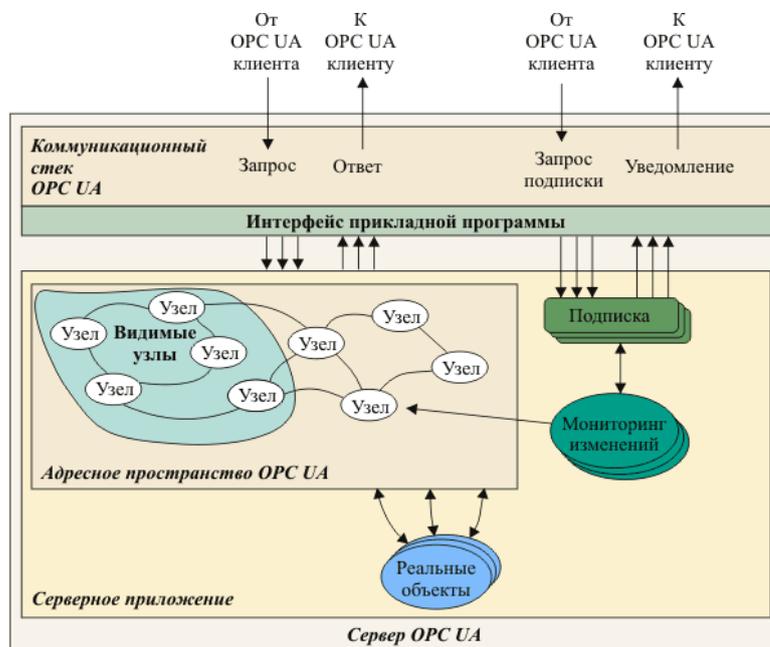


Рисунок 9 – Структура сервера в OPC UA

По сути, весь обмен между OPC-клиентами и OPC-сервером сводится к чтению или записи значений элементов адресного пространства OPC-сервера. Таким образом весь обмен с устройством скрыт от OPC-клиента. Ему нужно знать лишь названия элементов (теги) адресного пространства OPC-сервера, которые соответствуют интересующим его параметрам. Соответствие же элементов адресного пространства сервера и измеряемых параметров определяются самим сервером.

Всего существует три способа получения значений элементов группы:

1) Подписка на изменение данных. В этом варианте клиент подписывается на изменения значений элементов, в результате чего сервер сам отслеживает эти изменения и при их возникновении оповещает клиента.

2) Асинхронное чтение. В этом режиме клиент делает запрос на чтение элементов группы, после чего может продолжать работу не дожидаясь результата. Сервер выполняет чтение всех запрошенных элементов и по

завершению операции оповещает клиента о считанных значениях (всегда о всех запрошенных элементах одновременно).

3) Синхронное чтение. В этом режиме клиент вызывает операцию чтения и ожидает, когда будут получены значения всех запрошенных элементов сервером. Только после этого ему возвращается управление.

Запись же элементов бывает либо синхронной, либо асинхронной, что определяет, ожидает ли клиент завершения и результата записи или сервер сообщает об этом результате асинхронно.

При выполнении магистерской диссертации в качестве OPC-сервера был выбран Modbus Universal MasterOPC Server.

Отличительные особенности Modbus Universal MasterOPC:

- масштабирование значений (приведение к требуемому диапазону);
- групповая правка тегов;
- мастер импорта тегов из csv файлов;
- гибкая перестановка байтов (в словах длиной до 8 байтов);
- выделение отдельных битов в теги;
- автоматическое преобразование типов;
- поддерживаемые типы данных bool, int16, uint16, int32, uint32, float, double, string;
- ведение подробного лога диагностических сообщений;
- отслеживание качества связи с устройством;
- поддержка 20 функции Modbus (функция 0x14 - Read File Record);
- формирование любого Modbus запроса;
- трассировка обмена с устройствами;
- архивирование тегов с передачей архивов по OPC HDA [15].

Подробная информация о созданных узлах и архитектуре OPC-сервера указана в пункте 3.4.2.

Как упоминалось ранее клиентом будет разрабатываемый модуль, поэтому для реализации необходимого функционала был выбран .Net based OPC UA SDK от Unified Automation, который включает в себя 3 библиотеки на C#, подробную документацию с описанием классов и методов, а также примеры разработанных приложений. На рисунке 10 представлена архитектура SDK [16].

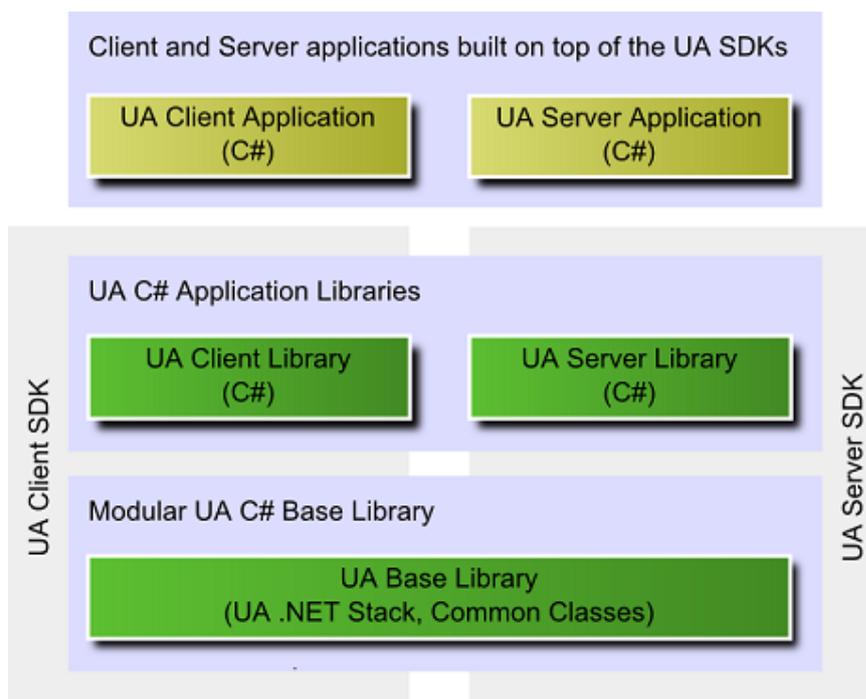


Рисунок 10 – Архитектура UA SDK

### 3.3.4 Хранение данных

Для организации хранения данных была выбрана реляционная база данных, под управлением СУБД MySQL.

База данных – это организованная в соответствии с определенными правилами структура, предназначенная для хранения, изменения и обработки данных в соответствии с определенными правилами.

Реляционная база данных основана на реляционной модели, в которой данные хранятся в виде таблиц плоских таблиц, на рисунке 11 приведен пример таблицы и указаны некоторые понятия. Данные создаются, обновляются, удаляются и запрашиваются с использованием языка

структурированных запросов (SQL). SQL-запросы могут извлекать данные как из одиночной таблицы, так и из нескольких таблиц.

целое		строка		целое		Типы данных
номер	имя	должность	деньги			Домены
Табельный номер	Имя	Должность	Оклад	Премия		Атрибуты
2934	Иванов	инженер	112	40		Кортежи
2935	Петров	вед. инженер	144	50		
2936	Сидоров	бухгалтер	92	35		

↑  
Ключ

Рисунок 11 – Пример отношения

Каждая строка таблицы содержит данные об одном объекте (например, автомобиле, компьютере, клиенте), а столбцы таблицы содержат различные характеристики этих объектов - атрибуты (например, номер двигателя, марка процессора, телефоны фирм или клиентов).

Строки таблицы называются записями. Все записи таблицы имеют одинаковую структуру - они состоят из полей (элементов данных), в которых хранятся атрибуты объект. Каждое поле записи содержит одну характеристику объекта и представляет собой заданный тип данных (например, текстовая строка, число, дата). Для идентификации записей используется первичный ключ. Первичным ключом называется набор полей таблицы, комбинация значений которых однозначно определяет каждую запись в таблице [17].

Для работы с базой данных используются СУДБ, они позволяют создавать структуру БД, обрабатывать данные и управлять данными, а именно добавлять записи в таблицу, удалять записи, обновлять значения и выдавать требуемые записи. В качестве СУБД выбрана MySQL – это свободная серверная система управления базами данных [18].

Достоинствами выбранной СУБД являются:

- простота в работе;
- много функций;
- безопасность;
- масштабируемость;
- скорость.

К недостаткам относятся:

- ограничения в функционале;
- надежность;
- медленная разработка и совершенствование СУБД.

Исходя из цифрового двойника реального объекта, была разработана логическая модель базы данных. Логическая модель представлена в виде ER-модели (рисунок 12) в соответствии с нотацией Crow's Foot.

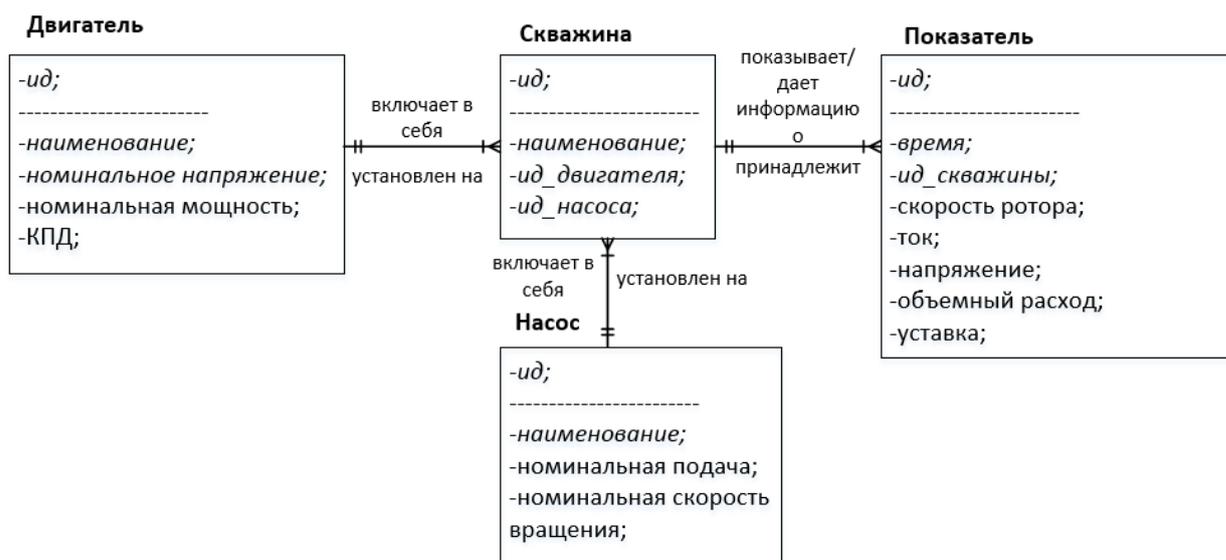


Рисунок 12 – Логическая модель базы данных

Затем для реализации базы данных была разработана физическая модель, на рисунке 13 представлена разработанная модель.

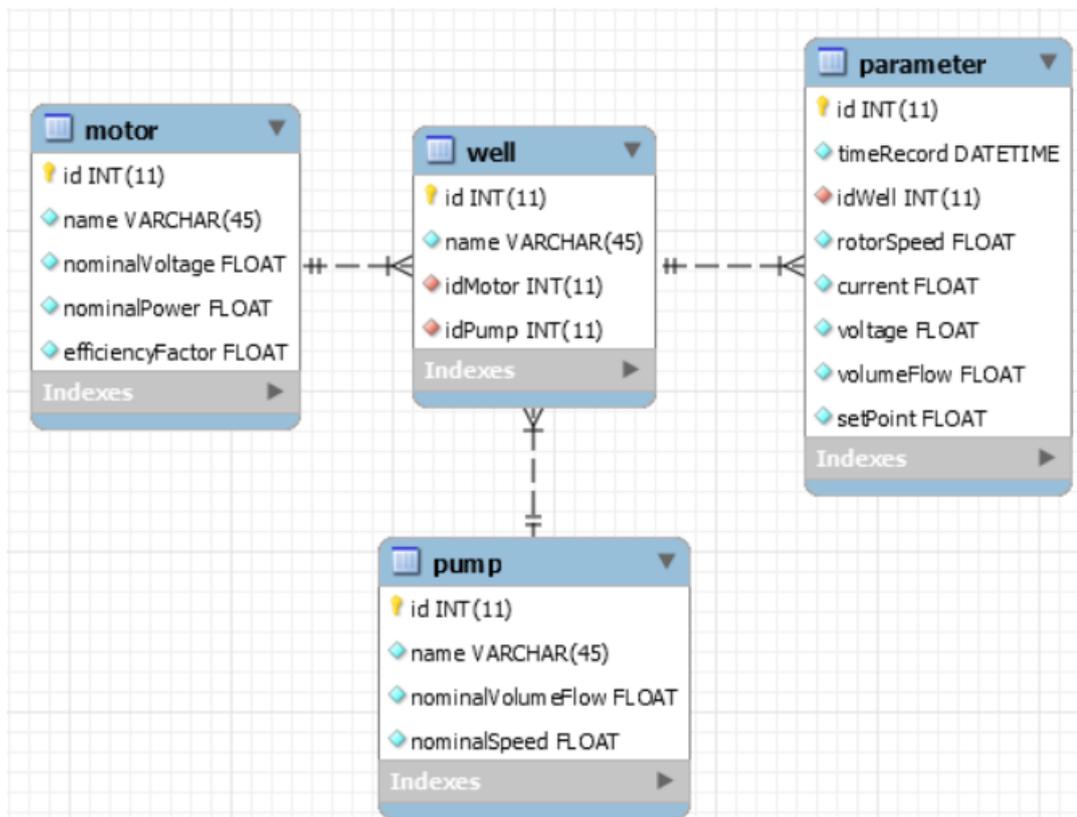


Рисунок 13 – Физическая модель базы данных

Подробная информация о создании базы данных указана в пункте 3.4.3.

### 3.3.5 Схема информационных потоков

Основными участниками информационного обмена являются: Matlab с цифровым двойником, OPC-сервер, модуль планирования и БД.

Рассмотрим более детально каждого из участников. Matlab с цифровым двойником предоставляет информацию о параметрах технологического процесса, т.е. является OPC-клиентом, который моделирует реальные физические устройства. Далее эта информация поступает на OPC-сервер, для того чтобы быть доступной любому ПО, поддерживающему технологию OPC. Затем информация запрашивается модулем планирования, для выполнения внутренних расчетов и отображения информации в удобном для человека виде. Вся информация полученная от OPC-сервера модулем оптимизации отправляется на хранение в базу данных для того, что иметь возможность в дальнейшем использовать эти данные, например для анализа.

Разработанная схема информационных потоков представлена в приложении Д.

### 3.4 Создание модуля

#### 3.4.1 Настройка цифрового двойника

Возьмем модель скважины и создадим модель куста скважин, настроив при это подключение Simulink к OPC-серверу. Из модели скважины были удалены некоторые компоненты, в связи со значительной вычислительной нагрузкой на ЭВМ, на рисунках 14 и 15 представлены составляющие модели скважины.

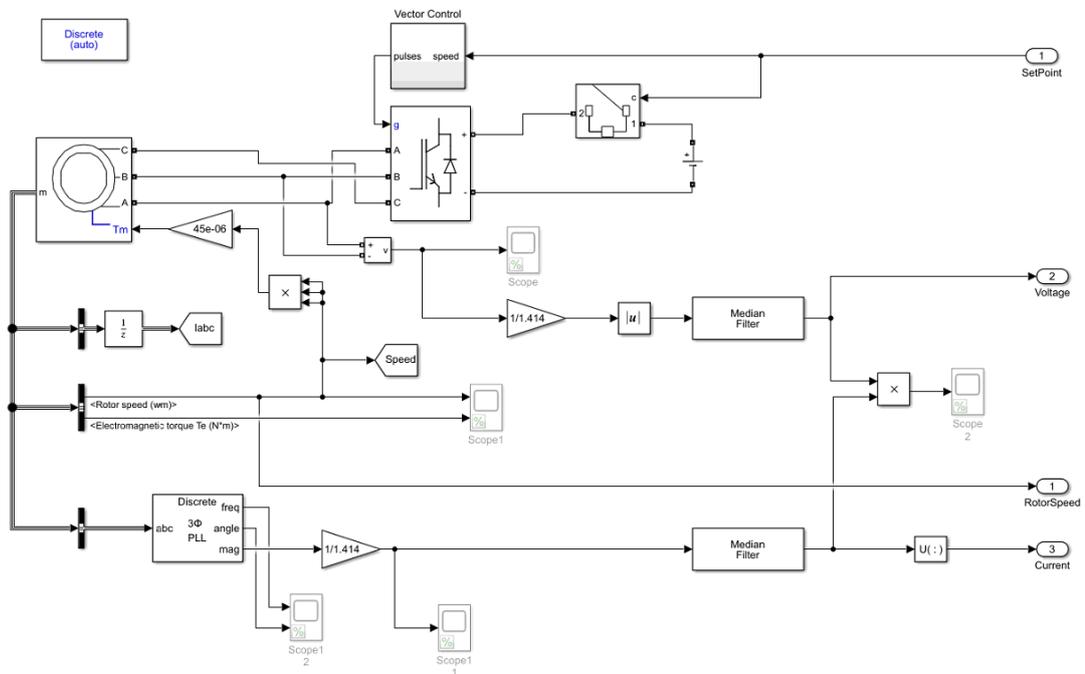


Рисунок 14 – Модель асинхронного двигателя

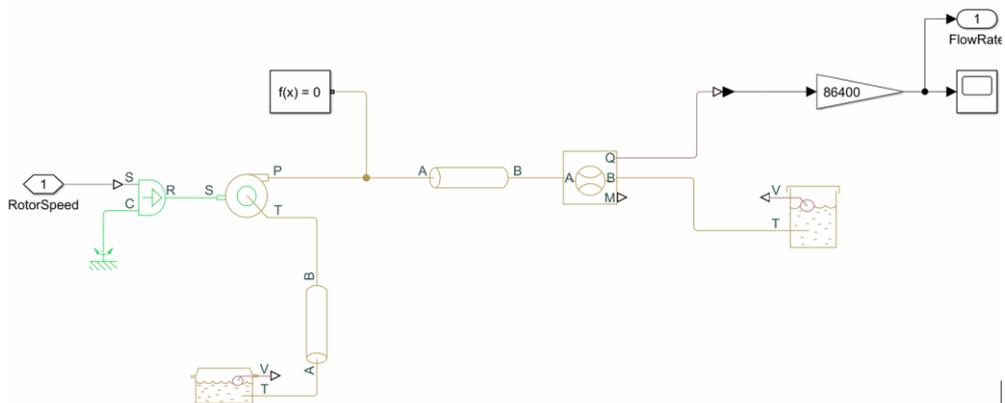


Рисунок 15 – Модель скважины

Номинальные параметры электродвигателя и центробежного насоса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Номинальные параметры

Параметр	Величина	Ед. измерения
Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором		
Номинальная мощность	37	кВА
Номинальное напряжение	460	В
КПД	90	%
$\cos \varphi$	0,91	
Номинальная скорость вращения	155	рад/с
Центробежный насос		
Номинальная подача	160	м <sup>3</sup> /сут
Номинальная скорость вращения	155	рад/с

Затем была создана модель куста скважин, которая представляла из себя 10 одинаковых скважин, на рисунке 16 представлен конечный вид куста скважин.

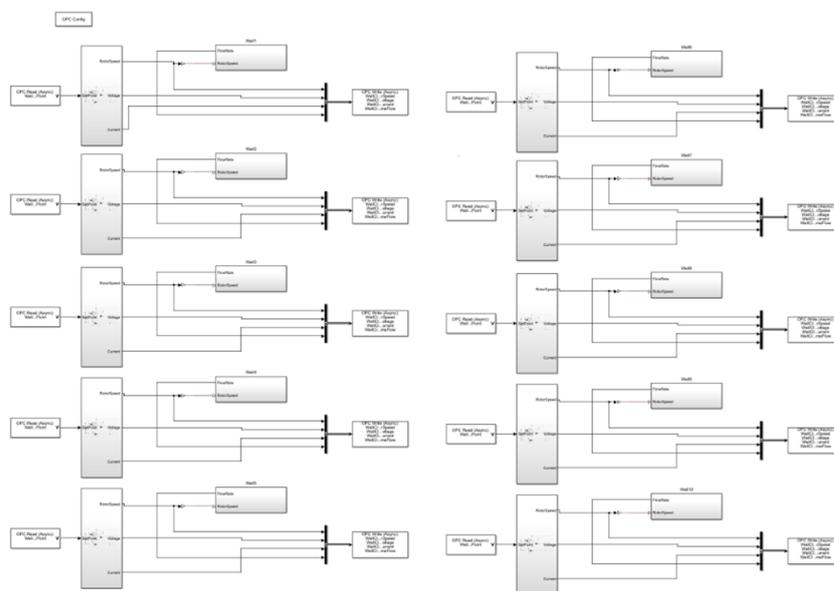


Рисунок 16 – Модель куста скважин

Чтобы еще больше ускорить расчет модели в Simulink был выбран режим Accelerator. Этот режим позволяет ускорить моделирование благодаря

тому, что модель представляется в виде скомпилированного кода вместо того, чтобы запускаться в режиме интерпретатора.

Для установления соединения с OPC-сервером был вынесен блок OPC Config. Затем в добавленном блоке был выбран нужный сервер и установлено соединение, рисунок 17.

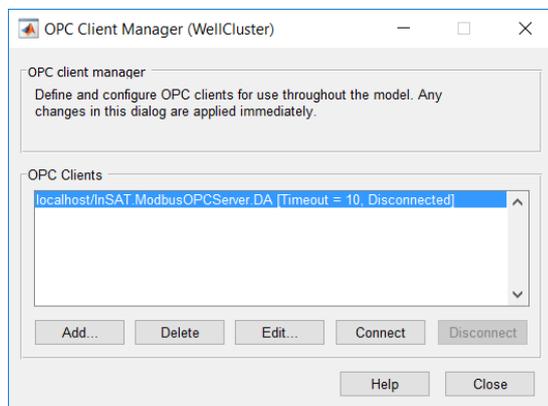


Рисунок 17 – Блок OPC Config

Чтение и запись переменных осуществлялась при помощи блоков OPC Write и OPC Read, в которых задавались соответствующие переменные, на рисунке 18 приведен пример для скважины Well1.

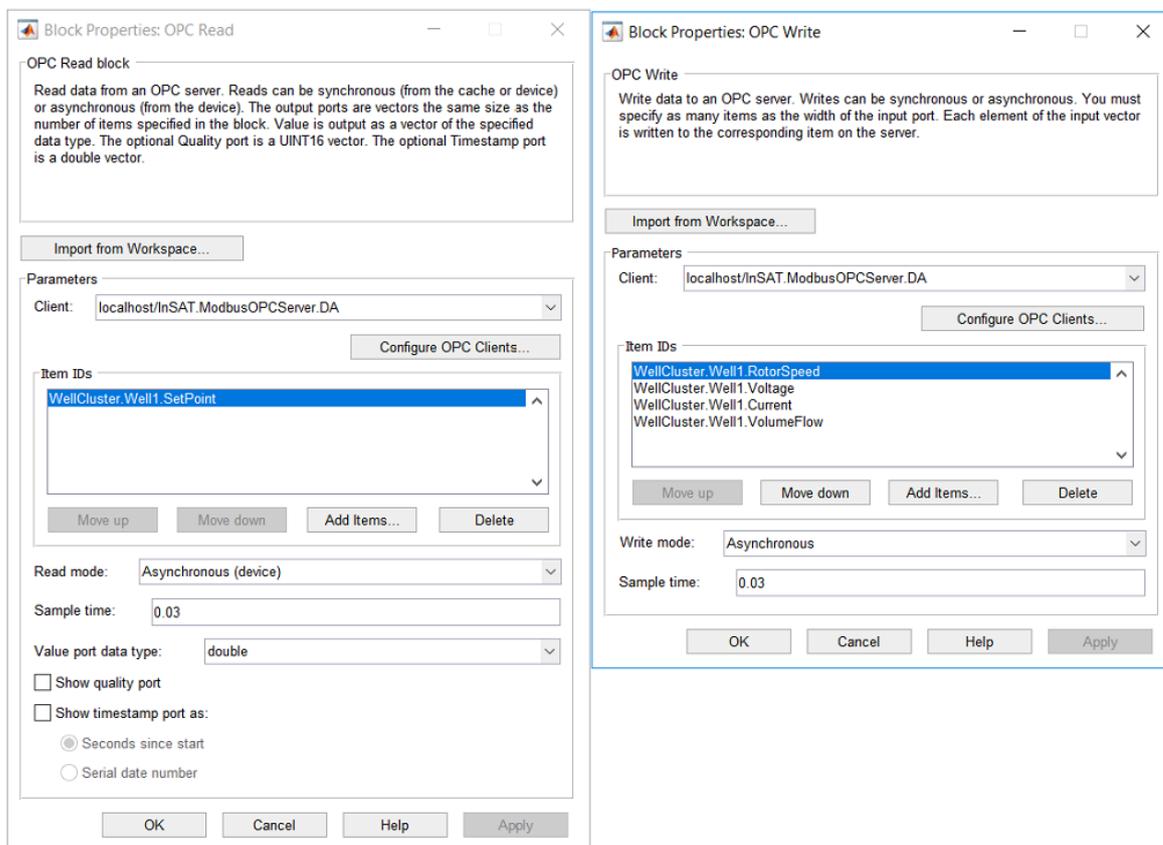


Рисунок 18 – Блоки Write и Read

### 3.4.2 Настройка OPC-сервера

После установки выбранного OPC-сервера, необходимо выполнить настройку и создать необходимые узлы, которые отражают необходимые параметры технологического процесса, на рисунке 19 представлено главное окно программы.

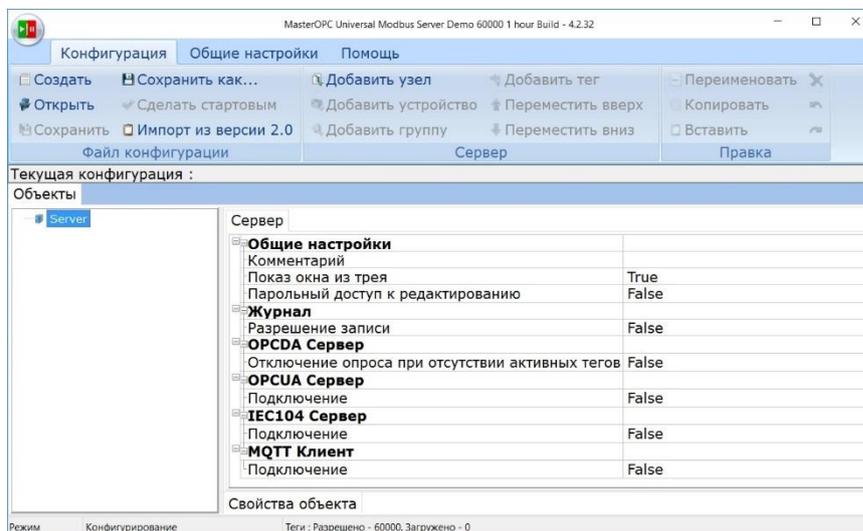


Рисунок 19 – Главное окно MasterOPC

Необходимо создать новую конфигурацию и в настройках сервера включить OPC UA, затем указать необходимый порт, это нужно для того, чтобы иметь возможность подключать к OPC-серверу удаленно через интернет, на рисунке 20 представлен скриншот с выбранными параметрами.

<b>OPCUA Сервер</b>	
Подключение	True
Порт	54000

Рисунок 20 – Параметры OPC-сервера

Далее переходим к формированию адресного пространства, для этого сначала добавляется коммуникационный узел, он отражает куст скважин, и определяется его тип, на рисунке 21 отображены параметры коммуникационного узла.

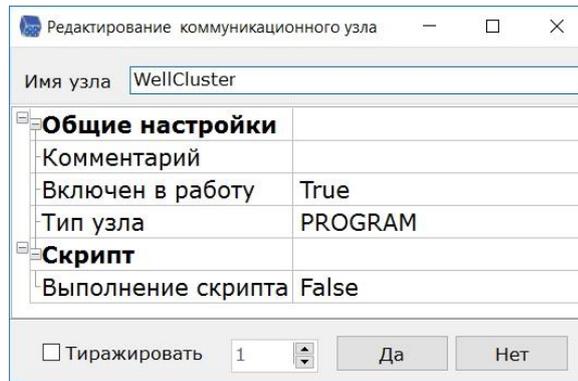


Рисунок 21 – Параметры коммуникационного узла

Затем в коммуникационный узел добавляются устройства, с выбранным типом PROGRAM, которые будут отражать одну скважину, на рисунке 22 представлены параметры добавленных устройств.

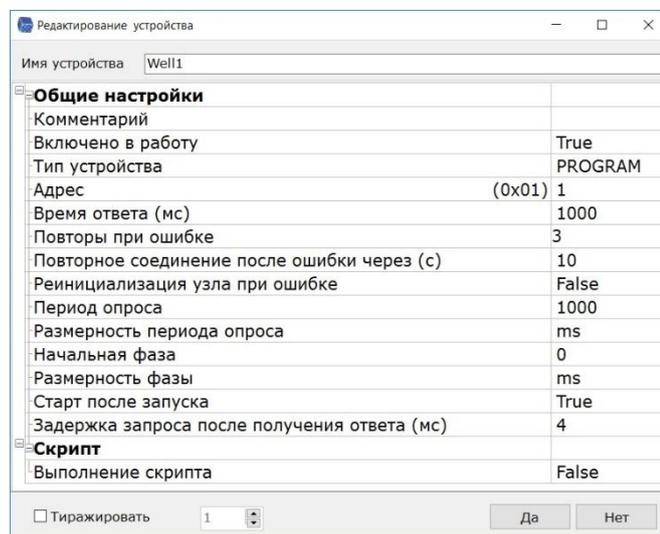


Рисунок 22 – Параметры устройства

Конечным этапом создания адресного пространства является создание тегов, которые создаются в устройстве (скважине) и отражают показатели технологического процесса. При создании тегов необходимо указать требуемое имя, режим доступа и тип, в качестве примера на рисунке 23 представлен тег SetPoint.

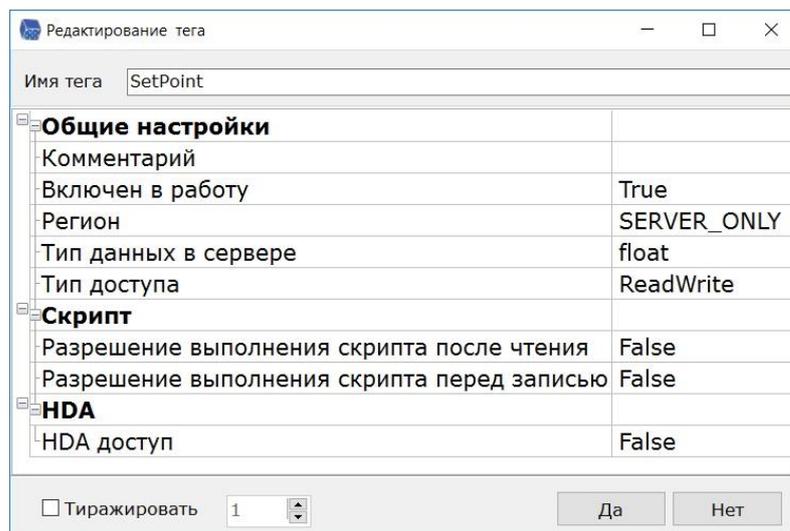


Рисунок 23 – Параметры тега SetPoint

Остальные теги и устройства создавались по аналогии, на рисунке 24 представлено конечное адресное пространство OPC-сервера.

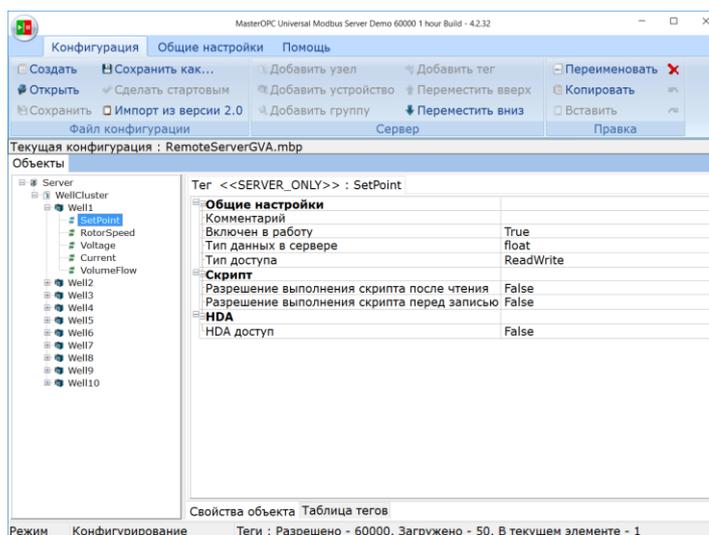


Рисунок 24 – Структура OPC-сервера

### 3.4.3 Создание БД

Для реализации разработанной базы данных был установлен MySQL сервер версии 8.0.15. Создание базы данных осуществлялось с использованием Workbench, для начала необходимо подключиться к локальному серверу и создать нового пользователя, который имеет возможность удаленного подключения к базе данных, на рисунке 25 представлены детали созданного пользователя. По умолчанию порт сервера

БД устанавливается 3306, его можно изменить, но он был оставлен по умолчанию.

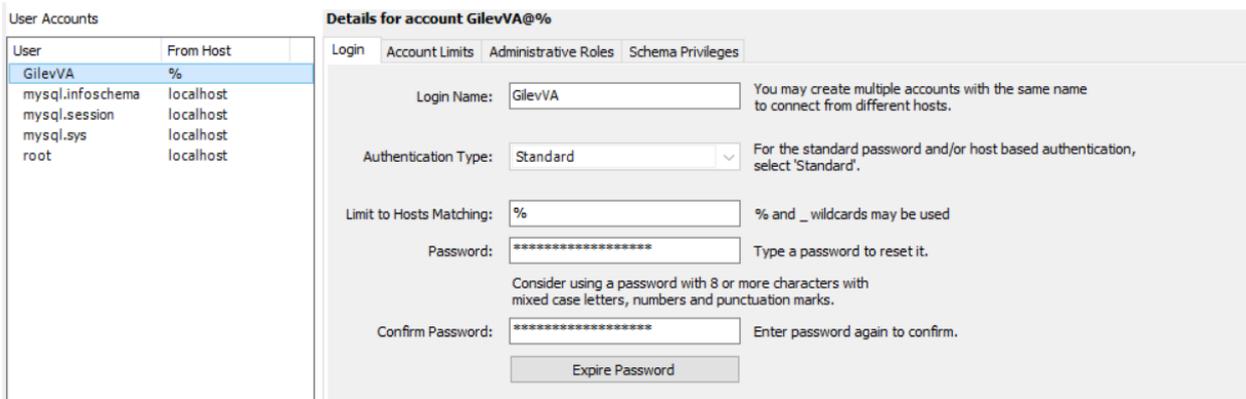


Рисунок 25 – Новый пользователь БД

Создаем новую базу данных на сервере, при создании указываем имя – wellcluster и кодировку – utf8, на рисунке 26 приведен скриншот окна создания базы данных.

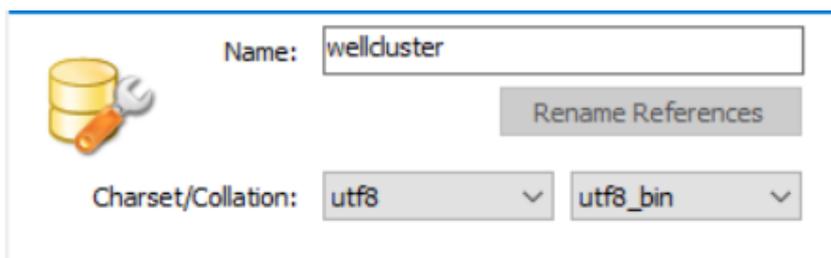


Рисунок 26 – Создание новой базы данных

Во вновь созданной базе данных необходимо создать таблицы в соответствии с физической моделью, представленной в пункте 3.3.4 магистерской диссертации. При создании таблицы необходимо определить её наименование, наименования столбцов, тип данных каждого из столбцов и определить первичный ключ, на рисунке 27 отображены параметры для таблицы «motor».

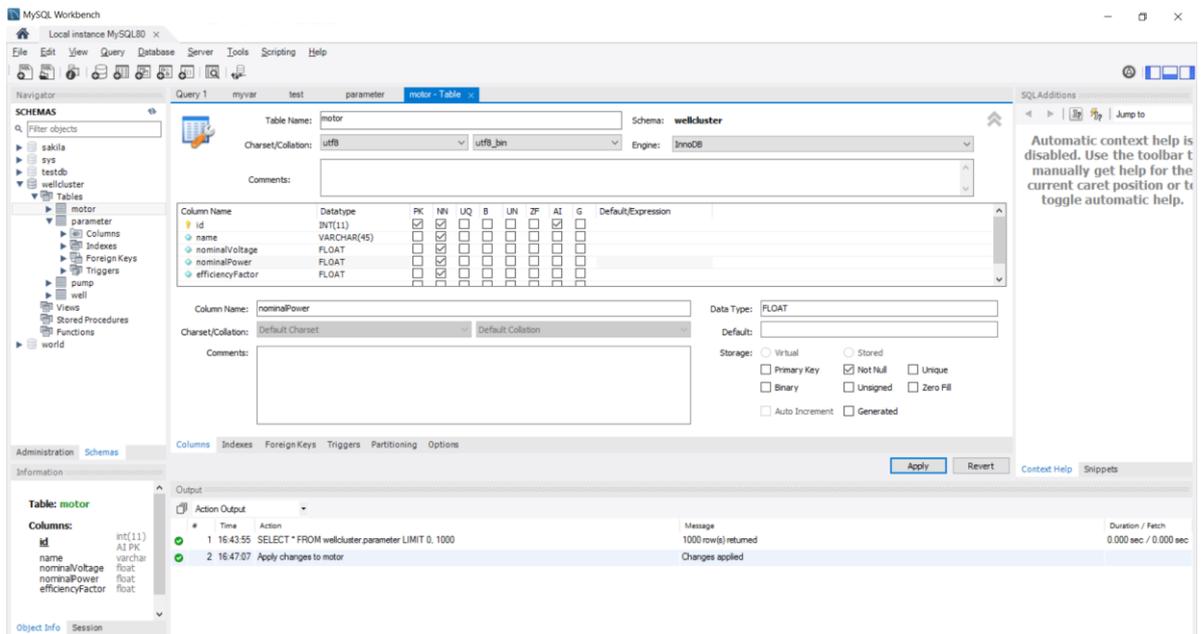


Рисунок 27 – Создание таблицы «motor»

После того как были созданы все таблицы, необходимо указать внешние ключи, которые отражают взаимосвязи таблиц между собой, для примера на рисунке 28 отображен скриншот окна с настроенным внешним ключом.

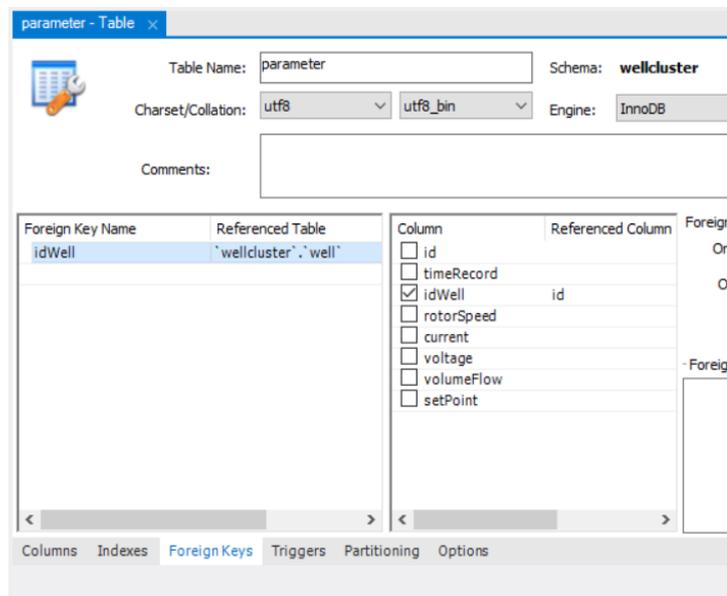


Рисунок 28 – Пример создания внешнего ключа

В таблицах 3 – 6 представлена структура каждой из добавленных таблицы в базу данных

Таблица 3 – Motor

Поле	Тип	Нулевое значение	Ключ	Начальное значение	Дополнительно
id	int(11)	NO	PRI	–	auto-increment
name	varchar(45)	NO		–	
nominalVoltage	float	NO		–	
nominalPower	float	NO		–	
efficiencyFactor	float	NO		–	

Таблица 4 – Pump

Поле	Тип	Нулевое значение	Ключ	Начальное значение	Дополнительно
id	int(11)	NO	PRI	–	auto-increment
name	varchar(45)	NO		–	
nominalVolumeFlow	float	NO		–	
nominalSpeed	float	NO		–	

Таблица 5 – Well

Поле	Тип	Нулевое значение	Ключ	Начальное значение	Дополнительно
Id	int(11)	NO	PRI	–	auto-increment
name	varchar(45)	NO		–	
idMotor	int(11)	NO	MUL	–	
idPump	int(11)	NO	MUL	–	

Таблица 6 – Parameter

Поле	Тип	Нулевое значение	Ключ	Начальное значение	Дополнительно
id	int(11)	NO	PRI	–	auto-increment
timeRecord	datetime	NO		–	
idWell	int(11)	NO	MUL	–	
rotorSpeed	float	NO		–	
current	float	NO		–	
voltage	float	NO		–	
volumeFlow	float	NO		–	
setPoint	float	NO		–	

Заполнение начальных данных о электродвигателях и насосах осуществлялось также при помощи Workbench, на рисунке 29 представлены данные, внесенные в таблицы.

1	Pump1	160	155	
NULL	NULL	NULL	NULL	
id	name	nominalVoltage	nominalPower	efficiencyFactor
1	Motor1	400	33.67	0.9
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL
id	name	idMotor	idPump	
1	Well1	1	1	
2	Well2	1	1	
3	Well3	1	1	
4	Well4	1	1	
5	Well5	1	1	
6	Well6	1	1	
7	Well7	1	1	
8	Well8	1	1	
9	Well9	1	1	
10	Well10	1	1	

Рисунок 29 – Данные изначально внесенные в таблицы

### 3.4.4 Настройка подключения

Из-за отсутствия серверного оборудования в качестве сервера использовался персональный компьютер с доступом в Internet, но для того, чтобы иметь возможность удаленно подключаться к нему и расположенным на нем OPC-серверу и серверу MySQL необходимо было провести соответствующую настройку.

Во-первых, компьютер выходит в интернет через роутер с динамическим IP-адресом, а значит, чтобы подключиться к нему, необходимо каждый раз узнавать IP-адрес. Для решения этой проблемы внешний IP-адрес роутера подменялся на доменное имя – [remoteservergva.ddns.net](http://remoteservergva.ddns.net).

Подмена осуществлялась при помощи сервиса [noip.com](http://noip.com) [19]. Для подмены внешнего IP-адреса необходимо зарегистрироваться в сервисе и создать своё доменное имя, затем скачать, установить и запустить на компьютере (сервере) ПО, которое будет с заданным интервалом проверять внешний IP-адрес и отправлять его в сервис, на рисунке 30 представлено окно ПО. Механизм работы сервиса заключается в следующем: при поступлении

запросов из интернета на указанное доменное имя сервис переадресует его на внешний IP-адрес роутера.

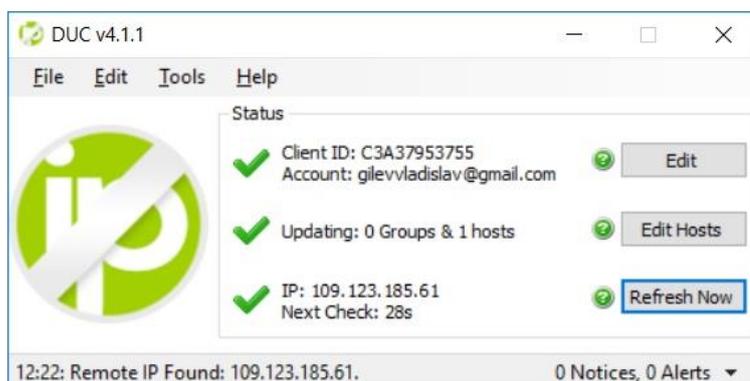


Рисунок 30 – Главное окно ПО DUC

Во-вторых, при получении запроса роутером он должен переадресовать его на конкретное устройство в локальной сети. Для настройки переадресации заходим в настройки роутера и назначаем компьютеру-серверу статический IP-адрес в локальной сети, зная имя компьютера или MAC-адрес, мы присваиваем ему выбранный IP и запоминаем его, так как он пригодится в дальнейшем, на рисунке 31 представлены настройки роутера, относящиеся к статическому присвоению.

### Статическое присвоение

IP-адрес 192.168.0.

MAC-адрес  :  :  :  :  :

NO.	IP-адрес	MAC-адрес	Удалить
1	192.168.0.104	9C:2A:70:54:63:05	<input type="button" value="Удалить"/>

Рисунок 31 – Статическое присвоение

Затем необходимо настроить переадресацию поступающих запросов на роутер из интернета на введенный статический IP-адрес компьютера, для этого нужно знать порты, по которым осуществляется запрос, в рамках

магистерской диссертации, используются порты: 54000 и 3306. Заходим в настройки роутера и прописываем это (рисунок 32).

### Переадресация

Переадресация диапазонов портов способствуют работе для веб-серверов, FTP-серверов, серверов электронной почты, игровых и других специализированных интернет - приложений. При включении переадресации диапазона портов, коммуникационные запросы из интернета к WAN порту маршрутизатора будут пересылаться на указанный IP-адрес локальной сети LAN.

№.	Начальный порт - Конечный Порт	IP-адрес LAN	Протокол	Включить	Удалить
1.	3306 - 3306	192.168.0.104	Оба ▼	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	54000 - 54000	192.168.0.104	Оба ▼	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рисунок 32 – Переадресация в локальной сети

В результате выполненных настроек появляется возможность удаленного подключения к OPC-серверу и серверу MySQL через интернет посредством обращения к доменному имени `remoteservergva.ddns.net` и соответствующему порту.

### 3.4.5 Разработка приложения

Разработка приложения начиналась с создания пустого WinForms проекта. После создания проекта были подключены все необходимые библиотеки для работы с OPC и MySQL. Далее был сам процесс разработки приложения.

Приложение состоит из одной основной формы, которая отображает созданные пользовательские элементы управления, отвечающие за разные функции, например для подключения к БД, к OPC-серверу и т.д., и одной вспомогательной формы, которая отвечает за отображение трендов. Переход между пользовательскими элементами осуществляется при помощи навигации, расположенной в левой части приложения. Рассмотрим все созданные элементы управления подробнее.

При запуске приложения появляется краткая памятка, информирующая пользователя о последовательности шагов, скриншот памятки представлен на рисунке 33.

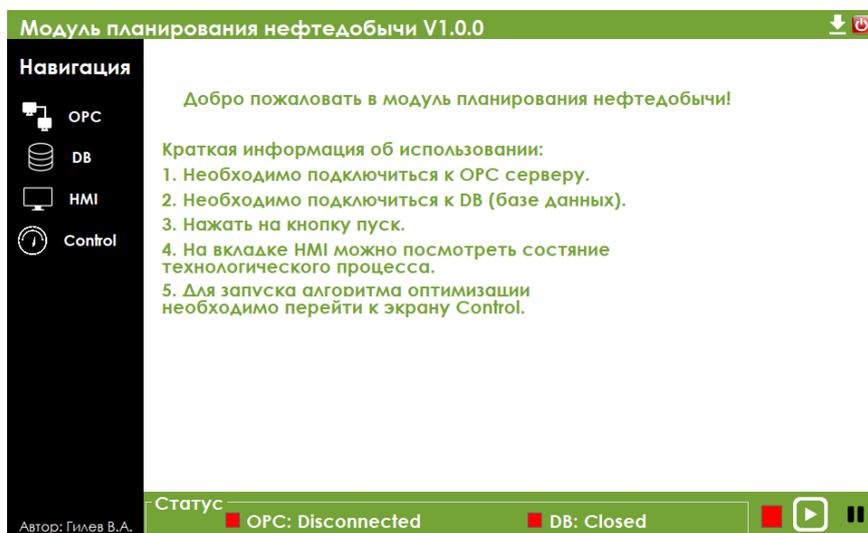


Рисунок 33 – Памятка

Пользовательский элемент управления, отвечающий за подключение к OPC-серверу представлен на рисунке 34, он позволяет ввести необходимую URL ссылку для подключения и подключиться к серверу. Все переменные, которые необходимо считать записаны в коде программы, в дальнейшем можно расширить функционал и предоставить пользователю возможность выбирать нужные теги.

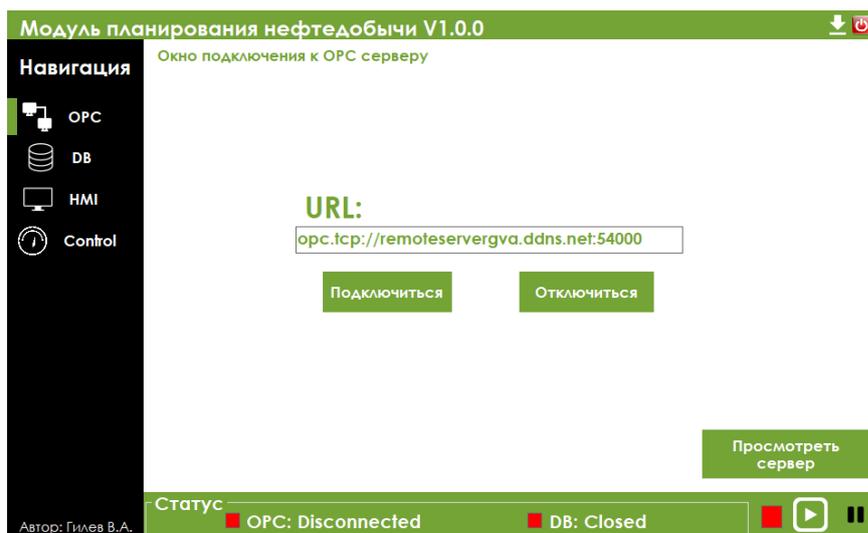


Рисунок 34 – Окно OPC

Следующим пользовательским элементом управления является окно подключения к базе данных, в котором можно ввести все требуемые

параметры и нажать кнопку подключиться, внешний вид представлен на рисунке 35.

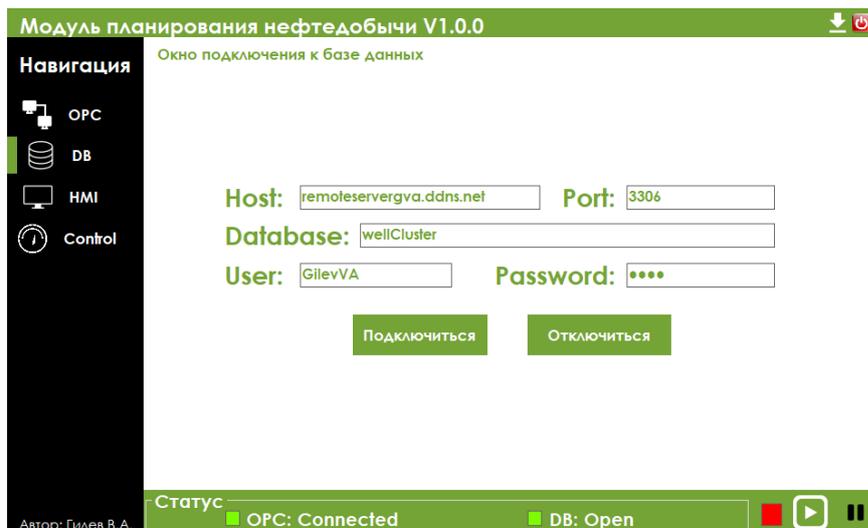


Рисунок 35 – Окно DB

После успешного подключения и к OPC-серверу и к БД, пользователь может нажать кнопку пуск. В результате нажатия будет запущен процесс получения данных и записи их в БД. Чтение данных их OPC-сервера происходит в асинхронном режиме один раз в секунду, после получения ответа они посредством SQL-запроса записываются в БД. Окна отображения параметров технологического процесса и тренды будут рассмотрены в пункте 3.5 при проверке работоспособности приложения.

Последнее окно служит для запуска разработанного алгоритма определения оптимальных уставок, в данном окне пользователю необходимо ввести требуемый дебит куста скважин и нажать кнопку рассчитать, внешний вид представлен на рисунке 36.

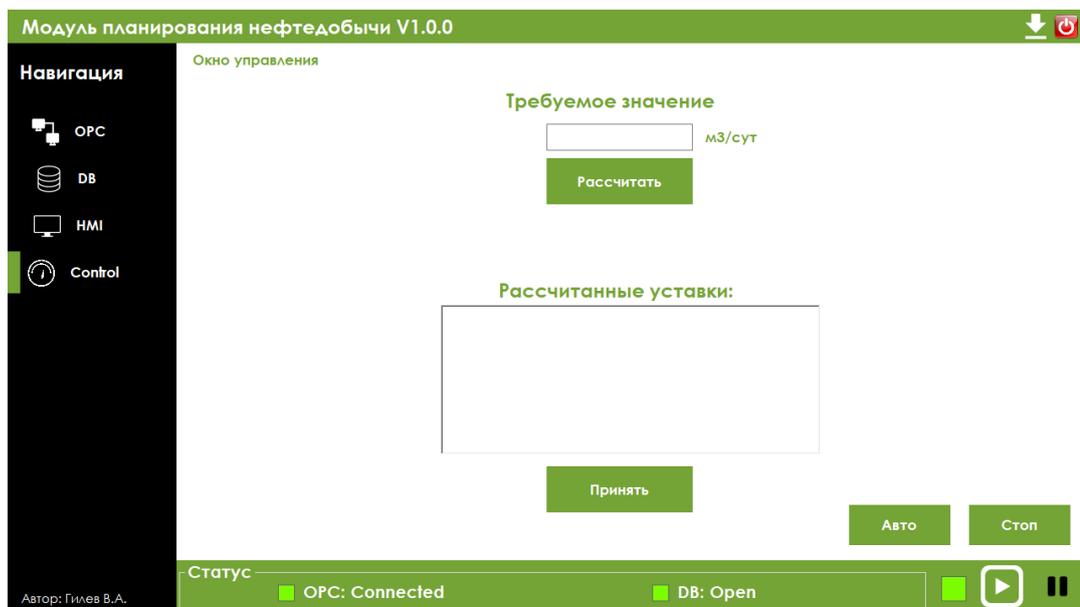


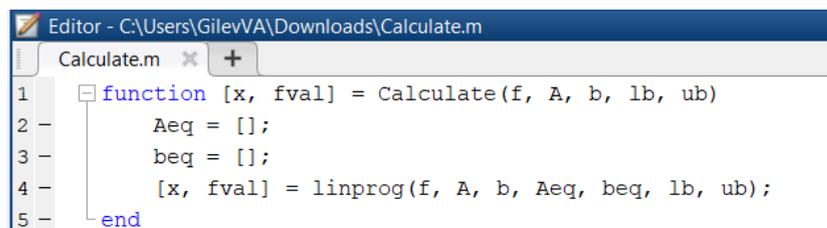
Рисунок 36 – Окно управления

Далее будет работать алгоритм, листинг которого приведен в приложении Е. В случае успешного нахождения уставок, они будут выведены на экран, в противном случае будут показано сообщение о невозможности нахождения оптимальных уставок. Сам алгоритм реализован в отдельном классе, который получает на вход все необходимые параметры и производит вычисления.

Для решения задачи оперативного планирования в реальном времени существует автоматический режим работы модуля, который заключается в мониторинге текущей производительности куста скважин. В случае падения производительности ниже заданного уровня алгоритм автоматически определит неисправные скважины, которые не могут обеспечить уставку и пересчитает уставки для всех скважин с учетом наличия резервных и неисправных.

Решение задачи линейного программирования осуществляется при помощи экспортированной из Matlab функции `linprog` [20].

Для экспорта функции был создан `m`-файл, который содержал необходимую функцию, аргументы и возвращаемые значения. На рисунке 37 представлен `m`-файл в Matlab.



```
Editor - C:\Users\GilevVA\Downloads\Calculate.m
Calculate.m x +
1 function [x, fval] = Calculate(f, A, b, lb, ub)
2     Aeq = [];
3     beq = [];
4     [x, fval] = linprog(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub);
5 end
```

Рисунок 37 – Созданная m функция

После создания функции она была преобразована в библиотеку DLL, которая содержала один класс с одним методом. Создание библиотеки проводилось при помощи модуля Library Compiler, на рисунке 38 представлено окно экспорта.

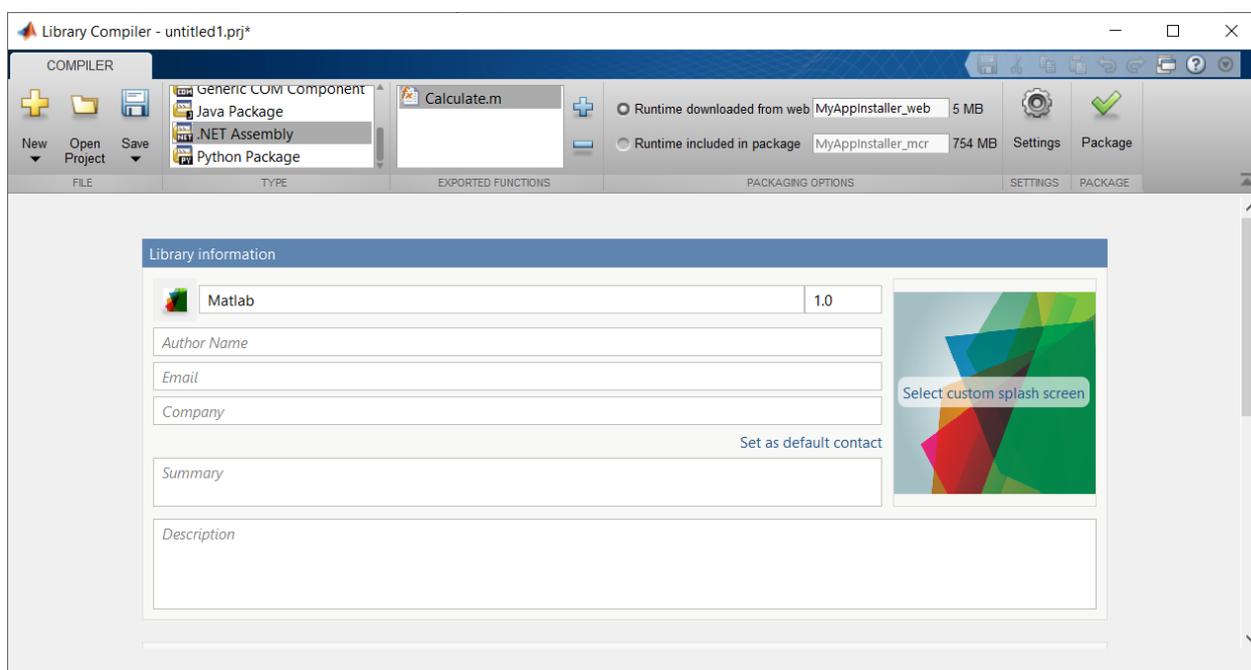


Рисунок 38 – Модуль Library Compiler

Вновь созданная библиотека подключалась к проекту, аналогично другим использованным библиотекам. Для использования функции необходимо создать экземпляр класса и использовать его метод, при этом в качестве аргументов используются заранее подготовленные массивы, отражающие задачу линейного программирования.

### 3.5 Проверка работоспособности

Прежде чем приступить к проверке работоспособности разработанного приложения, необходимо запустить OPC-сервер, MySQL сервер и модель

куста скважин. После запуска тестового стенда открываем приложение и выполняем все необходимые подключения. В случае успешных подключений и запуска процесса обмена данными, все индикаторы, расположенные в основном окне, будут гореть зеленым цветом. Переходим к окну НМІ, которое служит для отображения показателей технологического процесса в удобном для человека виде, на рисунке 39 представлен внешний вид.

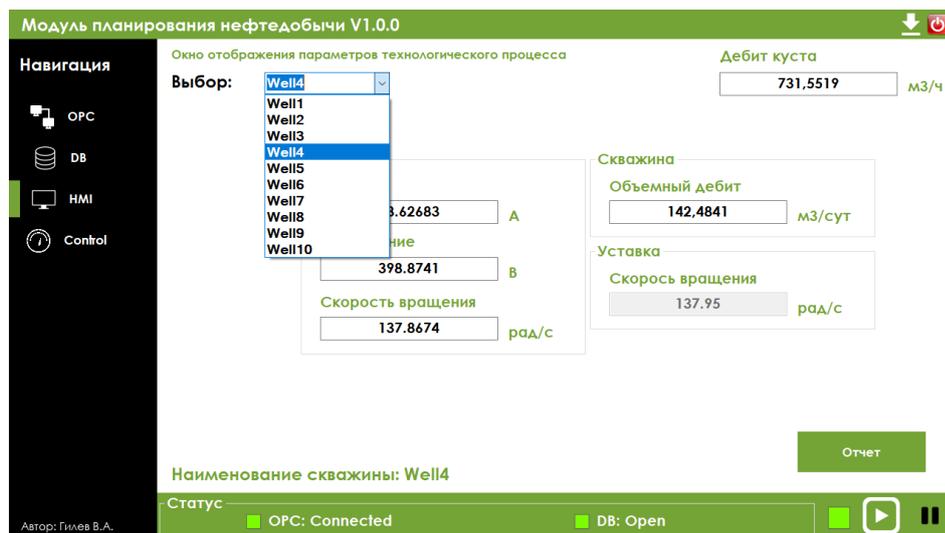


Рисунок 39 – Окно отображения параметров технологического процесса

Из рисунка 39 видно то, что приложение успешно считало все имеющиеся скважины из БД, и отображает текущие показатели технологического процесса, полученные из OPC-сервера.

При нажатии двойным кликом по параметру, появится тренд, отображающий значения за последние 10 секунд (рисунок 40).

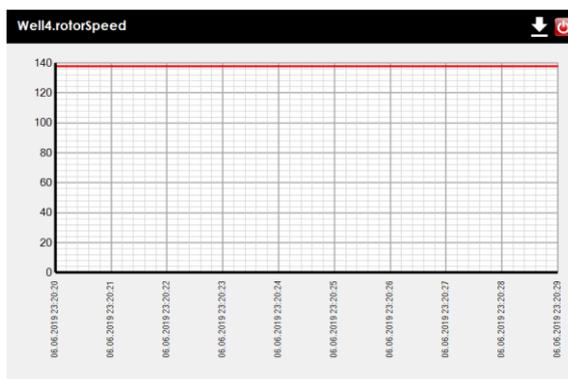


Рисунок 40 – Тренд скорости вращения ротора

Посмотрим происходит ли запись показателей технологического процесса в БД, для этого при помощи Workbench подключаемся к MySQL и

выполняем запрос на просмотр записей в таблице parameter, на рисунке 41 представлен результат запроса.

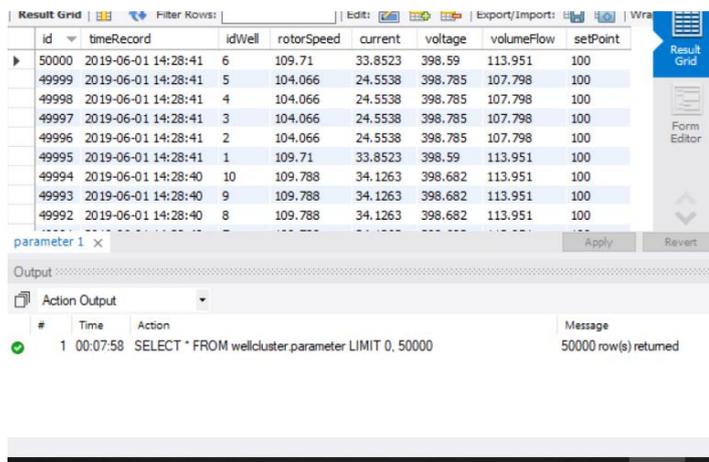


Рисунок 41 – Результат запроса

Как видно из рисунка 41 приложение успешно записывает показатели, полученные из OPC-сервера, в БД.

В окне НМІ расположена кнопка для формирования отчетной документации. Отчет формируется в виде Excel файла, который содержит несколько листов. На первом листе формируется титульный лист, а остальные отражают значения параметра за последний час в виде таблицы и графика, на рисунке 42 приведен внешний вид отчета.

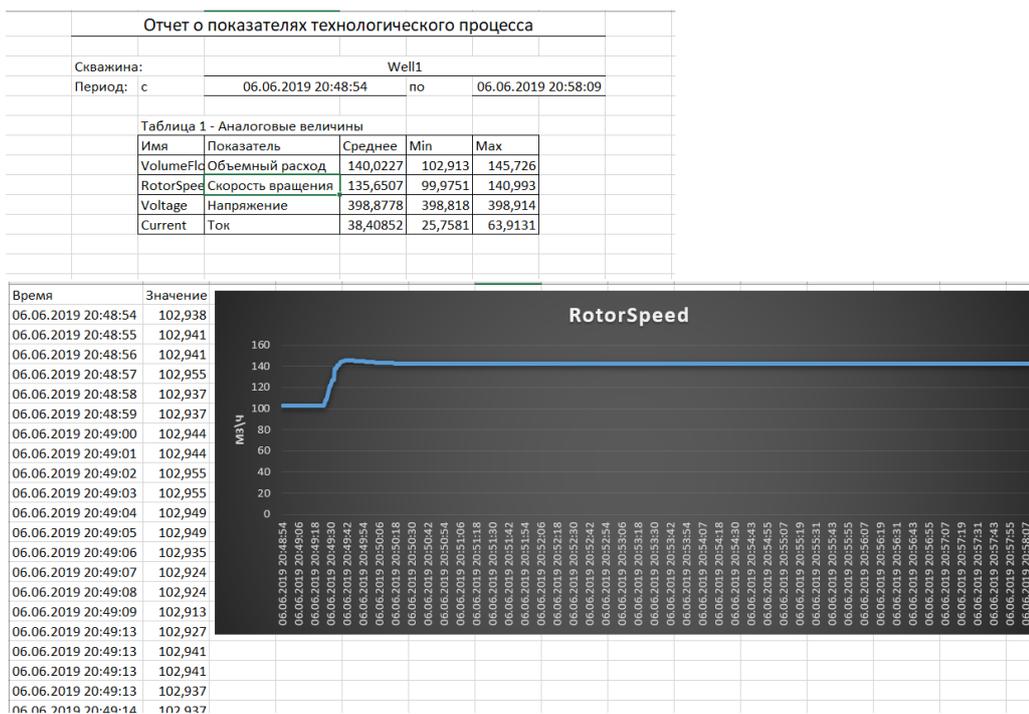


Рисунок 42 – Отчет

Перейдем к рассмотренному ранее окну Control и попробуем вычислить уставки. Рассмотрим две ситуации, первая, когда требуемое значение уставки слишком велико, вторая, когда требуемое значение достижимо в условиях задачи линейного программирования, на рисунке 43 представлены результаты.

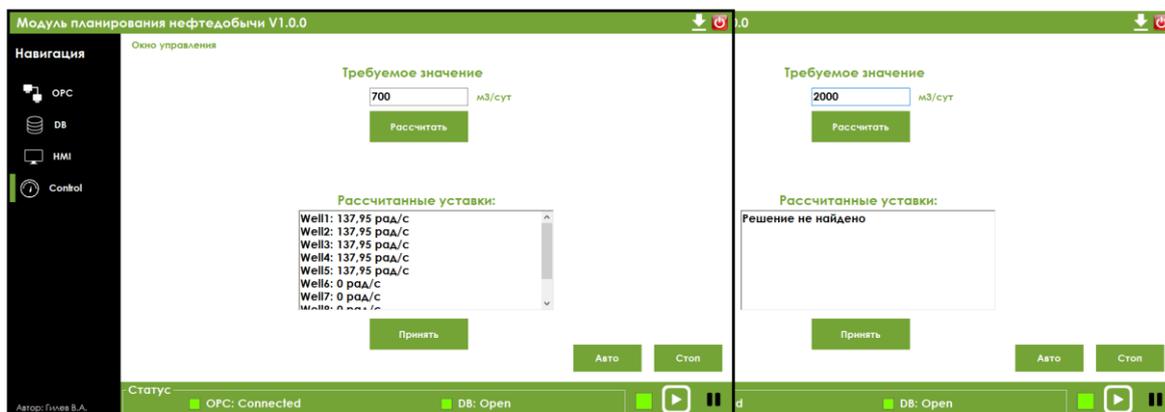


Рисунок 43 – Результат работы алгоритма

Из рисунка 43 можно сделать вывод о том, что приложение успешно обрабатывает разработанный алгоритм. Слева изображено успешное решение задачи линейного программирования, а справа сообщение о невозможности решения задачи при текущих условиях. В случае успешного решения задачи, можно нажать кнопку принять и отправить найденные значения в OPC-сервер. На рисунке 44 изображены окно OPC-сервера и окно HMI приложения.

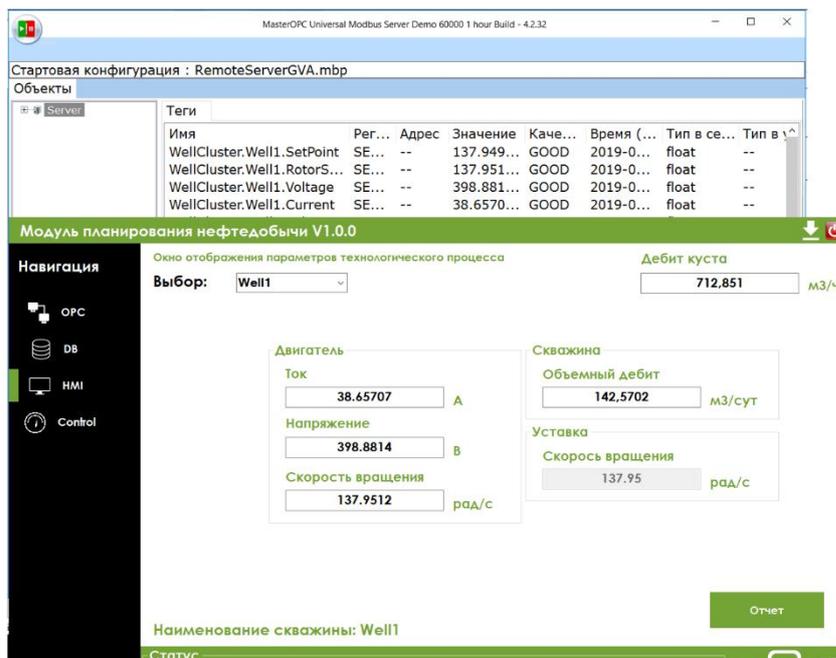


Рисунок 44 – Результат записи в OPC-сервер

Исходя из рисунка 44 можно сказать, что приложение успешно записывает найденные уставки в OPC-сервер.

Рассмотрим автоматический режим работы модуля. Для этого запустим его и будем имитировать неисправность нескольких скважин. В начальный момент времени куст скважин обеспечивал требуемый расход в  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Затем были симитированы две неисправности на разных скважинах, результат работы модуля представлен на рисунке 45.

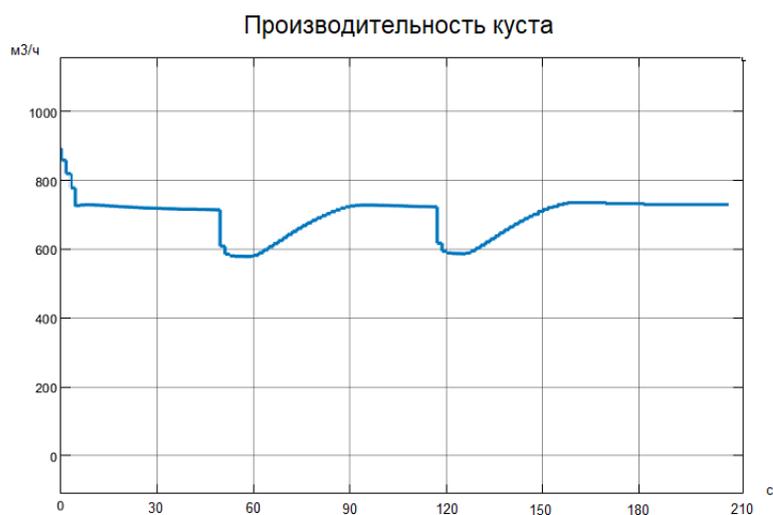


Рисунок 45 – Результат работы автоматического режима модуля

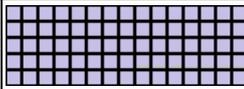
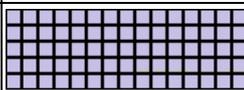
Из рисунка 45 видно, что модуль обрабатывает ситуации, когда работающие скважины не могут обеспечить потребность и вводит в работу резервные скважины. Исходя из всех проведенных проверок можно сказать, что разработанное приложение полностью соответствует техническому заданию и реализует заданный функционал.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются организации, занимающиеся нефтедобычей. Чтобы добыть горючие полезные ископаемые из недр Земли, применяют специальные устройства для перекачки нефти, мазута, нефтепродуктов, пластовой жидкости с соединениями, а также для уменьшения содержания углеводов и воды. Такие механизмы называются нефтяными погружными насосами. Для защиты таких насосов, а также для выбора режимов их работы применяют станции управления.

На рисунке 46 приведены основные сегменты рынка, которые могут быть заинтересованы в использовании таких станций, по следующим критериям: размер компании-заказчика и тип алгоритмов управления.

		<i>По типу алгоритмов управления</i>			
		Оптимальное	Дистанционное	Автоматическое	Ручное
<i>Размер компании</i>	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

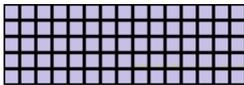
Фирма А	Фирма Б	Фирма В
		

Рисунок 46 – Карта сегментирования рынка

Как видно из карты сегментирования рынка более крупные компании предпочитают работать с известными производителями. Исходя из этого внедрение в данный рынок стоит начинать с небольших компаний.

#### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений необходимо проводить для того, чтобы оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов, исходя из анализа необходимо внести коррективы в научное исследование для успешного противостояния конкурентам. Анализ проводится с помощью оценочной карты (таблица 7). В качестве конкурентов выбраны предприятия, выпускающие станции управления, АО «Электронмаш» [21] и АО «СПИК СЗМА» [22].

Таблица 7 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<i>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</i>							
1. Повышение производительности	0,12	5	4	4	0,60	0,48	0,48
2. Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
3. Энергоэкономичность	0,12	4	3	4	0,48	0,36	0,48
4. Безопасность	0,06	5	5	5	0,30	0,30	0,30
5. Предоставляемые возможности	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
6. Потребность в ресурсах памяти	0,04	3	5	5	0,12	0,20	0,20
7. Простота эксплуатации	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
<i>Экономические критерии оценки эффективности</i>							
1. Конкурентоспособность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	4	0,21	0,35	0,28
3. Цена	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,30
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>4,43</b>	<b>4,21</b>	<b>4,32</b>

Согласно оценочной карте можно выделить достоинства разработки, такие как цена, удобство эксплуатации и увеличение производительности. Система является эффективной с точки зрения конкурентоспособности. Однако, проект находится на стадии исследования и разработки, поэтому нельзя сделать точные прогнозы на такой экономический показатель, как срок выхода на рынок.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, данный вид анализа позволяет определить сильные и слабые стороны проекта, выявить возможностей и угрозы для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней и внутренней среде.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Сильные и слабые стороны, возможности и угрозы

<p style="text-align: center;"><b>Сильные стороны НТИ</b></p> <p>C1. Реализация оптимальных алгоритмов управления. C2. Более низкая стоимость по сравнению с другими технологиями. C3. Длительный срок использования. C4. Применение современных технологий. C5. Квалифицированный персонал.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Слабые стороны НТИ</b></p> <p>Сл1. Большие вычислительные мощности. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытаний опытного образца. Сл3. Узкая направленность. Сл4. Высокая стоимость лицензионного ПО, используемого в разработке. Сл5. Отсутствие проработанного цифрового двойника.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Возможности</b></p> <p>V1. Возможность получения патента. V2. Использование технической документации Мировых производителей при разработке. V3. Использование лицензионного ПО для разработки. V4. Увеличение спроса на инновационные разработки. V5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства. У2. Возможные угрозы информационной безопасности. У3. Отсутствие финансирования. У4. Введение ограничений государством на доступ к информационным ресурсам. У5. Изменение нормативной базы, стандартов и требований к результатам работы ПО.</p>

После того как сформулированы четыре области SWOT, представленные в таблице 8, переходят к выявлению соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого были построены интерактивные матрицы, приведенные в таблице 9.

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны НТИ						
Возможности НТИ		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	–	–	+	+
	B2	–	+	0	+	+
	B3	0	0	0	0	–
	B4	+	–	+	+	0
	B5	–	+	–	–	–
Слабые стороны НТИ						
Возможности НТИ		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	–	–	+	–	–
	B2	–	–	0	–	–
	B3	0	–	0	+	–
	B4	–	–	0	–	–
	B5	–	–	+	0	–
Сильные стороны НТИ						
Угрозы НТИ		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	0	+	–
	У2	–	+	–	0	–
	У3	–	+	0	0	+
	У4	0	–	–	+	–
	У5	+	–	+	–	–
Слабые стороны НТИ						
Угрозы НТИ		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	–	+	0	–	+
	У2	0	–	–	+	–
	У3	+	+	–	+	+
	У4	–	–	0	–	0
	У5	–	–	0	–	–

После проведения анализа интерактивных матриц, приведенных в таблице 9, составляем итоговую матрицу SWOT-анализа. Итоговая матрица (таблица 10) служит для того, чтобы скорректировать направление реализации НТИ.

Таблица 10 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны НТИ	Слабые стороны НТИ
	<p>C1. Реализация оптимальных алгоритмов управления.</p> <p>C2. Более низкая стоимость по сравнению с другими технологиями.</p> <p>C3. Длительный срок использования.</p> <p>C4. Применение современных технологий.</p> <p>C5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Сл1. Большие вычислительные мощности.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытаний опытного образца.</p> <p>Сл3. Узкая направленность.</p> <p>Сл4. Высокая стоимость лицензионного ПО, используемого в разработке.</p> <p>Сл5. Отсутствие проработанного цифрового двойника.</p>

Продолжение таблицы 10 – Итоговая матрица SWOT-анализа

<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Возможность получения патента.  В2. Использование технической документации Мировых производителей при разработке.  В3. Использование лицензионного ПО для разработки.  В4. Увеличение спроса на инновационные разработки.  В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1С1С4С5 – Использование современных технологий и методов в разработке потенциально может привести к получению патента.  В2С2С4С5 – Возможность работать с технической документацией, лежащей в открытом доступе, приводит к снижению стоимости разрабатываемого ПО.  В4С1С3С4 – Даже при отсутствии спроса в настоящее время, разработка не утратит актуальности в будущем.  В5С2 – За счет невысокой стоимости спрос на разработку возрастает.</p>	<p>В1Сл3 – Имеется возможность получения патента за счет малого количества разработок в данной области.  В3Сл4 – Цена разработки при коммерческом использовании может увеличиться.  В5Сл3 – При небольшом количестве конкурентов и увеличении стоимости их разработок спрос на разработку повысится.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства.  У2. Возможные угрозы информационной безопасности  У3. Отсутствие финансирования.  У4. Введение ограничений государством на доступ к информационным ресурсам.  У5. Изменение нормативной базы, стандартов и требований к результатам работы ПО.</p>	<p>У1С1С2С4 – Наличие развитой конкуренции мотивирует к использованию более совершенных технологий.  У2С2С3 – Для снижения стоимости конечного продукта не прорабатываются вопросы информационной безопасности.  У3С2С5 – При отсутствии финансирования отсутствует возможность найма квалифицированного персонала.  У4С4 – В условиях ограничения доступа невозможно получить самую актуальную информацию.  У5С1С3 – При изменении требований к разрабатываемому ПО, необходимо будет вносить доработки.</p>	<p>У1Сл2Сл5 – Из-за отсутствия возможности проведения испытаний опытного образца снижается конкурентоспособность разработки.  У2Сл4 – Использование недорогого лицензионного ПО приводит к снижению информационной безопасности.  У3Сл1Сл2Сл4Сл5 – В условиях недостаточного финансирования невозможно завершить разработку.</p>

## 4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.2.1 План проекта

#### 4.2.1.1 Структура работ в рамках НТИ

Трудоемкость выполнения НТИ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества

трудно учитываемых факторов. Для реализации проекта необходимы два исполнителя – научный руководитель и студент. Разделим выполнение магистерской диссертации на этапы, представленные в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№	Основные этапы	Содержание работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	Выбор направления НТИ	Руководитель Студент
2		Составление технического задания НТИ	Руководитель Студент
3	Анализ предметной области	Календарное планирование работ	Руководитель Студент
4		Подбор и изучение материалов по теме исследования	Студент
5		Анализ отобранного материала	Студент
6	Разработка системы	Изучение цифрового двойника	Студент
7		Разработка алгоритма работы	Студент
8		Создание и настройка сервера для тестирования	Студент
9		Разработка приложения	Студент
10		Тестирование работы Системы	Студент
11		Исправление ошибок	Студент
12		Проверка работы с научным руководителем	Руководитель Студент
13		Подготовка раздела «Финансовый менеджмент»	Студент
14		Подготовка раздела «Социальная ответственность»	Студент
15		Оформление иностранной части работы	Студент
16	Оформление отчета	Составление пояснительной записки	Студент
17		Подготовка презентации магистерской диссертации	Студент

#### 4.2.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ в рамках НТИ

Для определения трудоемкости работ будем использовать такие показатели как ожидаемое значение трудоемкости, продолжительность

каждой работы, продолжительность выполнения  $i$  – ой работы в календарных днях, коэффициент календарности.

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ожі}$  применяется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где  $t_{mini}$  – минимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для построения диаграммы календарного плана-графика, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности для шестидневной рабочей недели (2019 год) :  $k_{\text{кал}} = 365 / (365 - 66) = 1,22$  [23].

Все рассчитанные значения для каждой работы представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работы	Исполнители	Трудоемкость работ, чел-дни			Длительность работ, дни	
			$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	$T_p$	$T_k$
1	Выбор направления НИИ	Руководитель Студент	1	3	1,8	1	2
2	Составление технического задания НИИ	Руководитель Студент	2	4	2,8	2	2
3	Календарное планирование работ	Руководитель Студент	2	3	2,4	2	2
4	Подбор и изучение материалов по теме исследования	Студент	12	16	13,6	14	17
5	Анализ отобранного материала	Студент	4	7	5,2	6	7
6	Изучение цифрового двойника	Студент	4	9	6,0	6	8
7	Разработка алгоритма работы	Студент	2	7	4,0	4	5
8	Создание и настройка сервера для тестирования	Студент	9	15	11,4	12	14
9	Разработка приложения	Студент	9	15	11,4	12	14
10	Тестирование работы Системы	Студент	7	14	9,8	10	12
11	Исправление ошибок	Студент	2	7	4,0	4	5
12	Проверка работы с научным руководителем	Руководитель Студент	1	4	2,2	2	2
13	Подготовка раздела «Финансовый менеджмент»	Студент	3	6	4,2	5	6
14	Подготовка раздела «Социальная ответственность»	Студент	2	5	3,2	4	4
15	Оформление иностранной части работы	Студент	4	6	4,8	5	6
16	Составление пояснительной записки	Студент	5	8	6,2	7	8
17	Подготовка презентации магистерской диссертации	Студент	3	6	4,2	5	6
<b>Итого:</b>						<b>120</b>	

На основании таблицы 12 построим диаграмму Ганта (таблица 13), представляющую из себя ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися

датами начала и окончания выполнения работ. На графике работы для научного руководителя выделены черной заливкой, а для студента – серой.

Таблица 13 – Календарный план-график

№ работы	Февраль			Март			Апрель			Май		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	■											
2	■											
3	■											
4		■	■									
5			■									
6				■								
7					■							
8					■	■						
9						■	■					
10							■	■				
11									■			
12										■		
13											■	
14												■
15												■
16												■
17												■

### 4.3 Бюджет научного исследования

#### 4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (от 3 до 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

В данной магистерской диссертации основным сырьем и материалами являются потребляемая электроэнергия и канцелярские принадлежности.

Для вычисления материальных затрат воспользуемся следующей формулой:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемого ресурса;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Произведем расчет затраченной электроэнергии. Исходя из времени проведения НТИ (таблица 12) количество рабочих дней составляет 101 день, а средняя продолжительность работы – 6 ч. ПК, участвующий в разработке потребляет 65 Вт/ч. Стоимость 1 кВт/ч электроэнергии в г. Томске составляет 2 руб. 39 коп. [24]. Затраты на электроэнергию составляют:

$$101 \text{ д} \cdot 6 \frac{\text{ч}}{\text{д}} \cdot 0,065 \frac{\text{кВт}}{\text{ч}} \cdot 2,39 \text{ руб.} = 94,14 \text{ руб.}$$

В таблице 14 представлен расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

Таблица 14 – Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Стоимость, руб
Электроэнергия	кВт	39,39	94,1
Канцелярские принадлежности	–	–	600
<b>Всего за материалы</b>			<b>694,1</b>
<b>Транспортно-заготовительные расходы (4 %)</b>			<b>27,8</b>
<b>Итого по статье, З<sub>м</sub></b>			<b>721,9</b>

#### 4.3.2 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены.

В ходе выполнения работы использованы следующее специальное оборудование:

- ноутбук Lenovo Yoga S730;
- среда разработки Visual Studio Community – бесплатное ПО;
- пакет прикладных программ для решения технических задач

Matlab – бесплатная версия ПО предоставляется НИ ТПУ.

В таблице 15 представлен расчет затрат на специальное оборудование для выполнения НТИ.

Таблица 15 – Спецоборудование для выполнения НТИ

Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Стоимость, руб
Ноутбук Lenovo Yoga S730	шт	1	62 500
Visual Studio Community 2017	шт	1	–
Matlab R2018b	шт	1	–
<b>Всего</b>			<b>62 500</b>
<b>Затраты на монтаж и доставку спецоборудования (15 %)</b>			<b>9 375</b>
<b>Итого по статье, З<sub>м</sub></b>			<b>71 875</b>

### 4.3.3 Расчет основной заработной платы исполнителей НИИ

Основная заработная плата студента и руководителя за выполнение НИИ, рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество 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.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	48	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	227

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p,$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн	$Z_{осн}$ , руб
Научный руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	65644,8	2719,9	7	19039,3
Студент	1270,7	0,3	0,2	1,3	2477,8	104,8	101	10584,8
<b>Итого:</b>								29624,1

#### 4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей НТИ

Дополнительная заработная плата учитывает величину доплат за отклонения от нормальных условий труда, предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принятый равным 0,15.

В таблице 18 представлены результаты расчетов дополнительной заработной платы, а также общей зарплаты исполнителей проекта.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей НТИ

Исполнители	$Z_{осн}$ , руб	$Z_{доп}$ , руб	$C_{зп}$ , руб
Научный руководитель	19039,3	2855,9	21895,2
Студент	10584,8	1587,7	12172,5
Итого:		4443,6	34067,7

#### 4.3.5 Расчет отчислений во внебюджетный фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = k_{внеб} \cdot C_{зп},$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды производятся в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ [25], установлен размер страховых взносов равный 27,1 %. В таблице 19 представлены результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$C_{зн}$ , руб	$k_{внеб}$ , %	$C_{внеб}$ , руб
Научный руководитель	21895,2	27,1	5922,6
Студент	12172,5	27,1	3298,7
Итого:			9221,3

#### 4.3.6 Научные и производственные командировки

В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы. Расчеты представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Научные и производственные командировки

Исполнители	$C_{зн}$ , руб	$k_{внеб}$ , %	$C_{внеб}$ , руб
Научный руководитель	21895,2	10,0	2189,5
Студент	12172,5	10,0	1217,3
Итого:			3406,8

#### 4.3.7 Расчет накладных расходов

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = k_{накл} \cdot C_{зн} ,$$

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

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда 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 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. В таблице 21 представлены результаты накладных расходов.

Таблица 21 – Накладные расходы

Исполнители	$C_{зн}$ , руб	$k_{накл}$ , %	$C_{накл}$ , руб
Научный руководитель	21895,2	80	17516,2
Студент	12172,5	80	9738,0
Итого:			27254,2

#### 4.3.8 Расчет бюджета НИТ

Рассчитанная величина затрат является основой для формирования бюджета затрат НИТ. Определение бюджета затрат НИТ по каждому варианту исполнения приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет бюджета НИТ

Вид работ	Статьи							
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления во внебюджетные фонды	Научные и производственные командировки	Накладные расходы	Итоговая плановая себестоимость
НИТ	721,9	71 875,0	29 624,1	4 443,6	9 221,3	3406,8	27 254,2	<b>146 546,9</b>
Аналог 1	506	70 150,0	29 624,1	4 443,6	9 221,3	3406,8	27 254,2	<b>144 606,0</b>
Аналог 2	956	73 900,0	29 624,1	4 443,6	9 221,3	3406,8	27 254,2	<b>148 806,0</b>

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования

##### 4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{146\,546,9}{150\,000} = 0,98,$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{144\,606,0}{150\,000} = 0,96,$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{148\,806,0}{150\,000} = 0,99.$$

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 23.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы		
		$B_{\phi}$	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$
1	2	3	4	5
1. Повышение производительности	0,21	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,16	5	5	5
3. Энергоэкономичность	0,21	4	3	4
4. Безопасность	0,10	5	5	4
5. Предоставляемые возможности	0,09	4	5	5
6. Потребность в ресурсах памяти	0,07	3	5	5
7. Простота эксплуатации	0,16	5	5	5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
$I_m$		<b>4,56</b>	<b>4,37</b>	<b>4,48</b>

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^p}, \quad I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^p}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Результаты сравнительной эффективности НТИ сведены в таблицу 24.

Таблица 24 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	0,96	0,99
2	Интегральный финансовый показатель ресурсоэффективности разработки	4,56	4,37	4,48
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	4,55	4,53
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,02	1,03

Таким образом, исходя из определения сравнительной эффективности разработки можно сказать, что разрабатываемое ПО является эффективным в сравнении с аналогами. Разница с аналогами обусловлена повышением производительности и снижением энергозатрат.

#### **4.4.2 Оценка абсолютной эффективности исследования**

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются считать:

- чистая текущая стоимость ( $NPV$ );
- срок окупаемости ( $D_{PP}$ );
- внутренняя ставка доходности ( $IRR$ );
- индекс доходности ( $PI$ ).

##### **4.4.2.1 Расчет чистой текущей стоимости**

Чистая текущая стоимость 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 величиной. Расчет текущей стоимости по проекту показан в таблице 25.

Таблица 25 – Таблица денежных потоков

№	Показатель	Номер шага (t)				
		0	1	2	3	4
1	Выручка (без НДС), т.р.	0,000	78,769	78,769	78,769	78,769
2	Итого приток, тыс.руб.	0,000	78,769	78,769	78,769	78,769
3	Инвестиционные издержки, тыс.руб	-146,547	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Операционные затраты, тыс. руб, С+Ам+Фот	0,000	12,201	12,201	12,201	12,201
5	Налогооблагаемая прибыль, тыс.руб.	0,000	66,568	66,568	66,568	66,568
6	Налоги, тыс. руб Налобл.приб*20%	0,000	13,314	13,314	13,314	13,314
7	Итого отток, тыс.руб Опер.затр+налоги	-146,547	25,514	25,514	25,514	25,514
	Чистая прибыль, тыс.руб.	-146,547	41,054	41,054	41,054	41,054
	Амортизация, тыс.руб.	0,000	-1,198	-1,198	-1,198	-1,198
8.	Чистый денежный поток, тыс.руб. ЧДП=Пчист-Ам	-146,547	39,856	39,856	39,856	39,856
9.	Коэффициент дисконтирования (при $i=20\%$ )	1,00	0,985	0,970	0,955	0,941
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб.	-146,547	39,255	38,663	38,080	37,506
11.	Накопленный дисконтированный эффект за расчетный период, тыс.руб., (NPV)	-146,547	-107,292	-68,629	-30,548	<b>6,958</b>

Исходя из таблицы 25, можно сказать, что чистая текущая стоимость по проекту – 6,958 тыс. рублей, а это говорит о его эффективности.

#### 4.4.2.2 Дисконтированный срок окупаемости

Одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени – этот недостаток можно устранить 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 26).

Таблица 26 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i = 0,20$ )	-146,547	39,255	38,663	38,080	37,506
2.	Накопленный дисконтированный эффект	-146,547	-107,292	-68,629	-30,548	6,958
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 3 + 30,548/37,506 = 3,81$ месяца				

#### 4.4.2.3 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 27 и графика, представленного на рисунке 47.

Таблица 27 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-146,547	39,856	39,856	39,856	39,856	
2	Коэффициент дисконтирования						
	i=0,1	1	0,992	0,984	0,976	0,969	
	i=0,2	1	0,985	0,970	0,955	0,941	
	i=0,3	1	0,978	0,957	0,937	0,916	
	i=0,4	1	0,972	0,945	0,919	0,894	
	i=0,5	1	0,967	0,935	0,904	0,874	
	i=0,6	1	0,962	0,925	0,889	0,855	
	i=0,7	1	0,957	0,915	0,876	0,838	
	i=0,8	1	0,952	0,907	0,863	0,822	
	i=0,9	1	0,948	0,899	0,852	0,807	
	i=1	1	0,944	0,891	0,841	0,794	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						NPV
	i=0,1	-146,547	39,541	39,228	38,918	38,610	9,749
	i=0,2	-146,547	39,255	38,663	38,080	37,506	6,958
	i=0,3	-146,547	38,994	38,151	37,326	36,519	4,442
	i=0,4	-146,547	38,754	37,683	36,641	35,628	2,158
	i=0,5	-146,547	38,532	37,252	36,014	34,818	0,068
	i=0,6	-146,547	38,325	36,853	35,438	34,076	-1,854
	i=0,7	-146,547	38,132	36,483	34,905	33,395	-3,633
	i=0,8	-146,547	37,951	36,137	34,409	32,765	-5,285
	i=0,9	-146,547	37,780	35,813	33,947	32,179	-6,827
	i=1	-146,547	37,619	35,508	33,515	31,634	-8,271

**ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ NPV ОТ СТАВКИ ДИСКОНТИРОВАНИЯ**



Рисунок 47 – Зависимость NPV 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 **0,5**.

#### **4.4.2.4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций**

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

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

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

где  $I_0$  – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{39,255 + 38,663 + 38,080 + 37,506}{146,547} = 1,047$$

$PI=1,047 > 1$ , следовательно, проект эффективен при  $i = 0,2$ ;

Все показатели финансовой и экономической эффективности, такие как чистая текущая стоимость (NPV), срок окупаемости (DPP), внутренняя ставка доходности (IRR), индекс доходности (PI), рассчитанные в процессе выполнения раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» говорят о том, что проект является рентабельным и эффективным.

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

В работе разрабатывается модуль планирования процесса нефтедобычи с использованием цифровых двойников.

В этом разделе рассматриваются вопросы, связанные: с выявлением и анализом вредных и опасных факторов, оценкой условий труда, разработкой мер защиты от вредных и опасных факторов, охраной окружающей среды.

Объектом исследования является рабочее место оператора. В процессе осуществления трудовой деятельности на оператора могут оказывать воздействие производственные факторы, такие как: влажность воздуха, температура воздуха, электромагнитное излучение, недостаточная освещенность, а также его умственные нагрузки. Для сохранения здоровья работника предусмотрен ряд мер, обеспечивающих безопасность трудовой деятельности.

Рабочее место оператора представляет собой закрытое, отапливаемое, вентилируемое помещение площадью 20 м<sup>2</sup>, в котором установлен персональный компьютер.

### **5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [26].

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 от 680 до 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 ( $300\pm 20$ ) мм, ширину — не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ( $0\pm 30$ ) 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 (230±30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм;
- поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим неэлектризующимся, 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 [27].

### **5.3 Производственная безопасность**

В данной части работы рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть во время разработки и эксплуатации Системы [28]. Перечень факторов приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работы			Нормативные документы
	Разработ- ка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Термические опасности	+		+	– СП 2.13130.2012 [29]; – ГОСТ 12.1.004–91 [30];
2. Электробезопасность	+		+	– ГОСТ 12.1.019-2017 [31];
3. Отклонение показателей микроклимата	+		+	– СанПиН 2.2.4.548-96 [32];
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+		+	– ГОСТ Р 55710-2013 [33];
5. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+		+	– СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 [34]; – СанПиН 2.2.4.3359–16 [35];
6. Умственные перегрузки	+		+	– ГОСТ 12.0.003-2015 [28].

### 5.3.1 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.

Подробные действия при возникновении пожара описаны в п. 5.5.

### 5.3.2 Электробезопасность на рабочем месте

Во время разработки модуля возможно поражение электрическим током, проходящим от сети 220 В к ПЭВМ, а также от сети к дополнительному оборудованию, обеспечивающему нормальный микроклимат в помещении.

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.

### 5.3.3 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 29 представлены оптимальные и допустимые нормы микроклимата.

Таблица 29 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с		
	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая	Оптимальная, не более	Допустимая, 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 помещении, где будет производиться работа, температура и влажность воздуха должны поддерживаться в соответствии с таблицей 29 путем применения следующих мероприятий: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление помещения.

### 5.3.4 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, являться 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  $E_n = 300$  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.

### **5.3.5 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.

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, чем 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 30 представлены предельно-допустимые уровни электромагнитных полей на рабочем месте.

Таблица 30 – 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 [36].

### 5.3.6 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, описанный в пункте 5.2;

- 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.

#### **5.4 Экологическая безопасность**

Вследствие 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 [37].

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 [37].

### 5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе разработки и эксплуатации любого ПО или системы могут возникнуть ЧС. В таблице 31 приведены вероятные источники возникновения ЧС при разработке модуля.

Таблица 31 – Источники возникновения ЧС

Вероятный источник ЧС	Факторы возникновения ЧС
Персональный компьютер	<ul style="list-style-type: none"> <li>– короткое замыкание;</li> <li>– перегрев составных частей;</li> <li>– оголенные провода в процессе работы.</li> </ul>
Человеческий фактор	<ul style="list-style-type: none"> <li>– курение на рабочем месте;</li> <li>– использование нагревательного оборудования без присмотра.</li> </ul>

Согласно приведенной выше таблице (таблица 31) 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.

Пожар в кабинете оператора может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение;
- статическое электричество.

В качестве противопожарных мер должны быть применены следующие мероприятия [38].

Организационные мероприятия:

- издание планов эвакуации, плакатов, инструкций;
- обучение персонала правилам противопожарной безопасности и
- контроль знаний;
- проведение противопожарного инструктажа персонала.

Эксплуатационные мероприятия:

- свободный проход к оборудованию;
- поддержание исправности изоляции проводников;
- соблюдение эксплуатационных норм.

Технические мероприятия:

- установка в помещении углекислотного огнетушителя ОУ-8;
- расположение на видном месте плана эвакуации в случае пожара;
- расположение на достигаемом расстоянии пожарного щита;
- световая индикация;
- звуковое оповещение в виде громкоговорителя;
- пассивные датчики задымленности;
- 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 112 (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.

## **5.6 Выводы по разделу**

В работе был проведен анализ, направленный на выявление вредных и опасных факторов при разработке модуля планирования процесса нефтедобычи. Рассмотрено негативное воздействие утилизации ПЭВМ и периферийного оборудования на окружающую среду, установлены рекомендации для минимизации негативного влияния. Также определены организационные моменты по обеспечению безопасности в случае чрезвычайной ситуации.

## Заключение

В результате был разработан модуль планирования нефтедобычи. Для этого при выполнении выпускной квалификационной работы был рассмотрен технологический процесс нефтедобычи, исходя из которого определен требуемый объем автоматизации и разработана функциональная схема автоматизации.

Выбраны средства для реализации модуля, а именно язык программирования, необходимые библиотеки, механизмы обмена данными и хранения данных. Помимо выбора средств, сделан обзор достоинств и недостатков каждого из выбранных компонентов. Также была разработана схема информационных потоков, отражающая пути передачи данных между компонентами системы.

Для тестирования разрабатываемого модуля была собрана и настроена модель куста скважин, а также настроен OPC-сервер, сервер MySQL и ПК, выполняющий роль сервера.

При помощи выбранных технологий и программного обеспечения было разработано приложение для персональных компьютеров, работающих под управлением ОС Windows. Программа представляет из себя WinForms приложение, которое умеет подключаться к OPC-серверу и получать оттуда данные, записывать их в БД, а также отображать их при помощи графиков. Помимо функции диспетчеризации в программе реализован разработанный алгоритм, который позволяет проводить оптимизацию энергопотребления куста скважин.

Ключевой особенностью данной выпускной работы можно считать использование технологии OPC, потому что она позволяет осуществлять обмен данными между любым ПО, которое поддерживает её. Это значит, что можно интегрировать разработанный модуль в разнородные системы.

## Список публикаций

1. Моделирование синхронного двигателя с электромагнитной редуцией скорости в ANSYS Maxwell [Электронный ресурс] / И. А. Кремлёв, В. А. Гилев, М. В. Зеленин ; науч. рук. С. В. Леонов // Интеллектуальные энергосистемы : труды III Международного молодёжного форума, 28 сентября - 2 октября 2015 г., г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 2. — [С. 211-214]. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/16302>.

2. Моделирование синхронного двигателя с электромагнитной редуцией скорости в ANSYS Maxwell [Электронный ресурс] / И. А. Кремлёв, В. А. Гилев, М. В. Зеленин ; науч. рук. С. В. Леонов // Современная техника и технологии : сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 5-9 октября 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 2. — [С. 33-35]. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/22029>.

3. Моделирование синхронного двигателя с электромагнитной редуцией скорости в ANSYS Maxwell [Электронный ресурс] / И. А. Кремлёв, В. А. Гилев, М. В. Зеленин ; науч. рук. С. В. Леонов // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири : сборник тезисов докладов, 14-16 октября 2015 г., г. Томск. — Томск : Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. — [С. 119]. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/22362>.

4. Алгоритм моделирования синхронного двигателя с электромагнитной редуцией скорости в ANSYS Maxwell [Электронный ресурс] / И. А. Кремлёв, В. А. Гилев, М. В. Зеленин ; науч. рук. С. В. Леонов // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 239-240]. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/17151>.

5. Разработка программного обеспечения для моделирования электромеханических и мехатронных систем [Электронный ресурс] / И. А. Кремлев, С. В. Леонов, В. А. Гилев // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 04-07 декабря 2017 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 152-153]. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/46573>.

6. Разработка модуля управления техобслуживанием и ремонтом [Электронный ресурс] / А. В. Чимров, В. А. Гилев, Е. И. Громаков // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 3-7 декабря 2018 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 251-252]. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/52730>.

## Список источников

1. Экономия электроэнергии и снижение потерь в электротехнических комплексах нефтегазодобычи: монография / [В.В.Сушков, М.К.Велиев, Т.Д.Гладких, Г.В.Мальгин]. — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2015. — 219 с.
2. Управление производством. Планирование производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.up-pro.ru/encyclopedia/planirovanie-proizvodstva.html> (дата обращения: 10.03.2019 г).
3. Планирование и оптимизация: от Вергилия до... APS&системы. // «Корпоративные системы» № 27 (25 июля 2016 г).
4. Планирование производства. Путь к успешному бизнесу. // «Планово-экономический отдел» №5, 2016.
5. Стратегия и управление. Производственное планирование: принципы, методы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strategplann.ru/maloe-predpriyatie/proizvodstvennoe-planirovanie-printsipy-metody.html> (дата обращения: 14.03.2019 г).
6. Экономика и управление: учебно-методический комплекс / сост.: .В. Жариков, В.Д. Жариков, А.П. Романов и др. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с. – 100 экз.
7. XX2 век. Технология добычи нефти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://22century.ru/popular-science-publications/extraction\\_of\\_oil](https://22century.ru/popular-science-publications/extraction_of_oil) (дата обращения: 21.03.2019г).
8. Агроводком. Общая схема установки электроцентробежного насоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agrovodcom.ru/infos/uetsn-ustanovka.php> (дата обращения: 03.04.2019 г).
9. Einsteins. Задачи. Зависимость подачи, напора и мощности от числа оборотов насоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://einsteins.ru/subjects/gidravlika/zadachi-gidravlika/resheno-570> (дата обращения: 24.03.2019 г).

10. Википедия. C Sharp [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/C\\_Sharp](https://ru.wikipedia.org/wiki/C_Sharp) (дата обращения: 26.03.2019 г).

11. Learn-code. Язык программирования C#. Краткая справка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn-code.ru/yazyki-programmirovaniya/c-sharp> (дата обращения: 26.03.2019 г).

12. Studbooks. Описание среды разработки Microsoft Visual Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2258619/informatika/opisanie\\_sredy\\_razrabotki\\_microsoft\\_visual\\_studio](https://studbooks.net/2258619/informatika/opisanie_sredy_razrabotki_microsoft_visual_studio) (дата обращения: 01.04.2019 г).

13. OPS Foundation. What is OPS? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> (дата обращения: 07.04.2019 г).

14. Энциклопедия АСУ ТП. Спецификация OPC UA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.bookasutp.ru/Chapter9\\_2\\_4.aspx](https://www.bookasutp.ru/Chapter9_2_4.aspx) (дата обращения: 08.04.2019 г).

15. ИнСАТ. Modbus Universal MasterOPC Server 32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=6944> (дата обращения: 11.04.2019 г).

16. Unified Automation. .NET Based OPC UA Client SDK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unified-automation.com/products/client-sdk/net-ua-client-sdk.html> (дата обращения: 13.04.2019 г).

17. Национальная библиотека им. Н.Э. Баумана. Реляционная база данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.bmstu.wiki/Реляционная\\_база\\_данных](https://ru.bmstu.wiki/Реляционная_база_данных) (дата обращения: 16.04.2019 г).

18. MySQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mysql.com/> (дата обращения: 17.04.2019 г).

19. No-IP. Dynamic DNS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.noip.com/> (дата обращения: 19.04.2019 г).
20. Решение математических задач на языке C# с использованием пакета Matlab // И. А. Гурин, Н. А. Спирин, В. В. Лавров. – ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.
21. АО «Электронмаш». Системные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electronmash.ru/> (дата обращения: 28.04.2019 г).
22. АО «СПИК СЗМА». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://szma.com/> (дата обращения: 28.04.2019 г).
23. КонсультантПлюс. Производственный календарь на 2019 год (для шестидневной рабочей недели). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=303161&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.023123598620933272#00322639113752039> (дата обращения: 27.04.2019 г).
24. ЭнергоВОПРОС.ру. Тарифы на электроэнергию в Томске и Томской области. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-energoenergiyu/tomskaya\\_oblast/39310/](https://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-energoenergiyu/tomskaya_oblast/39310/) (Дата обращения: 28.04.2019)
25. Федеральный закон от 24.07.2009 N 212-ФЗ "О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования".
26. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
27. Grandars: Организация рабочего места при работе за компьютером. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-hiznedeyatelnosti/organizaciya-raboty-za-kompyuterom.html>, свободный (дата обращения 23.04.2019).

28. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
29. СП 2.13130.2012. «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (с Изменением N 1)».
30. ГОСТ 12.1.004–91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
31. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
32. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
33. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий».
34. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».
35. СанПиН 2.2.4.3359–16. «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
36. Журнал «Нормативные акты по охране труда» №1 – 2005. «Инструкция по организации работ, охране труда и экологической безопасности при работе на ПЭВМ (ПК)».
37. 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).
38. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ (последняя редакция).

## Приложение А

(обязательное)

Development of a planning module for the oil production process using digital twins

Раздел 2.1 Объект автоматизации

### Automation object

Раздел 2.2 Разработка алгоритма

### The algorithm development

Раздел 2.3 Выбор технологий и используемого ПО

### Technologies and software

Раздел 2.4.5 Разработка приложения

### The application

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ71	Гилев Владислав Андреевич		

Консультант ОАР ИШИТР

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 ШБИП	Пичугова Инна Леонидовна	—		

## Introduction

In today's world, technological-process automation plays an essential role because enterprises need to increase productivity, reduce production time, perform tasks that are not available to human hands within a market economy. Therefore, it is impossible to imagine an enterprise without automated production lines, because automation allows you to free a person from the executing functions and delegate them to the Computer-Aided Process Control System (CAPCS). CAPCS is a software estate, such as computer software and programmable logic controller (PLC) software, and hardware, such as sensors and executive devices.

Over recent years the CAPCS requirements have changed and there is not enough transfer of human control functions to equipment now. Just as important to lower production costs, so it is necessary to optimize processes of energy and resources recovery and the system overhaul.

Let us consider the process of oil production, where automation is widespread. Based on the source [1], we will analyze the use of electricity by the oil company. Most of the electricity is consumed for mechanized extraction of oil, that is 46%, therefore, it is necessary to optimize the energy costs of pumping equipment.

The objective of the Master's thesis is to develop a planning module for the oil production process. The module can implement an algorithm for determining the optimal well flow rates, taking into account the maximization of the equipment energy efficiency. In this case, the module is a software that implements the preprogrammed algorithms for determining the required well flow rates. Also, it implements the exchange of information with OPC server, recording process parameters in the database and displaying process parameters in a human-friendly form, in the form of graphs and screen forms.

To develop software, it is necessary to solve a number of tasks:

- 1) To analyze the ways to pumping units control and determine the most energy-efficient unit;
- 2) To develop a finding optimal settings algorithm for pumping units;
- 3) To select the appropriate technologies to module implementation:

- a software programming language;
  - frameworks;
  - a software for program development;
- 4) To prepare “test facility” for test execution:
- to organize a remote server to run the digital twin;
  - to place OPC-server on the server;
  - to prepare the database and data base management system (DBMS)

server;

- 5) To implement the module;
- 6) To check the module operation capability on the “test facility”.

## 1 Automation object

### 1.1 The operating procedure

The technology of oil production is based on extraction of oil from oil reservoir by field wells. Oil can rise through the well under pressure. How does it work? The reservoir pressure is usually hydrostatic, it means, that, the same pressure as in water at the same depth, and the pressure at the well bore is less, due to the pressure differential (it is depression) oil starts to gush.

Reservoir pressure is reduced during operation, this leads to a decrease in depression and a decrease in the well flow rate. There are several ways to increase the flow rate, for example, a mechanized extraction of oil using electric pumps. When using electrical submersible centrifugal pump (ESP), the pressure at the well bore is reduced, therefore, increases depression and oil flow rate. The general scheme of oil production using electrical submersible centrifugal pump is shown in Figure 1.

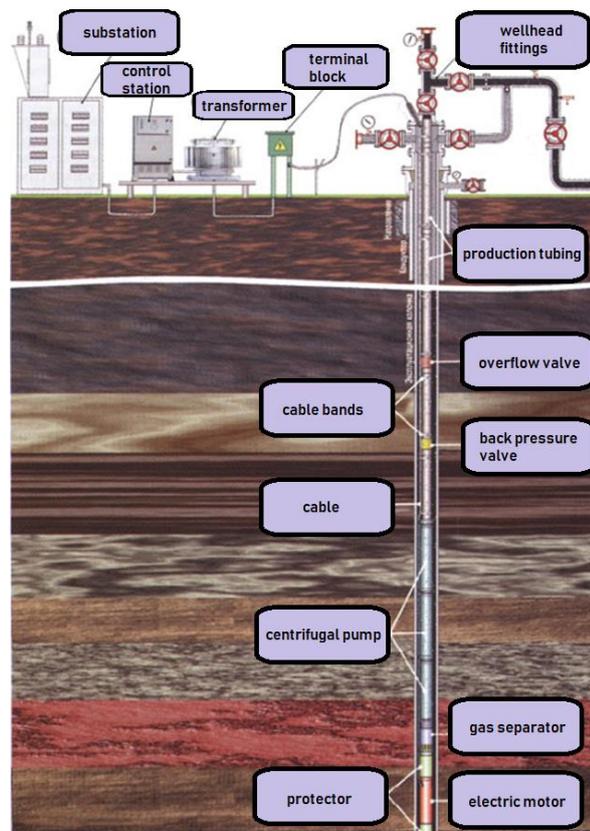


Figure 1 – The scheme of oil production using ESP

Let's consider all components of scheme. Electricity submersible pumps consists of submersible and ground equipment. Submersible equipment includes: an

electrical motor with protector, gas separator, centrifugal pump, back pressure valve, overflow valve and production tubing, which holds all the above equipment.

The structure of the ground equipment includes: wellhead fittings, as well as electrical equipment consisting of a terminal block, transformer, control station and substation.

Electricity is supplied to the electric motor by cable from the transformer, and cable is fixed on the production tubing by cable bands.

The advantages of ESP:

- adaptable to highly deviated wells; up to horizontal, but must be set in straight section;
- permit use of minimum space for subsurface controls and associated production facilities;
- permits placing wells on production even while drilling and working over wells in immediate vicinity;
- applicable in a range of harsh environments.

## 1.2 The digital twin

A digital twin is a software prototype of a real physical device that simulates internal processes, engineering factors, and behavior. As part of the development of the planning module, the digital twin is the well's model, which is developed by Khalitov Ilyas in his Master's thesis. The model was developed in Simulink, it is presented in Figures 2 and 3.

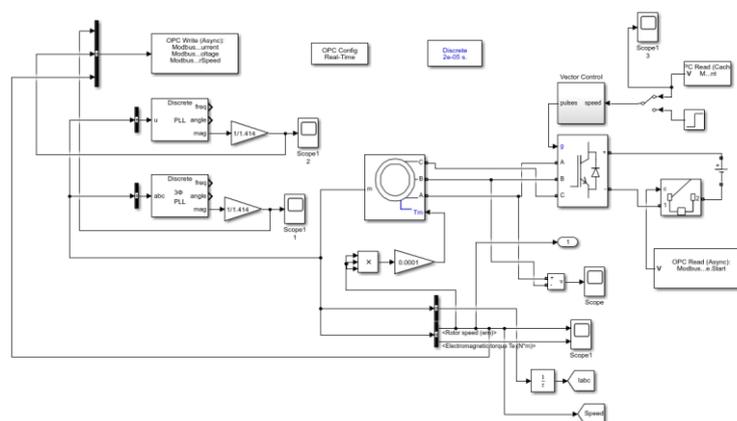


Figure 2 – The AC motor model

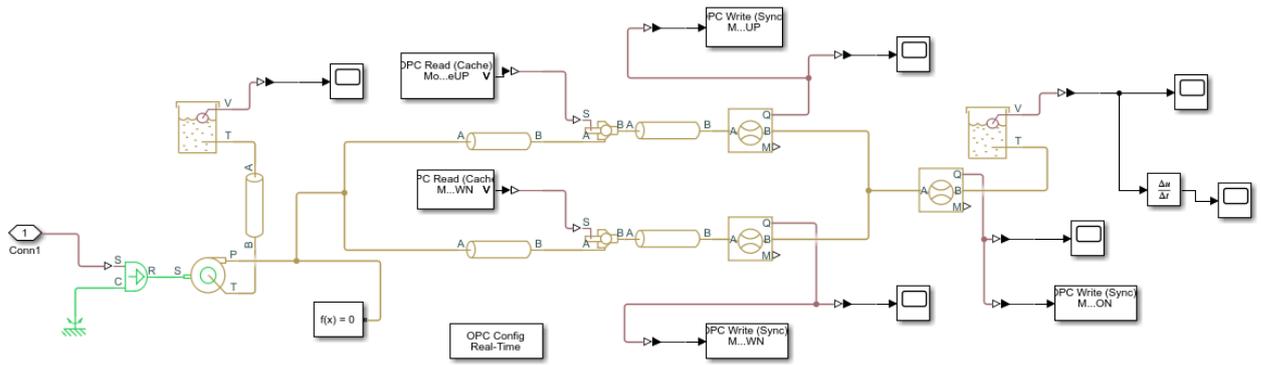


Figure 3 – The pump and pipeline model

The model consists of two parts. The first part (Figure 2) is an asynchronous motor with a squirrel cage rotor and a vector control system that reflects the operation of the submersible electric motor in mechanized oil production. This part of model simulates electrical parameters.

The second part (Figure 3) is a pump that extracts liquid from the well by the pipeline. This part simulates the physical parameters when liquid is pumped.

## 2 The algorithm development

The algorithm development objective is a maximum energy efficiency achievement of the well cluster. It is done by planning and calculating the required motor speeds. The algorithm will consist of two stages. At the first stage, structural optimization will be carried out, based on the predefined well flow rate in general. At the second stage, the problem of linear programming will be solved. It determines the required settings.

### 2.1 The first part of the algorithm

The first stage is structural optimization. It means that before solving the optimization problem, it is necessary to determine an enough number of wells that will provide the required flow rate, based on the nominal well flow rates. Figure 4 shows a simplified block diagram of oil production.

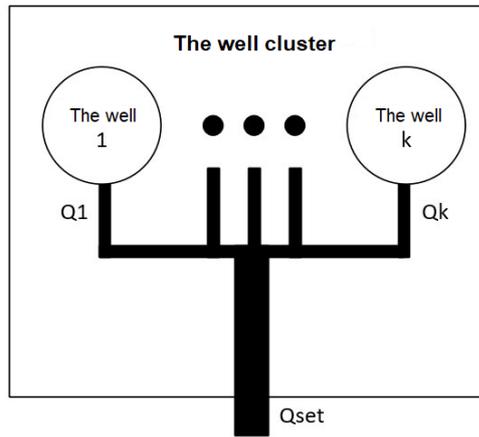


Figure 4 – The block diagram of oil production

To determine the most economical wells, an energy intensity coefficient was introduced:

$$k_{ie} = \frac{N_i}{F_i}, \text{ where: (1)}$$

- $F_i$  – the nominal well flow rates;
- $N_i$  – the nominal input power of the well.

The wells are sorted ascending and the required number of the most economical wells is selected by applying the entered coefficient. The other wells are not operated. The block diagram of the structural optimization algorithm is presented in annex. It is developed in accordance with State Standard GOST 19.701-90 "Algorithm schemes of programs, data and systems".

The selection of the number functional wells is due to the fact that the efficiency factor of AC motor depends on a load. Figure 5 shows the dependence diagram.

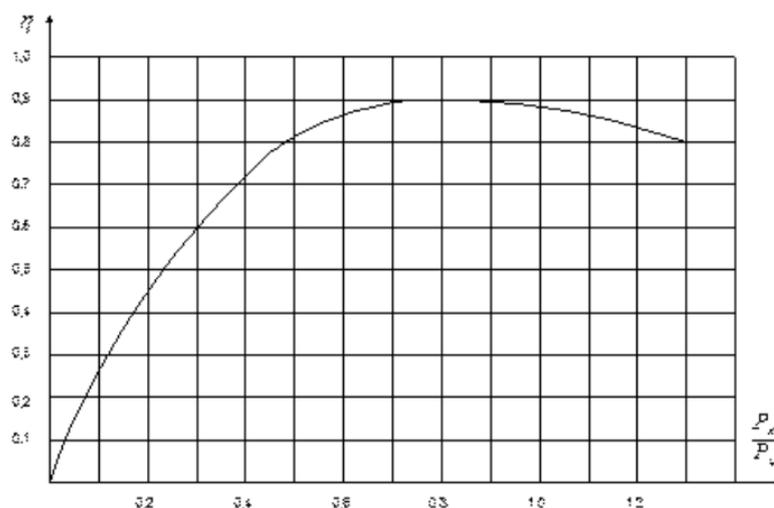


Figure 5 – The dependence of efficiency factor on motor load

The diagram shows that the highest AC motor efficiency is achieved at a load equal to 0,75 of the nominal power. Therefore, if the submersible motors are operating close to the nominal mode, it is possible to provide optimal energy efficiency for the well cluster. When developing the algorithm, the load on the motor was limited in the range from  $0,7 \cdot P_l$  to  $1,1 \cdot P_l$ . This limitation will be used in the second part of the algorithm.

## 2.2 The second part of the algorithm

The second stage is the solution of the optimization problem. The algorithm receives nominal parameters and process parameters for wells selected by the first part as input data. Then the problem of linear programming is solved. If the problem is solved successfully, the calculated values are displayed to the user, otherwise the message "the optimal solution is not found" is displayed. The block diagram of the algorithm is shown in annex.

Let us consider the general aspect of the linear programming problem. There is a system of limitations of the linear programming problem:

$$a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n = b_1;$$

...

$$a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n = b_m.$$

It is required to find non-negative values of variables  $x$  that satisfy the equation system and determine the minimum of the objective function:

$$f(x) = c_1x_1 + \dots + c_nx_n.$$

For information, constraints can be equations and inequalities in the linear programming problem.

In another form, the linear programming problem can be written as follows:

$$\min_x f^T, \text{ as } \begin{cases} A \cdot x \leq b \\ A_{eq} \cdot x = beq, \\ lb \leq x \leq ub. \end{cases}$$

Based on the model, the variables  $x_i$  are the rotor speeds. The first constraint is the required well flow rates:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \omega_i \geq Fset, \text{ where: (2)}$$

- $\alpha_i$  – the coefficient that represents the relationship between the pump unit flow and the motor rotor speed;
- $\omega_i$  – the motor rotor speed;
- $Fset$  – the required well flow rates.

Let us turn to the laws of pump proportionality [N]. The speed-flow dependence is linear, therefore, we can calculate the coefficient by evidence of the technological process:

$$\alpha_i = \frac{F_i}{\omega_i}, \text{ where: (3)}$$

- $F_i$  – the well flow rates;
- $\omega_i$  – the motor rotor speed.

The other conditions will flow out of the constraints that are related to the motor load:

$$0,7 \cdot P_n \leq P_i \leq 1,1 \cdot P_n, \text{ where (4)}$$

$P_n$  – the nominal motor power.

Back to the laws of the pump proportionality. It says that the dependence between the rotation speed and the input power is cubic:

$$N_i = \beta_i \cdot \omega_i^3, \text{ where (5)}$$

$\beta_i$  – the coefficient, that connects the rotor speed and the input power. Figure 6 shows the dependence of a graph.

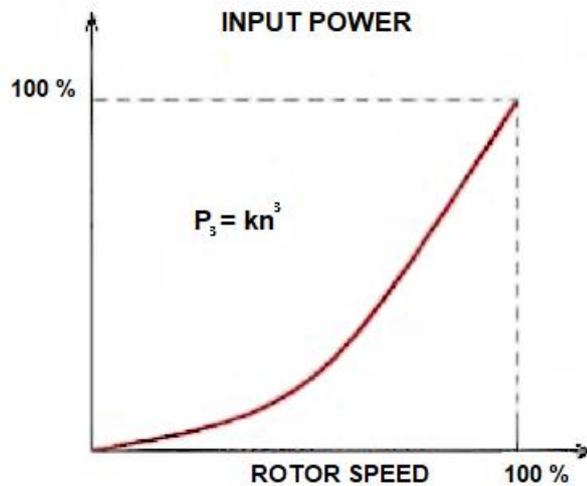


Figure 6 – The dependence of the input power of the rotor speed

The input power of the pump is expressed in terms of the input power of the electrical motor:

$$N_i = \eta_i \cdot P_i, \text{ where (6)}$$

$\eta_i$  – the motor efficiency.

We equate (5) and (6), express  $P_i$  and apply to (4). As a result, we receive the other constraints of linear programming problem:

$$0,7 \cdot \frac{\beta_i \cdot \omega_n^3}{\eta_i} \leq \frac{\beta_i \cdot \omega_i^3}{\eta_i} \leq 1,1 \cdot \frac{\beta_i \cdot \omega_n^3}{\eta_i}$$

$$0,89 \cdot \omega_n \leq \omega_i \leq 1,03 \cdot \omega_n.$$

It remains to determine the objective function. The input power with all operating motors was taken as the objective function:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\beta_i \cdot \omega_i^3}{\eta_i} \rightarrow \min.$$

Here, the function is not linear, and the objective function and constraints must be linear to solve the problem. We can expand the function in a Taylor series:

$$\sum_{n=0}^k \frac{f^{(n)}(a)}{n!}.$$

Our function decomposes into a Taylor series in the nominal point as follows:

$$\frac{\beta_i \cdot \omega_i^3}{\eta_i} = \frac{\beta_i \cdot \omega_H^3}{\eta_i} + 3 \cdot \frac{\beta_i \cdot \omega_H^2}{\eta_i} (\omega_i - \omega_H).$$

Let's omit the constant terms, because they affect only the movement of the line along the ordinate axis, therefore, we obtain the final form of the objective function:

$$\sum_{i=1}^n \frac{3 \cdot \beta_i \cdot \omega_H^2 \cdot \omega_i}{\eta_i} \rightarrow \min.$$

### **3 Technologies and software**

#### **3.1 Programming language**

The C# programming language was selected. The choice was carried out based on the terms of reference and the target platform, and it is a computer with an installed Windows operating system. C# is an object-oriented programming language. It was developed in 1998-2001 by Microsoft. The development was carried out under the leadership of Anders Hejlsberg, the creator of the compiler that was used in Turbo Pascal and Delphi, and Scott Wiltamuth.

The advantages of the programming language are:

- support and improvement of the language by Microsoft;
- a lot of libraries and SDK;
- using an object-oriented approach;
- availability of good development tools;
- strong typing;

The disadvantages of the programming language are:

- attachment to .NET platform;
- the need to purchase a license when using tools by commercial firms.

### **3.2 Integrated development environments**

Microsoft Visual Studio 2017 Community was chosen as an integrated development environment based on the programming language. Microsoft Visual Studio is a collection of programs that include an integrated software development environment and other tools. Visual Studio includes a code editor supporting IntelliSense (the code completion component) as well as code refactoring. The integrated debugger works both as a source-level debugger and a machine-level debugger. Other built-in tools include a code profiler, forms designer for building GUI applications, web designer, class designer, and database schema designer. It accepts plug-ins that enhance the functionality at almost every level—including adding support for source control systems (like Subversion and Git) and adding new toolsets like editors and visual designers for domain-specific languages or toolsets for other aspects of the software development lifecycle (like the Team Foundation Server client: Team Explorer).

Visual Studio provides the following benefits:

- support of several programming languages;
- ability to debug applications;
- high-speed development;
- providing support for unit testing applications;
- availability of built-in web server.

The disadvantages include:

- it is paid for commercial development;
- no cross-platform.

### **3.3 Data transfer**

The main factor in choosing the data transfer technology was the requirement to ensure the compatibility of the planning module with other software products, so the OPC technology was chosen.

OPC (Open Platform Communication) is a series of specifications developed by automation vendors, end users, and software developers. These specifications define the interface between the client and the server, as well as the server and the server, providing access to real-time data, to monitoring alarms, to historical data.

The latest version of the standard is OPC Unified Architecture, which uses the concept of an object, similar to object-oriented programming. For example, an object is a physical device, such as a sensor – a flowmeter that displays the flow value, alarm parameters, and their response boundaries.

The data transfer mechanism is built on the client-server architecture. The system can have multiple clients and multiple servers, and not only the server can serve multiple clients, but each client can simultaneously connect to multiple servers. The OPC server is a link between the OPC client and the physical device, it provides the client with an interface to get the results of data collection from devices or write values for output's devices. The OPC client is the target program that receives input data through the interface from the server and set output. The client can be SCADA-system, as well as any other user program, in the master's thesis it is planning module of optimization. Figure 7 shows the structure of the OPC client.

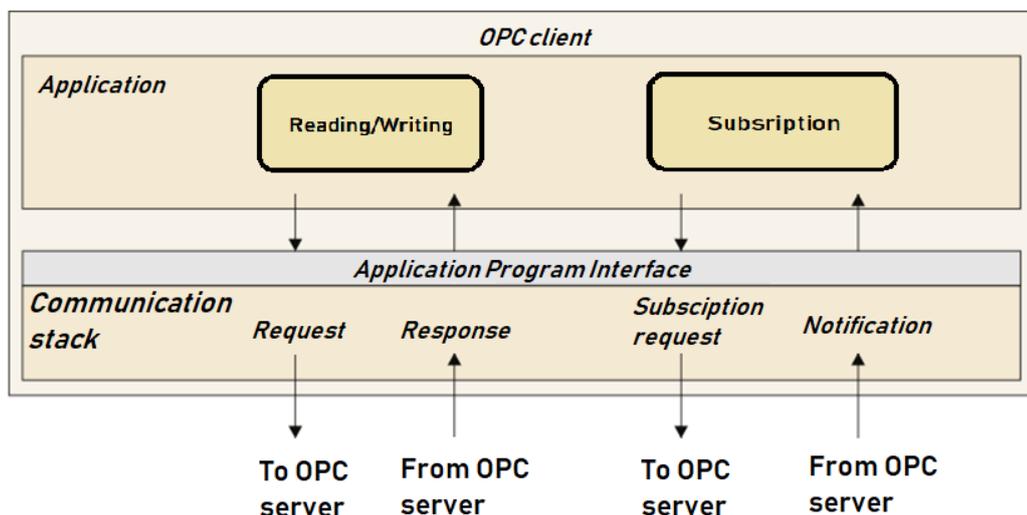


Figure 7 – The structure of the OPC client

The OPC server data is accessed through the elements (items) of the address space, each of which has its own unique name (tag). Items are organized in a hierarchical address space, much like a file system, with branches (corresponding to

directories) to group other items and end nodes (corresponding to files). Each end node has its own basic data type, access rights (read or write), and also can have a set of additional properties associated with it (for example, upper and lower limits of measurement, units of measurement, etc.). Figure 8 shows the structure of the OPC server.

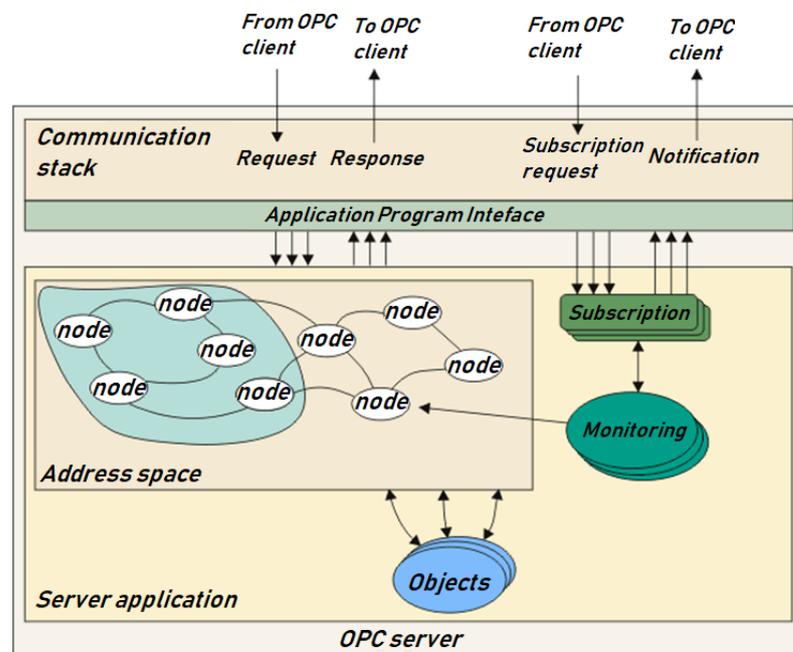


Figure 8 – The structure of the OPC server

In fact, the data transfer between OPC clients and the OPC server is reading or writing the values of the address space elements of the OPC server. Thus, the transfer is hidden from the OPC client. It only needs to know the names of the elements (tags) of the address space of the OPC server, which correspond to the parameters that are interesting.

There are three ways to get the values of group items:

1) Subscription to change data. In this scenario, the client subscribes to changes of the values of the items, which causes the server to monitor these changes and notify the client when they occur.

2) Asynchronous reading. In this scenario, the client makes a request to read the item of the group, and it can continue to work without waiting for the result. The server reads all requested items and notifies the client of the read values (always all requested items at the same time) when the operation is complete.

3) Synchronous reading. In this scenario, the client makes a request to read and waits for the values of all requested items to be received by the server. Only after that it returns to work.

Writing items is both synchronous and asynchronous, similar to reading, it means that, in one case the client is waiting for the completion of the operation, and the other immediately continues to work.

Modbus Universal MasterOPC Server was chosen as the OPC server when performing Master's thesis.

Distinctive features of Modbus Universal MasterOPC:

- scaling values (casting to the required range);
- group editing of tags;
- import Tag Wizard from CSV files;
- flexible byte swapping (in words up to 8 bytes long);
- extract individual bits in tags;
- automatic type conversion;
- supported data types bool, Int16, UInt16, Int32, UInt32, float, double, string;
- maintenance of a detailed log of diagnostic messages;
- monitoring the quality of communication with the device;
- support 20 Functions Modbus;
- formation of any Modbus request;
- archiving of tag's values with transfer to OPC HDA.

As is was mentioned earlier, the client is the planning module, so it was chosen to implement the necessary functionality .Net based OPC UA SDK from Unified Automation, which includes 3 libraries in C#, detailed documentation, which describes the classes and methods, as well as examples of developed applications. Figure 9 shows the SDK architecture.

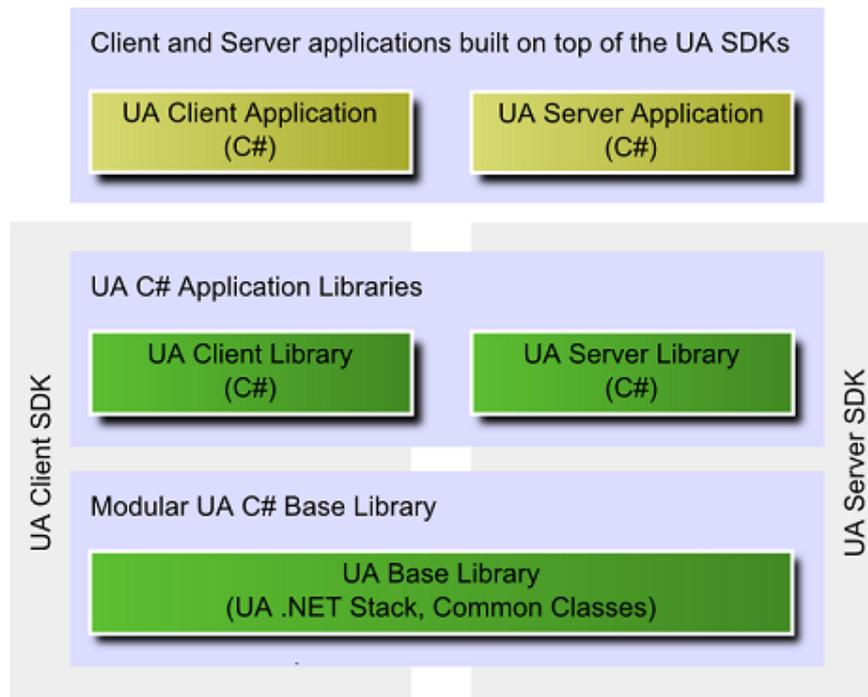


Figure 9 – UA SDK architectural

### 3.4 The data storage

The relational database controlled by MySQL DBMS was chosen to organize the data storage.

The relational database is based on a relational model where data is stored as flat tables. Figure 10 shows an example of the table and some items. Data is created, updated, deleted, and queried using structured query language (SQL). The SQL queries can retrieve data from a single table or multiple tables.

whole	row		whole		datatypes
number	name	position	money		domains
<b>Employee ID</b>	<b>Name</b>	<b>Position</b>	<b>Salary</b>	<b>Prize</b>	attributes
2934	Ivanov	engineer	112	40	tuple
2935	Petrov	chief engineer	144	50	
2936	Sidorov	auditor	92	35	

↑  
key

Figure 10 – The relationship example

The table rows contain data about one object (for example, car, computer, customer). The table columns contain the attributes, it is the different characteristics of these features (for example, motor number, processor name, telephone numbers of companies or customers).

The table rows are named records. All table records have the same structure. They consist of fields, where the object attributes are stored. Each record field contains one object characteristic. It is the defined data type (for example, string, integer, date). Each table record is characterized by a primary key to identify the records.

DBMS is used for database management. They allow creating a database structure, processing data and controlling data. MySQL was chosen as a DBMS. It is a free server-side database management system.

The advantages of the selected DBMS are:

- easy to operate;
- a lot of features;
- safety;
- scalability;
- speed.

The disadvantages include:

- functional limitations;
- reliability;
- slow development and improvement of the DBMS.

Based on the digital twin of the real object, a logical database model was developed. The logical model is presented in the form of an ER-model (Figure 11) in accordance with the Crow's Foot notation.

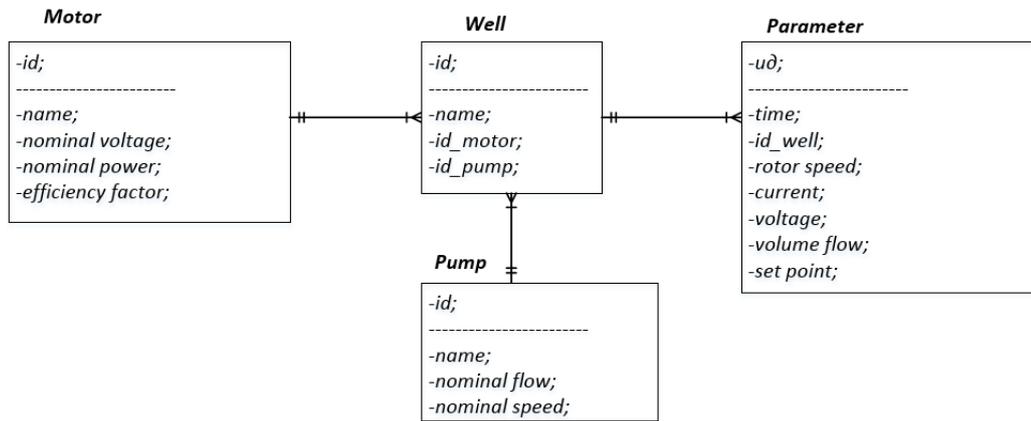


Figure 11 – The logical database model

Then a physical model was developed to implement the database, Figure 12 shows the developed model.

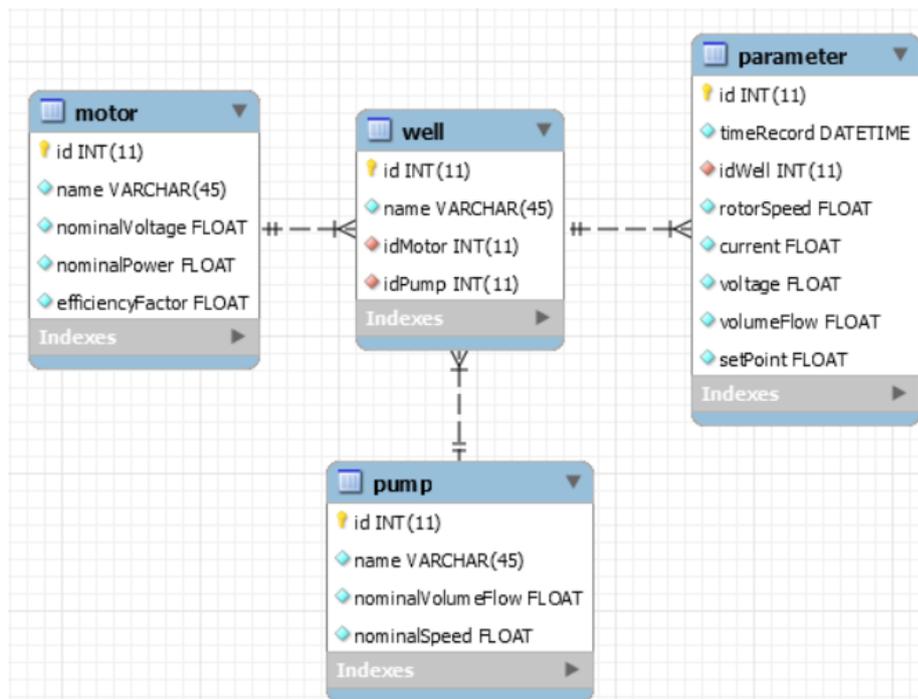


Figure 12 – The physical database model

### 3.5 The data flow diagram

The main participants of the information exchange are: Matlab with digital twin, OPC-server, module of planning and DB.

Let's look at the details of each participant. Matlab with digital twin provides data about the process parameters. It is the OPC client that simulates real physical devices. OPC server gets this data and provides availability to it for any software that supports OPC technology. Further the information is requested by the planning

module to internal calculations. All information received from the OPC server by the planning module is sent in the database to be able to use this data in the future, for example for analysis.

The developed scheme of information flows is presented in annex.

## 4 The application

Using the selected technologies and software, a program for personal computers running the Windows operating system was developed. The program is a WinForms application that can connect to the OPC server and get data from there, write it to the database as well as display it using by trends. In addition to the dispatch function, the program implements a developed optimization algorithm that allows optimizing the energy consumption of the well cluster.

Figure 13 shows the main form of the application, and the windows that allows to use the functionality described above.

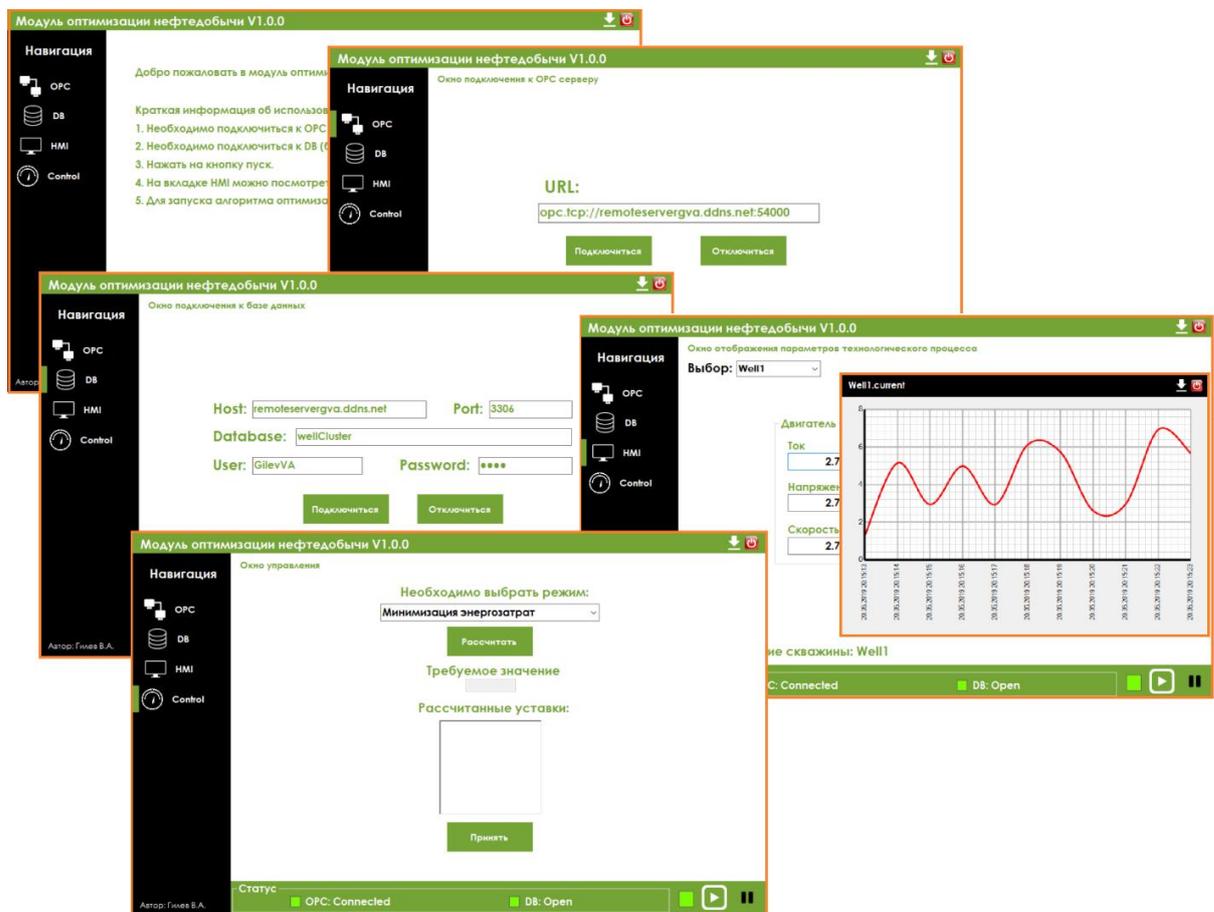


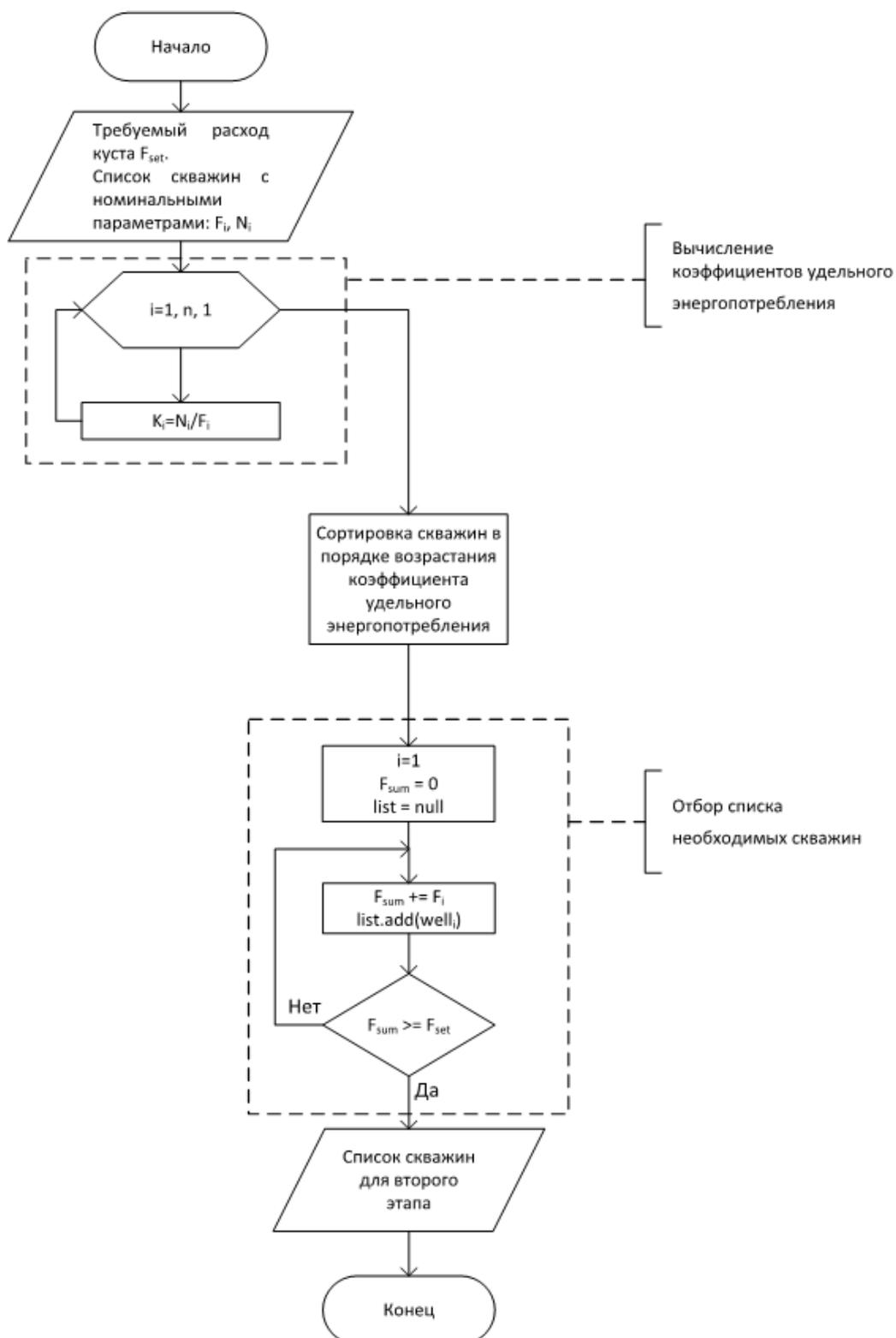
Figure 13 – The graphic user interface of the developed application



## Приложение В

(обязательное)

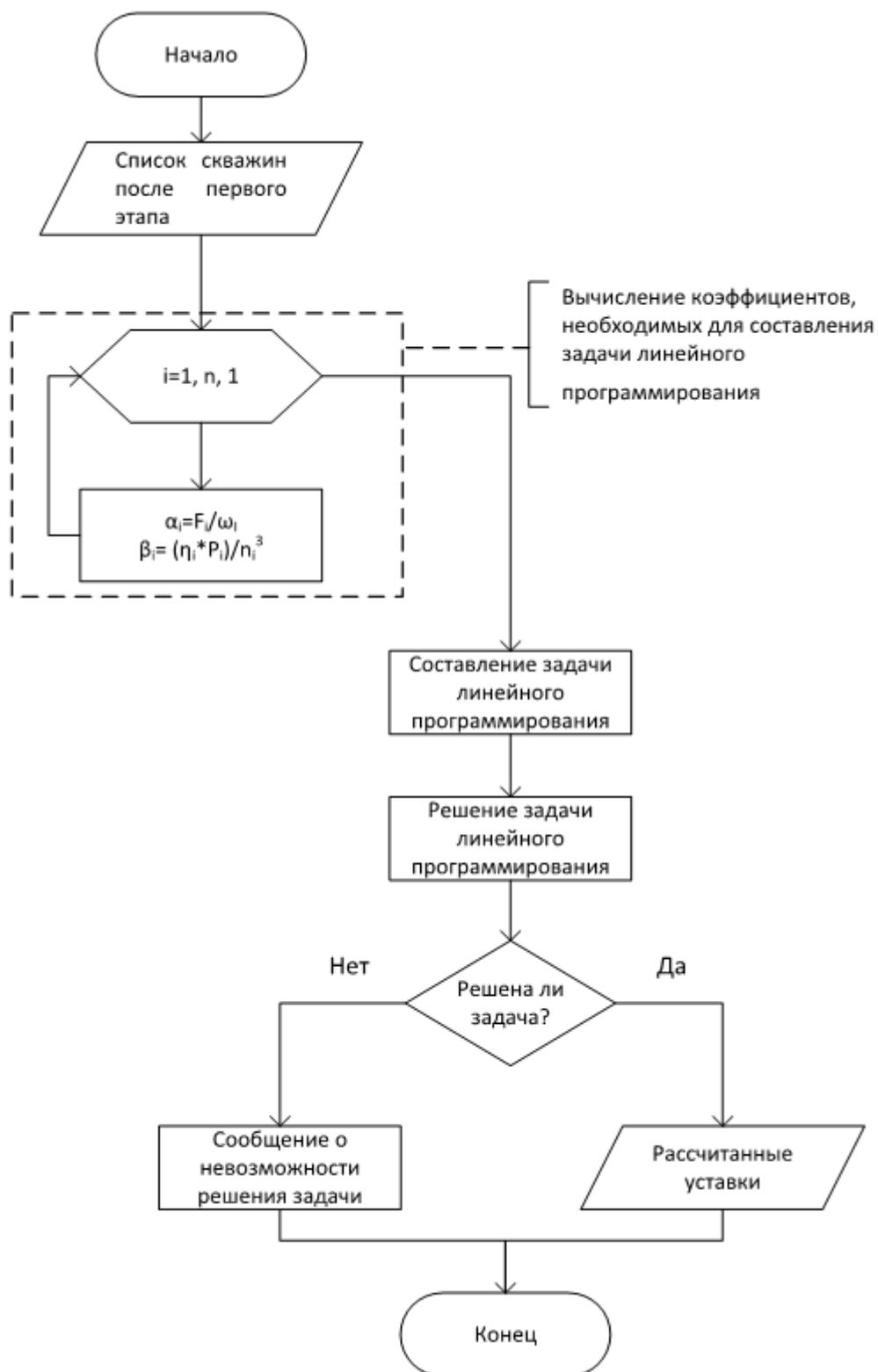
Блок-схема структурной оптимизации (первая часть алгоритма)



## Приложение Г

(обязательное)

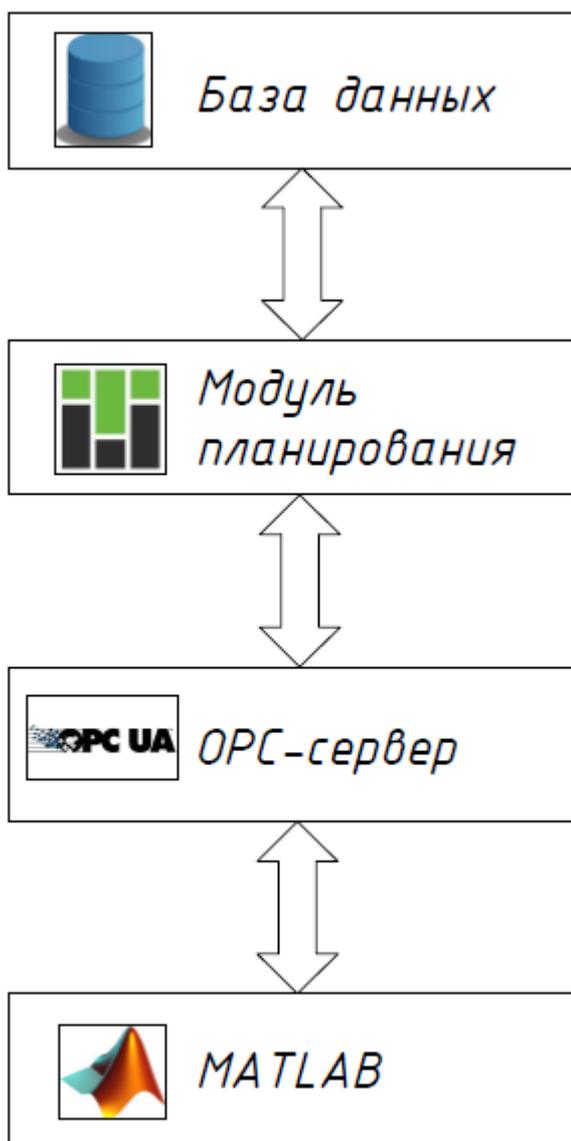
Блок-схема планирования (вторая часть алгоритма)



## Приложение Д

(обязательное)

Схема информационных потоков



## Приложение Е

### (обязательное)

### Листинг алгоритма

```
1. using System;
2. using System.Collections.Generic;
3. using System.Linq;
4. using Matlab;
5. using MathWorks.MATLAB.NET.Arrays;
6. using System.Windows.Forms;
7.
8. namespace Prototype.Control
9. {
10.     class Algorithm1
11.     {
12.         #region Переменные
13.         private List<Data> DataWells = new List<Data>(); //Перечень всех
            скважин с информацией
14.         private List<Data> NeedWells = new List<Data>(); //Перечень всех
            скважин отобранных после структурной оптимизации
15.         private double NeedVolumeFlow; //Требуемый дебит куста
16.         LinearProgrammingSolver Solver; //Экземпляр класса для решения задачи
            линейного программирования
17.         #endregion
18.
19.         #region Конструктор
20.         public Algorithm1(ref List<Data> dataWells, double needVolumeFlow,
            ref LinearProgrammingSolver solver)
21.         {
22.             this.DataWells = dataWells;
23.             this.NeedVolumeFlow = needVolumeFlow;
24.             this.Solver = solver;
25.         }
26.         #endregion
27.
28.         #region Первая часть алгоритма
29.         public void StructureOptimisation()
30.         {
31.             //Расчет коэффициента энергоэффективности
32.             foreach (var well in DataWells)
33.             {
34.                 well.energyEfficient = (well.NominalPower * 1000) /
                well.NominalVolumeFlow;
35.             }
36.             //Сортировка скважин по возрастанию коэффициента
37.             var sortedWells = DataWells.OrderBy(u =>
                u.energyEfficient).ToList();
38.             //Отбор необходимого количества
39.             int i = 0;
```

```

40.         double volumeFlowSum = 0;
41.         NeedWells.Clear();
42.         do
43.         {
44.             volumeFlowSum += sortedWells[i].NominalVolumeFlow;
45.             NeedWells.Add(sortedWells[i]);
46.             i++;
47.         }
48.         while (volumeFlowSum <= NeedVolumeFlow && i < DataWells.Count());
49.     }
50. #endregion
51.
52. #region Вторая часть алгоритма
53. public bool LinearProgrammingProblem()
54. {
55.     //Вычисление коэффициентов
56.     foreach (var well in NeedWells)
57.     {
58.         //Альфа
59.         if (well.VolumeFlow != 0 && well.rotorSpeed != 0)
60.         {
61.             well.alpha = well.VolumeFlow / well.rotorSpeed;
62.         }
63.         else
64.         {
65.             well.alpha = well.NominalVolumeFlow / well.NominalSpeed;
66.         }
67.         //Бета
68.         if (well.Current != 0 && well.Voltage != 0 && well.rotorSpeed
        != 0)
69.         {
70.             well.beta = 1.73 * well.Current * well.Voltage *
        well.EfficiencyFactor / Math.Pow(well.rotorSpeed, 3);
71.         }
72.         else
73.         {
74.             well.beta = well.NominalPower * well.EfficiencyFactor /
        Math.Pow(well.NominalSpeed, 3);
75.         }
76.     }
77.     //Подготовка массивов для решения задачи линейного
        программирования
78.     //Количество неизвестных
79.     int amount = NeedWells.Count();
80.     //Ограничения исходя из мощности
81.     double[] lb = new double[amount];
82.     double[] ub = new double[amount];
83.     int i = 0;
84.     foreach (var well in NeedWells)
85.     {

```

```

86.         lb[i] = well.NominalSpeed * 0.89;
87.         ub[i] = well.NominalSpeed * 1.03;
88.         i++;
89.     }
90.     //Ограничение по дебиту куста
91.     double[] A = new double[amount];
92.     double b = -1 * NeedVolumeFlow;
93.     i = 0;
94.     foreach (var well in NeedWells)
95.     {
96.         A[i] = -1 * well.alpha;
97.         i++;
98.     }
99.     //Целевая функция
100.    double[] f = new double[amount];
101.    i = 0;
102.    foreach (var well in NeedWells)
103.    {
104.        f[i] = 3 * well.beta * Math.Pow(well.NominalSpeed, 2) /
well.EfficiencyFactor;
105.    }
106.    //Создаем массив для хранения вычисленных значений
107.    MWNumericArray values = null;
108.    //Запускаем вычисление задачи линейного программирования
109.    MWArray[] result = Solver.Calculate(2, (MWNumericArray)f,
(MWNumericArray)A, (MWNumericArray)b, (MWNumericArray)lb,
(MWNumericArray)ub);
110.    values = (MWNumericArray)result[0];
111.    double[,] dValues = (double[,])values.ToArray();
112.    //Проверяем были ли найдены значения
113.    if (dValues.Length < 1)
114.    {
115.        MessageBox.Show("Не возможно решить задачу в данных
условиях");
116.        return false;
117.    }
118.    else
119.    {
120.        i = 0;
121.        foreach (var value in dValues)
122.        {
123.            NeedWells[i].setPoint = value;
124.            i++;
125.        }
126.        SetValues();
127.        return true;
128.    }
129.    }
130.    #endregion
131.

```

```

132.         #region Запись найденных уставок в экземпляр хранящий данные о
           скважинах
133.         private void SetValues()
134.         {
135.             bool flag;
136.             foreach (var well in DataWells)
137.             {
138.                 flag = true;
139.                 foreach (var needWell in NeedWells)
140.                 {
141.                     if (well.Name == needWell.Name)
142.                     {
143.                         well.setPoint = needWell.setPoint;
144.                         flag = false;
145.                         break;
146.                     }
147.                 }
148.                 if (flag)
149.                 {
150.                     well.setPoint = 0;
151.                 }
152.             }
153.         }
154.         #endregion
155.     }
156. }

```