

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 09.04.04 Программная инженерия
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| |
|--|
| Тема работы |
| Разработка виртуального расходомера нефти на основе алгоритмов машинного обучения |

УДК 004.946:681.121.8:665.6:004.85

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|---------------|
| 8ПМ9И | Ушаков Сергей Николаевич | | 21.06.2021 г. |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|------------|------------------------|---------|---------------|
| доцент ОИТ ИШИТР | Губин Е.И. | к.ф.-м.н. | | 21.06.2021 г. |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОСГН ШБИП | Гончарова Н.А. | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|-----------------|------------------------|---------|------|
| доцент ООД ШБИП | Антоневич О. А. | к.б.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОИТ ИШИТР | Савельев А.О. | к.т.н. | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
по направлению 09.04.04 «Программная инженерия»

| Код компетенции | Наименование компетенции |
|---|---|
| Универсальные компетенции | |
| УК(У)-1 | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий |
| УК(У)-2 | Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла |
| УК(У)-3 | Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели |
| УК(У)-4 | Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия |
| УК(У)-5 | Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия |
| УК(У)-6 | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| ОПК(У)-1 | Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественно-научные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте |
| ОПК(У)-2 | Способен разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач |
| ОПК(У)-3 | Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями |
| ОПК(У)-4 | Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований |
| ОПК(У)-5 | Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем |
| ОПК(У)-6 | Способен самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания |

| | |
|-------------------------------------|--|
| | и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности |
| ОПК(У)-7 | Способен применять при решении профессиональных задач методы и средства получения, хранения, переработки и трансляции информации посредством современных компьютерных технологий, в том числе, в глобальных компьютерных сетях |
| ОПК(У)-8 | Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов |
| Профессиональные компетенции | |
| ПК(У)-1 | Способен к созданию вариантов архитектуры программного средства |
| ПК(У)-2 | Способен разрабатывать и администрировать системы управления базам данных |
| ПК(У)-3 | Способен управлять процессами и проектами по созданию (модификации) информационных ресурсов |
| ПК(У)-4 | Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий |
| ПК(У)-5 | Способен осуществлять руководство разработкой комплексных проектов на всех стадиях и этапах выполнения работ |

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 09.04.04 Программная инженерия
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Савельев А.О.
 (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 |
|--------|----------------------------|
| 8ПМ9И | Ушакову Сергею Николаевичу |

Тема работы:

| | |
|---|------------------------|
| Разработка виртуального расходомера нефти на основе алгоритмов машинного обучения | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 40-5/с от 09.02.2021 |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 15.06.2021 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| <p>Исходные данные к работе</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 алгоритм прогноза дебита скважины</p> |
|---|---|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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"> 1. Обзор предметной области. 2. Описание исходных данных. 3. Описание проблемы исследования. 4. Подготовка данных. 5. Обучение модели. 6. Работа над разделом по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. 7. Работа над разделом по социальной ответственности. 8. Работа над разделом на английском языке. |
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Скриншоты исходных данных. 2. Скриншоты готовых данных. 3. Скриншот обученной модели. 4. Скриншот архитектуры модели 5. Матрица SWOT 6. Диаграмма Ганта. |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> | |
| <p>Раздел</p> | <p>Консультант</p> |
| <p>Основная часть</p> | <p>Доцент ОИТ ИШИТР, к.ф.-м.н., доцент Губин Е.И.</p> |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> | <p>Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., доцент Гончарова Н.А.</p> |
| <p>Социальная ответственность</p> | <p>Доцент ООД ШБИП, к.б.н., доцент Антоневиц О.А.</p> |
| <p>Английский язык</p> | <p>Доцент ОИЯ, к.п.н., доцент Сидоренко Т.В.</p> |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | |
| <p>Раздел 1 The technical overview</p> | |
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | <p>1.03.2021</p> |

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|------------------------|---------|-----------|
| доцент ОИТ ИШИТР | Губин Е.И. | к.ф.-м.н., доцент | | 1.03.2021 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|-----------|
| 8ПМ9И | Ушаков Сергей Николаевич | | 1.03.2021 |

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 09.04.04 Программная инженерия
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий
 Период выполнения весенний семестр 2020 /2021 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: | 15.06.2021 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 01.06.2021 | Основная часть | 70 |
| 01.06.2021 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 10 |
| 01.06.2021 | Социальная ответственность | 10 |
| 01.06.2021 | Английский язык | 10 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОИТ ИШИТР | Губин Е. И. | к.ф.-м.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| доцент ОИТ ИШИТР | Савельев А. О. | к.т.н. | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8ПМ9И | Ушакову Сергею Николаевичу |

| | | | |
|---------------------|--------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Школа | ИШИТР | Отделение школы (НОЦ) | ОИТ |
| Уровень образования | Магистр | Направление/специальность | 09.04.04 Программная инженерия |

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

| | |
|--|--|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Стоимость материальных ресурсов определялась согласно прейскурантам компаний Оклад руководителя - 13720 р. Оклад инженера - 31845 р. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | Накладные расходы - 9,92% Районный коэффициент 30%; |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Отчисления на уплату во внебюджетные фонды 18,61% |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, оценка качества и перспективности проекта по технологии QuaD, SWOT-анализ |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | Инициация проекта: определение заинтересованных сторон проекта, целей и результатов проекта |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | План проекта, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения научного исследования, расчет бюджета разработки |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | Описание потенциального эффекта |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта для QuaD-анализа разработки*
2. *Иерархическая структура работ проекта*
3. *Диаграмма Ганта*
4. *Матрица SWOT*
5. *График проведения и бюджет НТИ*
6. *Бюджет затрат*
7. *Потенциальные риски*

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 22.02.2021 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| доцент | Гончарова Наталья Александровна | К.Э.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|--------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 8ПМ9И | Ушаков Сергей Николаевич | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8ПМ9И | Ушакову Сергею Николаевичу |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Школа | | Отделение (НОЦ) | |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 09.04.04 «Программная инженерия» |

Тема ВКР:

| | |
|--|--|
| Разработка виртуального расходомера нефти на основе алгоритмов машинного обучения | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | <p>Объект исследования: алгоритм прогноза дебита скважины</p> <p>Область применения: производство по добыче нефти</p> <p>Рабочая зона: рабочий стол и персональный компьютер</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. Федеральный закон "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ</p> |
| <p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p> | <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума; - отклонение параметров микроклимата; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - умственное перенапряжение; - перенапряжение зрительного анализатора; - статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой |
| <p>3. Экологическая безопасность:</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Атмосфера и гидросфера: отсутствует; – Литосфера: при утилизации люминесцентных ламп и оргтехники |
| <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> | <p>Возможная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> - пожар. |

| | |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2021 |
|--|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|---------------------------|---------|------|
| доцент | Антоневич О.А. | к.б.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8ПМ9И | Ушаков Сергей Николаевич | | |

Реферат

Работа содержит пояснительную записку на 85 листах, содержит 18 таблиц, 14 рисунков, 3 приложения, 27 источников.

Ключевые слова: алгоритм, обучающая выборка, тестовая выборка, временные ряды, скважина.

Цель данной работы - разработка алгоритма на основе модели машинного обучения для предсказания суточного дебита нефтяных и газовых скважин. Работа предполагает подготовку данных, снятых со станции управления (СУ) и автоматической групповой замерной установки (АГЗУ). Это делается с целью применения алгоритмов машинного обучения для предсказания дебита нефти. Результаты данной работы могут быть востребованы для специалистов нефтегазовой отрасли, так как предполагается, что разрабатываемый в работе алгоритм будет способен хотя бы временно заменить АГЗУ на время ремонта, а в лучшем случае полностью исключить ее необходимость.

Содержание

| | |
|---|----|
| Список терминов и сокращений | 14 |
| Введение | 16 |
| 1 Устройство системы добычи нефти и газа | 17 |
| 2 Подготовка данных и обучение модели | 19 |
| 2.1 Описание исходных данных и проблемы исследования | 19 |
| 2.2 Подготовка данных | 21 |
| 2.3 Обучение модели для прогноза | 27 |
| 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 31 |
| 3.1 Предпроектный анализ | 31 |
| 3.1.1 Потенциальные потребители разработки | 31 |
| 3.1.2 Технология QuaD | 31 |
| 3.1.3 SWOT-анализ | 32 |
| 3.1.4 Оценка готовности разработки к коммерциализации | 34 |
| 3.2 Инициация разработки | 35 |
| 3.3 Планирование управления разработкой | 37 |
| 3.3.1 Иерархическая структура работ | 37 |
| 3.3.2 План разработки | 38 |
| 3.3.2.1 Разработка графика проведения разработки | 40 |
| 3.3.3 Бюджет разработки | 41 |
| 3.3.3.1 Материальные расходы | 41 |
| 3.3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы | 41 |
| 3.3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы | 43 |
| 3.3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды | 44 |
| 3.3.3.5 Накладные расходы | 44 |
| 3.3.3.5 Формирование бюджета затрат на разработку | 45 |
| 3.3.4 Риски разработки | 45 |
| 3.4 Экономическая эффективность | 46 |
| 3.5 Выводы по разделу | 47 |
| 4 Социальная ответственность | 48 |
| 4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 48 |
| 4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства | 48 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.1.2 | Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 48 |
| 4.2 | Производственная безопасность | 49 |
| 4.2.1 | Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте | 50 |
| 4.2.1.1 | Повышенный уровень шума..... | 50 |
| 4.2.1.2 | Умственное перенапряжение | 52 |
| 4.2.1.3 | Недостаточная освещенность рабочей зоны | 53 |
| 4.2.1.4 | Повышенное значение напряжения в электрической цепи..... | 56 |
| 4.2.1.5 | Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой..... | 58 |
| 4.2.1.6 | Перенапряжение зрительного анализатора | 59 |
| 4.2.1.7 | Отклонение параметров микроклимата | 60 |
| 4.2.3 | Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов..... | 61 |
| 4.3 | Экологическая безопасность | 62 |
| 4.3.1 | Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду..... | 62 |
| 4.3.2 | Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду..... | 62 |
| 4.3.3 | Обоснование мероприятий по защите окружающей среды | 63 |
| 4.4 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 63 |
| 4.4.1 | Анализ возможных ЧС, которые может инициировать объект исследования..... | 64 |
| 4.4.2 | Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований | 64 |
| 4.4.3 | Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС | 64 |
| 4.5 | Выводы по разделу | 65 |
| | Заключение..... | 67 |
| | Список публикаций и научных достижений | 68 |
| | Список использованных источников..... | 70 |
| | Приложение А..... | 73 |
| | Приложение Б | 82 |
| | Приложение В..... | 85 |

Список терминов и сокращений

1. АГЗУ - автоматизированные групповые замерные установки, используемые для суточных измерений параметров нефтегазовой скважины.
2. СУ - станция управления, делающая замеры параметров нефтегазовой скважины каждые 10 - 12 секунд.
3. Файл CSV (Comma Separated Values) - разновидность файлов Excel-формата, использующая в качестве разделителей запятые и предназначенная для табличного отображения данных.
4. Python - высокоуровневый язык программирования, дающий возможность использования объектно-ориентированного и функционального подходов программирования.
5. Дебит скважины - объем нефтегазовой продукции, поступающий из источника за некоторую единицу времени.
6. Модель LSTM (Long Short Term Memory) - одна из моделей машинного обучения, исключаящая долговременную зависимость. Ключевая особенность: ориентированность на работу с временными рядами.
7. Машинное обучение (ML) - разновидность искусственного интеллекта, изучающая методы построения математических алгоритмов и моделей, способных к обучению путем подбора необходимых коэффициентов и зависимостей.
8. Средняя квадратичная ошибка (MSE) - метод оценки модели машинного обучения, выражающаяся в ошибке результатов модели, которая рассчитывается как среднее значение суммы квадратов разности между предсказанным значением и исходным.
9. Обучающая выборка - фиксированный набор данных, который используется для обучения модели.
10. Тестовая выборка - набор данных, используемый для тестирования обученной модели.

11. Pandas - Python-библиотека для анализа и обработки данных в табличном формате.

12. NumPy - библиотека языка Python для работы с данными как с одномерными и многомерными массивами.

13. Ключевые признаки (KF) - характеристики, данные которых используются при обучении модели машинного обучения.

14. Временные ряды (TS) - данные, собранные в некотором интервале времени, отображающие статистику исследуемого процесса.

15. Эпоха модели - один полный цикл обучения модели на тренировочном наборе данных.

Введение

В настоящее время в нефтегазовой отрасли становится актуальным метод виртуального измерения дебита скважин для оценки расхода многофазовых потоков в системах добычи нефти и газа, так как одной из распространенных проблем нефтегазовой промышленности в современных условиях, является выход из строя АГЗУ в промысловых условиях. Это ставит перед специалистами проблему контроля работы множества скважин. Возможность виртуального измерения дебита нефтегазовых скважин - многообещающий подход к оценке расхода благодаря его низкой стоимости, возможности мониторинга в реальном времени и простой интеграции с другими программными решениями.

Целью данной работы является разработка алгоритма на основе модели машинного обучения для предсказания суточного дебита нефтяных и газовых скважин.

Для достижения цели работы были сформулированы ряд следующих задач:

1. Анализ предоставленных данных
2. Создание гипотезы
3. Подготовка данных
4. Обучение модели нейронной сети.

1 Устройство системы добычи нефти и газа

Система добычи нефти и газа обычно состоит из ряда скважин, которые соединены с выкидной линией, по которой добываемая текучая среда от устьев скважин поступает к входному сепаратору технологической установки. Если месторождение подводное, выкидной трубопровод соединяется с входным сепаратором через стояк. Расход добываемой жидкости регулируется дроссельными клапанами, установленными на устье скважины. Схематическое изображение типичной системы подводной добычи показано на рисунке 1.

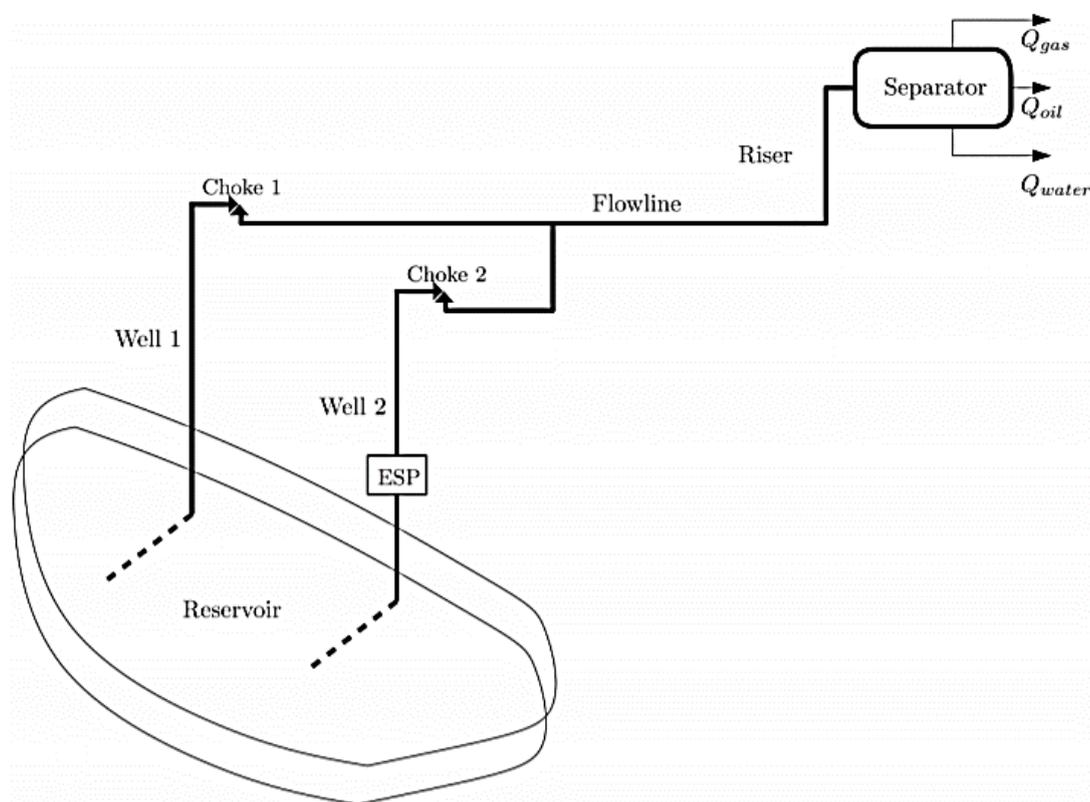


Рисунок 1 - Схематическое изображение типичной подводной системы добычи нефти и газа

В подавляющем большинстве случаев добывающее месторождение состоит из большого количества скважин. Обычно добываемый флюид представляет собой многофазную смесь нефти, газа, воды и твердых частиц,

таких как песок или асфальтены. Эта смесь разделяется на отдельные фазы во входном сепараторе и далее обрабатывается на технологическом предприятии.

Для экономической эксплуатации производственных систем важно знать расход нефти, газа и воды из каждой скважины. Это позволяет операторам принимать важные решения по оптимизации добычи, распределению дебитов, управлению резервуаром и прогнозировать будущие характеристики месторождения.

На раннем этапе развития отрасли основным методом оценки дебитов скважин было испытание скважин.

Для испытательных сепараторов требуется отдельный отводной трубопровод, чтобы каждую скважину можно было направить к испытательному сепаратору и протестировать без остановки всего месторождения. В качестве альтернативы расход можно оценить с помощью входного сепаратора. В этом случае возможны два варианта. Первый вариант - закрыть все скважины, кроме тестируемой, чтобы можно было оценить дебиты этой скважины. Этот вариант связан с большими производственными потерями и часто экономически нежелателен. Другая возможность - закрыть интересующую скважину, измерить расход добывающих скважин в условиях сепаратора, а затем рассчитать обратный расход закрытой скважины. Это делается путем вычитания полученных дебитов из записанных до испытания скважины. Этот метод называется дедуктивным тестированием скважины.

2 Подготовка данных и обучение модели

В данной главе описываются исходные данные, которые будут использоваться для анализа, проблема, стоящая в основе исследования, процесс подготовки данных, а также обучение модели машинного обучения с учителем для прогноза дебита нефтегазовой скважины.

2.1 Описание исходных данных и проблемы исследования

В качестве исходных данных выступают замеры СУ и АГЗУ. Станция управления считывает параметры работы оборудования и других параметров скважины считываемых датчиками. Большинство параметров имеют разную природу. Так же многие датчики имеют разный принцип работы и записи данных. Так некоторые делают записи лишь при непосредственном срабатывании, а другие делают записи непрерывно.

Из скважины нефть поступает в автоматическую замерную установку, к которой подключено еще несколько скважин. Замер дебита АГЗУ для каждой скважины производится поочередно, что очевидно вносит погрешность в измерения. Концептуальная схема системы добычи нефти изображена на рисунке 2.

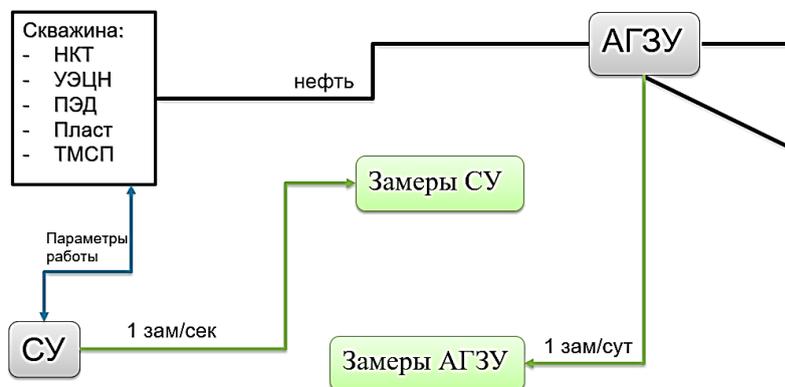


Рисунок 2 - Концептуальная схема системы добычи нефти

Исходные данные выступают в качестве двух файлов CSV:

1. Файл с данными с АГЗУ, которые измеряются раз в сутки.
2. Файл с данными с СУ, которые измеряются каждые 10-12 секунд.

На рисунках 3 и 4 представлено содержимое файлов данных АГЗУ и СУ соответственно.

| | MEASDATE | ID | WELL_ID | MEASDATE.1 | ACURR | ABVOL | POWERFACTOR | LOADFACTOR | ESPWINDINGSRESISTANCE | OUTFREQ |
|--------|------------------------|-----------|------------|------------------------|-------|-------|-------------|------------|-----------------------|---------|
| 0 | 2020-06-22 15:22:28 | 175973454 | 8020262100 | 2020-06-22 15:22:28 | NaN | NaN | NaN | 60.0 | NaN | NaN |
| 1 | 2020-06-22 15:22:29 | 175973455 | 8020262100 | 2020-06-22 15:22:29 | NaN | NaN | NaN | 60.0 | NaN | NaN |
| 2 | 2020-06-22 15:22:40 | 175973456 | 8020262100 | 2020-06-22 15:22:40 | NaN | NaN | NaN | 60.0 | NaN | NaN |
| 3 | 2020-06-22 15:22:41 | 175973457 | 8020262100 | 2020-06-22 15:22:41 | NaN | NaN | NaN | 60.0 | NaN | NaN |
| 4 | 2020-06-22 15:22:52 | 175973458 | 8020262100 | 2020-06-22 15:22:52 | NaN | NaN | NaN | 60.0 | NaN | NaN |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 614717 | 2021-01-18 01:33:53 | 645466652 | 8020262100 | 2021-01-18 01:33:53 | 21.5 | 383.0 | 0.63 | 60.0 | 9999.0 | 60.0 |
| 614718 | 2021-01-18 01:34:06 | 645466653 | 8020262100 | 2021-01-18 01:34:06 | 21.0 | 383.0 | 0.63 | 59.0 | 9999.0 | 60.0 |
| 614719 | 2021-01-18 01:34:19 | 645466654 | 8020262100 | 2021-01-18 01:34:19 | 21.0 | 383.0 | 0.63 | 59.0 | 9999.0 | 60.0 |
| 614720 | 2021-01-18 01:34:31 | 645466655 | 8020262100 | 2021-01-18 01:34:31 | 21.0 | 383.0 | 0.63 | 60.0 | 9999.0 | 60.0 |
| 614721 | 2021-01-18 01:34:32 | 645466656 | 8020262100 | 2021-01-18 01:34:32 | 21.0 | 383.0 | 0.63 | 60.0 | 9999.0 | 60.0 |

Рисунок 3 - Замеры СУ

| | ID | WELL_ID | MEASDATE | PLANDURATION | FACTDURATION | FLOWRATE | GASFLOWRATE | GZUMEASPRESSURE |
|-----|-----------|------------|---------------------|--------------|--------------|----------|-------------|-----------------|
| 0 | 178727071 | 8020262100 | 2020-06-24 07:18:32 | 360 | 360 | 35 | 251.0 | 13.785 |
| 1 | 181164696 | 8020262100 | 2020-06-25 18:31:36 | 360 | 360 | 34 | 316.0 | 13.625 |
| 2 | 182242207 | 8020262100 | 2020-06-27 05:44:44 | 360 | 360 | 34 | 332.0 | 13.370 |
| 3 | 182242468 | 8020262100 | 2020-06-28 16:57:47 | 360 | 360 | 35 | 323.0 | 13.620 |
| 4 | 182242747 | 8020262100 | 2020-06-30 04:10:51 | 360 | 360 | 35 | 324.0 | 13.795 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 170 | 623311016 | 8020262100 | 2021-01-10 19:48:29 | 240 | 240 | 39 | 289.0 | 13.705 |
| 171 | 627444619 | 8020262100 | 2021-01-12 03:00:38 | 240 | 240 | 39 | 315.0 | 13.675 |
| 172 | 631341265 | 8020262100 | 2021-01-13 10:12:36 | 240 | 240 | 40 | 339.0 | 13.075 |
| 173 | 637205844 | 8020262100 | 2021-01-15 08:41:17 | 240 | 125 | 39 | 266.0 | 13.385 |
| 174 | 640414443 | 8020262100 | 2021-01-16 09:45:49 | 240 | 240 | 39 | 273.0 | 13.820 |

Рисунок 4 - Замеры АГЗУ

2.2 Подготовка данных

Для подготовки данных необходимо определиться с набором ключевых признаков. На рисунке 5 представлен полный набор всех признаков, которые были предоставлены для исследования.

| | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| MEASDATE | Дата окончания замера |
| PLANDURATION | Планируемая продолжительность замера |
| FACTDURATION | Фактическая продолжительность замера |
| FLOWRATE | Объемный дебит жидкости, м3/сут |
| GASFLOWRATE | Объемный дебит газа, м3/сут |
| GZUMEASPRESSURE | Давление в коллекторе ГЗУ при замерах |
| MEASDATE (2) | Дата замера |
| ACURR | Ток фазы А |
| ABVOL | Напряжение между фазами АВ |
| POWERFACTOR | Коэффициент мощности |
| LOADFACTOR | Коэффициент загрузки |
| ESPWINDINGSRESISTANCE | Сопротивление изоляции обмотки ЭЦН |
| OUTFREQ | Выходная частота |
| PUMPINTAKEPRESSURE | Давление на приеме насоса |
| ENGINETEMPERATURE | Температура двигателя |
| LINEPRESSURE | Линейное давление |
| BSIUPLOAD_ID | Идентификатор БСИ |
| MOUTHPRESSURE | Устьевое давление |
| ANNULUSPRESSURE | Затрубное давление |
| BCURR | Ток фазы В |
| CCURR | Ток фазы С |
| BCVOL | Напряжение между фазами ВС |
| CAVOL | Напряжение между фазами СА |
| VOLUNBALANCE | Дисбаланс напряжений |
| CURRUNBALANCE | Дисбаланс токов |
| WORKINGFREQ | Рабочая частота |
| OUTCURR | Выходной ток |
| OUTVOL | Выходное напряжение |
| FLUIDTEMPERATURE | Температура пластовой жидкости |
| XAXISVIBRATION | Вибрация ЭЦН по оси X |
| YAXISVIBRATION | Вибрация ЭЦН по оси Y |
| APPARENTPOWER | Полная мощность |
| TMPNVOL | Напряжение ТМПН |
| ACTIVEPOWER | Активная мощность |
| DYNAMICLEVEL | Динамический уровень |

Рисунок 5 - Полный набор признаков

Исходя из знаний предметной области, в качестве ключевых признаков было решено использовать следующие параметры замеров СУ:

- коэффициент мощности насоса;
- коэффициент нагрузки;
- выходная частота;
- давление на приеме насоса;
- затрубное давление;
- рабочая частота насоса.

Следующий код на языке Python отвечает за формирование нового датасета на основе выбранных ключевых признаков данных СУ:

```
data = pd.read_csv('2621/TM_2621_FULL_TRAINTEST.csv',index_col=0 )
data['MEASDATE'] = pd.to_datetime(data['MEASDATE'])
new_data=data[['MEASDATE','POWERFACTOR','WORKINGFREQ',
              'LOADFACTOR',
              'OUTFREQ','PUMPINTAKEPRESSURE',
              'LINEPRESSURE','ANNULUSPRESSURE']]
```

Затем необходимо масштабировать данные таким образом, чтобы они лежали в одном диапазоне, так как это очень важно при загрузке в нейронную сеть. Следующий код на Python отвечает за масштабирование данных:

```
from sklearn import preprocessing
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['POWERFACTOR']] = scaler.fit_transform(new_data[['POWERFACTOR']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['WORKINGFREQ']] = scaler.fit_transform(new_data[['WORKINGFREQ']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['OUTFREQ']] = scaler.fit_transform(new_data[['OUTFREQ']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['PUMPINTAKEPRESSURE']] =
scaler.fit_transform(new_data[['PUMPINTAKEPRESSURE']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['LINEPRESSURE']] = scaler.fit_transform(new_data[['LINEPRESSURE']])
```

```

scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['ANNULUSPRESSURE']] = scaler.fit_transform(new_data[['ANNULUSPRESSURE']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['LOADFACTOR']] = scaler.fit_transform(new_data[['LOADFACTOR']])
new_data=new_data.reset_index(drop=True)

```

Для обучения модели необходимо, чтобы все данные были представлены числовой форме. Однако значения параметра MEASDATE (дата замера), которая в дальнейшем будет использована для формирования временных рядов, представлены в формате даты и времени. Для того, чтобы заменить MEASDATE на TIME и преобразовать этот параметр в числовой формат, был написан следующий код на языке Python:

```

new_data['MEASDATE']=pd.to_datetime(new_data['MEASDATE'])
new_data['TIME'] = new_data[['MEASDATE']].apply(lambda x: x[0].timestamp(), axis=1)
.astype(int)
new_data=new_data.drop(columns=['MEASDATE'])
new_data=new_data.reset_index(drop=True)

```

Для формирования временных рядов необходимо в замерах АГЗУ сформировать датасет с суточным значением дебита и временем:

```

data['MEASDATE']=pd.to_datetime(data['MEASDATE'])
data['ts'] = data[['MEASDATE']].apply(lambda x: x[0].timestamp(), axis=1).astype(int)
data['ts'].diff().round(decimals=-4).value_counts()
new_data=data.drop(columns=['MEASDATE']).rename(columns={'ts':'TIME'})

```

Готовый датасет с замерами АГЗУ (суточный дебит и время) представлен на рисунке 6.

| | FLOWRATE | TIME |
|-----|----------|------------|
| 0 | 35 | 1592983112 |
| 1 | 34 | 1593109896 |
| 2 | 34 | 1593236684 |
| 3 | 35 | 1593363467 |
| 4 | 35 | 1593490251 |
| ... | ... | ... |
| 170 | 39 | 1610308109 |
| 171 | 39 | 1610420438 |
| 172 | 40 | 1610532756 |
| 173 | 39 | 1610700077 |
| 174 | 39 | 1610790349 |

175 rows × 2 columns

Рисунок 6 - Готовый датасет с замерами АГЗУ

Для формирования временных рядов, которые будут подаваться в модель, необходимо разбить время из замеров АГЗУ на интервалы по 10 минут (600 секунд) и, согласно этим интервалам выбрать ближайшие значения из замеров СУ. Для поиска ближайших значений была написана следующая функция на языке Python:

```
def find_nearest(array, value):
    array = np.asarray(array)
    idx = (np.abs(array - value)).argmin()
    return array[idx]
```

Данные для готового массива будут формироваться с помощью скользящего среднего по всем 10-минуткам с длиной окна равной 2. Для этой цели была написана следующая функция на Python:

```
def moving_average(x, w):
    return np.convolve(x, np.ones(w), 'valid') / w
```

Следующий код на Python отвечает за формирование временных рядов на основе поиска ближайших значений и применения написанной ранее функции ближайшего среднего :

```
start = flowrate['TIME'] - (24*60*60)
stop = flowrate['TIME']
time=new_data['TIME']
arr = np.array([])
arr_2 = np.array([])
l=[]
count=0
a = list(range(175))
for i in a:
    rang = np.arange(start[i],stop[i]+1,600)
    a = np.array([])
    b = np.array([])
    c = np.array([])
    d = np.array([])
    e = np.array([])
    f = np.array([])
    g = np.array([])
    h = np.array([])
    for j in rang:
        near = find_nearest(new_data['TIME'].to_numpy(),j)
        values = new_data.query('TIME == @near').to_numpy()
        if values.size==0:
            continue
        a=np.insert(a,b.size,values[0][0])
        print (a.shape)
        b=np.insert(b,b.size,values[0][1])
        c=np.insert(c,c.size,values[0][2])
```

```

d=np.insert(d,d.size,values[0][3])
e=np.insert(e,e.size,values[0][4])
g=np.insert(g,g.size,values[0][6])
arr=np.array([moving_average(a,2),moving_average(b,2),moving_average(c,2),moving_average(
d,2),moving_average(e,2),
moving_average(g,2)])
#arr_2=np.append(arr_2,)
l.append(arr)
arr_2=np.asarray(l)

```

В результате подготовки данных был сформирован трехмерный массив с замерами, лежащими друг от друга в интервале 10 минут. Часть данного массива с временными рядами замеров представлена на рисунке 7.

```

array([[ [ 61.61616162, 62.12121212, 62.62626263, ..., 0.          ,
          31.31313131, 62.62626263],
        [ 95.75      , 96.20833333, 48.33333333, ..., 46.93333333,
          94.88333333, 95.9          ],
        [ 73.17073171, 73.7804878 , 37.19512195, ..., 34.75609756,
          70.73170732, 71.95121951],
        [ 95.75      , 96.20833333, 48.33333333, ..., 46.93333333,
          94.88333333, 95.9          ],
        [ 0.92039498, 0.49981714, 0.61562843, ..., 2.18212849,
          2.12727051, 1.58478605],
        [ 91.67802922, 91.78034845, 92.22373177, ..., 96.04364966,
          96.04364966, 95.32741505]],

       [[ 62.62626263, 31.31313131, 0.          , ..., 62.62626263,
          61.61616162, 61.61616162],
        [ 96.66666667, 48.33333333, 47.95      , ..., 95.81666667,
          95.81666667, 96.24166667],
        [ 73.7804878 , 36.58536585, 36.58536585, ..., 71.34146341,
          70.12195122, 71.34146341],
        [ 96.66666667, 48.33333333, 47.95      , ..., 95.81666667,
          95.81666667, 96.24166667],
        [ 1.28001951, 1.63964403, 2.30403511, ..., 2.72461295,
          2.36498842, 2.06022187],
        [ 91.74624204, 92.05319972, 91.54160358, ..., 90.45019847,
          90.45019847, 91.03000743]],

       [[ 62.62626263, 62.62626263, 62.12121212, ..., 31.31313131,
          62.62626263, 62.62626263],
        [ 4.80833333, 52.76666667, 95.91666667, ..., 95.73333333,
          -----

```

Рисунок 7 - Готовый трехмерный массив с временными рядами

2.3 Обучение модели для прогноза

Для обучения модели был применен метод машинного обучения с учителем, где в качестве учителя служат данные с суточными замерами дебита. Для подачи данных в модель их необходимо разбить на обучающую (75%) и тестовую (25%) выборки:

```
y=flowrate['FLOWRATE'].to_numpy()
x_train, y_train = arr_2[0:125], y[0:125]
x_test, y_test = arr_2[125:], y[125:]
```

Тренировочная и тестовая выборка показаны на рисунках 8 и 9.

```
Y_train: [35 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 35 36
36 36 35 35 35 36 36 35 36 36 36 37 37 36 37 36 36 36 36 36 35 36 31 53
51 48 54 53 54 52 52 51 51 48 40 40 43 41 37 37 36 36 36 36 36 35 36 36
36 35 36 36 36 36 36 36 35 31 38 48 45 45 43 43 41 42 41 41 41 40 41 41
40 41 41 41 41 41 41 41 41 41 41 40 40 41 41 40 41 41 40 40 40 41 40 40
40 40 40 40 40]
```

```
X_train: [[[ 61.61616162  62.12121212  62.62626263 ...  0.          31.31313131
62.62626263]
[ 95.75          96.20833333  48.33333333 ...  46.93333333  94.88333333
95.9          ]
[ 73.17073171  73.7804878   37.19512195 ...  34.75609756  70.73170732
71.95121951]
[ 95.75          96.20833333  48.33333333 ...  46.93333333  94.88333333
95.9          ]
[  0.92039498  0.49981714  0.61562843 ...  2.18212849  2.12727051
1.58478605]
[ 91.67802922  91.78034845  92.22373177 ...  96.04364966  96.04364966
95.32741505]]
```

```
[[[ 62.62626263  31.31313131  0.          ...  62.62626263  61.61616162
61.61616162]
[ 96.66666667  48.33333333  47.95          ...  95.81666667  95.81666667
96.24166667]
[ 73.7804878   36.58536585  36.58536585 ...  71.34146341  70.12195122
71.34146341]
[ 96.66666667  48.33333333  47.95          ...  95.81666667  95.81666667
96.24166667]
[  1.28001951  1.63964403  2.30403511 ...  2.72461295  2.36498842
2.06022187]
[ 91.74624204  92.05319972  91.54160358 ...  90.45019847  90.45019847
91.03000743]]
```

Рисунок 8 - Тренировочная выборка

```

Y_test: [40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 39 40 40
40 40 40 40 35 37 37 36 36 36 41 41 40 40 40 39 40 40 40 39 40 39 39 40
39 39]

```

```

X_test: [[[ 63.63636364  63.63636364  63.63636364 ...  64.64646465  64.64646465
64.64646465]
[100.          100.          100.          ... 100.          100.
100.          ]
[ 70.73170732  71.95121951  72.56097561 ...  71.95121951  72.56097561
72.56097561]
[100.          100.          100.          ... 100.          100.
100.          ]
[ 16.43910764  16.43910764  16.38424966 ...  16.61587224  16.61587224
16.61587224]
[ 61.05047333  60.84583487  60.64119641 ...  57.02591698  57.02591698
57.0941298 ]]

[[[ 62.62626263  62.62626263  63.13131313 ...  64.64646465  63.63636364
63.63636364]
[100.          100.          100.          ... 100.          100.
100.          ]
[ 71.95121951  72.56097561  73.17073171 ...  72.56097561  71.34146341
73.7804878 ]]
[100.          100.          100.          ... 100.          100.
100.          ]
[ 16.32329635  16.37815433  16.55491893 ...  16.67682555  16.55491893
16.43910764]
[ 53.17189269  53.47885038  53.13778628 ...  61.86902716  61.73260152
61.35743101]]]

```

Рисунок 9 - Тестовая выборка

В качестве модели машинного обучения использовалась LSTM нейронная сеть, так как ключевая особенность этой модели заключается в ориентированности на работу с временными рядами и трехмерными массивами. Архитектура используемой модели представлена на рисунке 10.

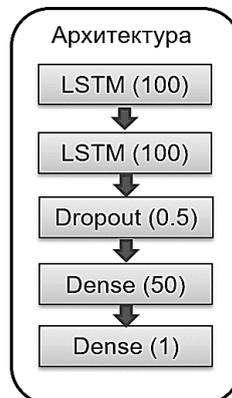


Рисунок 10 - Архитектура используемой LSTM-модели

Обучение модели велось в 1000 эпох. Следующий код на Python отвечает за настройку параметров LSTM-модели и ее обучение:

```
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Input, Dense, Dropout, LSTM, Conv1D, MaxPooling1D,
GlobalAveragePooling1D, Flatten, Concatenate
from tensorflow.keras.models import Model
from tensorflow.keras import backend as K
from tensorflow.keras import utils
from tensorflow.keras.metrics import BinaryAccuracy
model = Sequential()
model.add(LSTM(100,return_sequences=True,input_shape=(x_train.shape[1],x_train.shape[2])))
model.add(LSTM(100,return_sequences = False))
model.add(Dropout(0.5))
model.add(Dense(50))
model.add(Dense(1))
model.compile(optimizer='adam',loss = 'mean_squared_error')
callbacks = [
keras.callbacks.ModelCheckpoint(
"LSTM_reg.h5",save_best_only=True, monitor="val_loss"),keras.callbacks.ReduceLROnPlateau(
monitor="val_loss", factor=0.5, patience=20, min_lr=0.0001),]
model.fit(x_train, y_train, batch_size = 1, epochs = 1000, callbacks=callbacks,
validation_split=0.2)
```

Результаты обучения модели представлены на рисунке 11 (желтая линия - реальные данные тренировочной выборки, синяя линия - предсказания на основе тренировочных данных, красная линия - данные тестовой выборки, зеленая линия - предсказания на основе тестовой выборки).

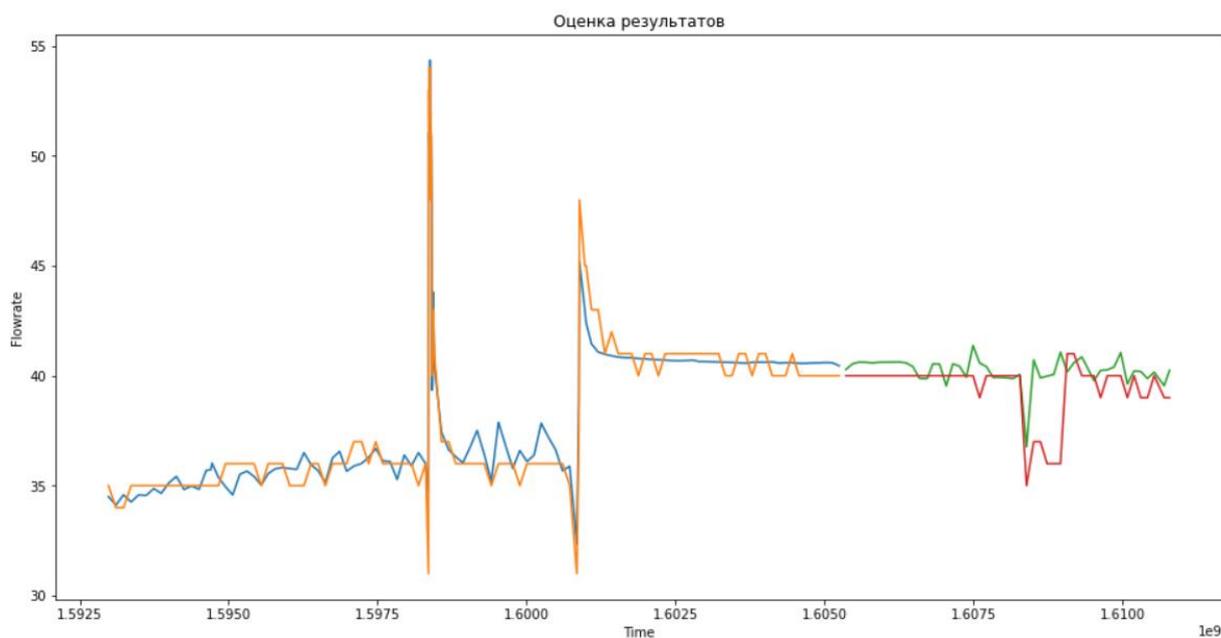


Рисунок 11 - Результаты обучения LSTM-модели нейронной сети

Среднеквадратичная ошибка модели на обучающем прогнозе равна 2 м^3 , что составляет 5%, а среднеквадратичная ошибка на тестовом прогнозе составила 5 м^3 , что равно 13 %.

Ошибки модели объясняются следующими факторами:

- недостаточное количество данных (175 замеров, некоторые из которых были удалены по причине отсутствующих и некорректных значений);
- в данных читается две фазы (вероятно до проведения на скважине мероприятий по интенсификации притока нефти и после). При этом в обучающую выборку попадает преимущественно первая фаза, а в тестовую только вторая;
- в данных отсутствуют сведения по проводимым на скважине мероприятиям, способным повлиять на дебит;
- данные учитывают только технические параметры скважины, но не геологические.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители разработки

Диссертация посвящена разработке виртуального расходомера для прогноза дебита нефтегазовой скважины на основе данных замеров, снятых со станции управления (СУ) и с помощью автоматизированных групповых замерных установок (АГЗУ).

Потенциальным потребителем является компания OIS, которая занимается автоматизацией добычи нефтегазовых месторождений.

Актуальность данного раздела заключается в важности понимания коммерческой составляющей научно-технических проектов и оценки коммерческой ценности разработки.

Целью данного раздела является анализ совокупности факторов, которые определяют коммерческую привлекательность разработки, ее перспективность и успешность.

Основными задачами является оценка перспективности разработки, ее готовности к коммерциализации, выявление потенциальных угроз, а также расчет стоимости и составление графика проведения работ.

3.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD позволяет оценить перспективность разработки на рынке и целесообразность вложения средств в научно-исследовательский проект. Результаты оценки, проведенной в табличной форме, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – QuaD-анализ разработки

| Критерии оценки | Вес критерия | Средний балл | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5x2) |
|---|--------------|--------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Производительность | 0,07 | 80 | 100 | 0,8 | 0,04 |
| Отказоустойчивость | 0,17 | 90 | 100 | 0,9 | 0,153 |
| Унифицированность | 0,1 | 70 | 100 | 0,7 | 0,07 |
| Безопасность | 0,05 | 80 | 100 | 0,8 | 0,04 |
| Потребность в ресурсах памяти | 0,13 | 95 | 100 | 0,95 | 0,1235 |
| Функциональная мощность | 0,1 | 75 | 100 | 0,75 | 0,075 |
| Простота эксплуатации | 0,03 | 40 | 100 | 0,4 | 0,012 |
| Масштабируемость | 0,06 | 75 | 100 | 0,75 | 0,045 |
| Конкурентоспособность продукта | 0,07 | 50 | 100 | 0,5 | 0,035 |
| Перспективность рынка | 0,07 | 85 | 100 | 0,85 | 0,0595 |
| Цена | 0,1 | 40 | 100 | 0,4 | 0,04 |
| Финансовая эффективность научной разработки | 0,07 | 80 | 100 | 0,8 | 0,056 |
| Итого | 1 | | | | 0,749 |

По результатам оценки качества и перспективности можно утверждать, что перспективность текущей разработки выше среднего. Улучшить данную разработку можно путем повышения качества пользовательского интерфейса и снижения уровня сложности эксплуатации. Несмотря на высокую стоимость, на данном этапе снизить данный показатель не представляется возможным.

3.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ разработанного протокола представляет собой двухэтапный комплексный анализ разработки. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица SWOT разработки

| | Сильные стороны разработки: С1. Обработка больших объемов данных С2. Перспектива улучшения обучаемой модели С3. Гибкость разработки С4. Разработка на основе реальных данных С5. Тестирование в условиях, максимально приближенных к реальным | Слабые стороны разработки: Сл1. Сложность конфигурирования супервизора Сл2. Техническая сложность Сл3. Сложность эксплуатации конечным пользователем Сл4. Высокая стоимость разработки |
|---|---|--|
| Возможности: В1. Потребность в автоматизации добычи нефти В2. Востребованность инструментов автоматизации процесса обработки данных В3. Представление разработок лаборатории крупнейшей компании по автоматизации добычи | Данная разработка является востребованным, гибким и масштабируемым средством прогноза суточного дебита нефтегазовой скважины на основе реальных данных, предоставляемых замерными установками. | При необходимости масштабирования проекта виртуального расходомера есть перспектива усложнения ядра системы, требующего дополнительных финансовых и временных затрат. |
| Угрозы: У1. Устаревание предустановленного ПО на серверах потенциального заказчика У2. Изоляция российского сегмента сети Интернет У3. Изменения требований к виртуальному расходомеру потенциальным заказчиком У4. Рост требований к вычислительным мощностям оборудования У5. Несвоевременное предоставление финансового обеспечения разработки | Наступление сценариев большинства угроз маловероятно. Разрабатываемый виртуальный расходомер и все его компоненты предусматривают изменение требований потенциального заказчика. В свою очередь, заказчик предусматривает опцию предоставления дополнительных вычислительных мощностей. | Техническая сложность разработки может повлечь за собой внесение ряда изменений с изменениями требований к виртуальному расходомеру специалистами в нефтегазовой отрасли. Конечный пользователь должен обладать специальными знаниями по эксплуатации связующего программного обеспечения. |

Данная разработка обладает рядом возможностей в условиях низкой вероятности возникновения угроз. Разработка спроектирована таким образом, что сильные стороны предусматривают изменение требований к анализу и подготовке данных по замерам параметров нефтегазовой скважины, а также возникновению задач по масштабированию разработки.

3.1.4 Оценка готовности разработки к коммерциализации

Одной из важных задач в ходе выполнения данного раздела является оценка готовности разработки к коммерциализации. Оцениваемыми параметрами являются как научная, так и коммерческая составляющая.

Таблица 3 представляет собой бланк оценки степени готовности разработки к коммерциализации.

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности разработки к коммерциализации

| № п/п | Наименование | Степень проработанности разработки | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-------|---|------------------------------------|---|
| 1. | Определен имеющийся научно-технический задел | 4 | 4 |
| 2. | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 4 | 5 |
| 3. | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке | 2 | 2 |
| 4. | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 2 | 2 |
| 5. | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 3 | 3 |
| 6. | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 3 | 3 |
| 7. | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 1 | 1 |
| 8. | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 1 | 1 |
| 9. | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 3 | 4 |
| 10. | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 5 | 5 |
| 11. | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 5 | 4 |
| 12. | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 2 | 2 |
| 13. | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 2 | 3 |

| | | | |
|----------------------|---|-------|-------|
| 14. | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 3 | 3 |
| 15. | Проработан механизм реализации разработки | 5 | 5 |
| ИТОГО БАЛЛОВ: | | 45/75 | 47/75 |

Поскольку данная разработка является индивидуальным проектом для уникального научного мегаэксперимента, не предполагающем дальнейший выход на рынок, коммерциализация данного продукта не является целесообразной. Более того, организация, являющаяся потенциальным потребителем, является некоммерческой. В связи с этим провести полноценную оценку перспективы коммерциализации не представляется возможным. По результатам оценки можно утверждать, что данный проект еще не готов к коммерциализации, главным образом, с точки зрения сбыта разработки и финансирования коммерциализации.

Данную разработку возможно коммерциализировать способом передачи ноу-хау.

Поскольку концепция виртуального расходомера не фокусируется на конкретной коллаборации (проекте) в нефтегазовой отрасли, потенциальными пользователями (не только специалистами в этой области, но и инженерами подобных систем) возможна передача ноу-хау.

Разрабатываемый виртуальный расходомер позиционируется как принципиально новое решение для проведения анализа и прогноза суточного дебита нефтегазовых скважин.

3.2 Инициация разработки

В рамках инициации разработки формулируются цели и ожидаемые результаты работы. Также определяются заинтересованные стороны разработки и возможные ограничения. Заинтересованные в данной разработке стороны представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Заинтересованные стороны разработки

| Заинтересованные стороны | Ожидания заинтересованных сторон |
|--|--|
| Специалисты в области нефтегазовой отрасли | Решение в области анализа и прогноза суточного дебита нефтегазовых скважин |
| Data-инженеры | Обеспечение анализа и подготовки данных для последующего обучения LSTM-модели машинного обучения |

Цели и результат проекта отображены в таблице 5.

Таблица 5 – Цели и результат разработки

| | |
|--|---|
| Цели разработки: | Разработка виртуального расходомера для прогноза дебита нефтегазовой скважины с использованием алгоритмов машинного обучения |
| Ожидаемые результаты разработки: | <ol style="list-style-type: none"> 1) Формализованное описание расходомера 2) Программная реализация расходомера |
| Критерии приемки результата разработки: | <p>Суточный прогноз дебита нефтегазовых скважин:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) На основе уже имеющихся суточных данных дебита 2) Модель, обученная на временных рядах с интервалом по 10 минут между каждым замером требуемых параметров скважины |
| Требования к результату разработки: | Требования: |
| | Формализованное описание работы виртуального расходомера |
| | Суточный максимально точный прогноз дебита нефтегазовой скважины |
| | Масштабируемость системы |
| | Возможность переобучения модели |

В таблице 6 представлена рабочая группа разработки, определена роль и основные функции каждого участника в разработке.

Таблица 6 – Рабочая группа разработки

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в разработке | Функции | Трудо-затраты, час. |
|---------------|--|--------------------------|--|----------------------------|
| 1 | Губин Евгений Иванович, ТПУ ОИТ ИШИТР, доцент | Научный руководитель | Утверждение основных разделов, выдача заданий к исполнению, координирование деятельности исполнителя | 29 |
| 2 | Ушakov Сергей Николаевич, ТПУ ОИТ ИШИТР, магистрант гр.8ПМ9И | Исполнитель | Исполнение поставленных задач | 228 |
| ИТОГО: | | | | 257 |

Данный раздел отражает тот факт, что выполняемая работа имеет довольно большой объем. Заинтересованные стороны проекта ожидают достаточно высококачественные результаты, которые необходимо достичь исполнителю.

3.3 Планирование управления разработкой

3.3.1 Иерархическая структура работ

Иерархическая структура работ для данной разработки представляет собой детализацию укрупненной структуры работ, продемонстрированной на рисунке 12.

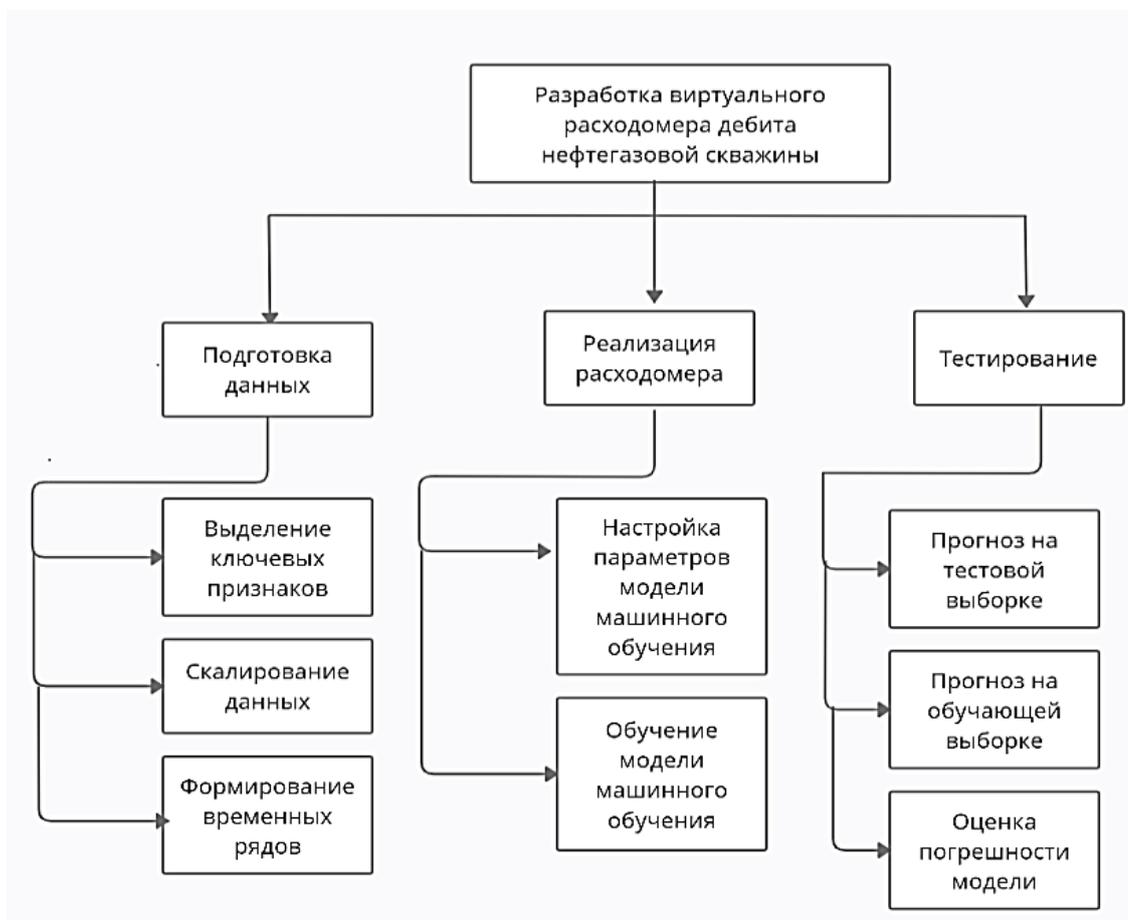


Рисунок 12 - Иерархическая структура работ по проведению разработки

Задачи по созданию данной разработки разделены на три основных блока: подготовка данных, реализация, а также тестирование. Основная часть работы фокусируется на подготовке данных и настройке существующего алгоритма модели машинного обучения.

3.3.2 План разработки

Чтобы отразить ключевые события по ведению разработки, необходимо составить календарный план. План представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план разработки

| Код работы | Название | Длительность, дни | Дата начала работ | Дата окончания работ | Состав участников |
|------------|---|-------------------|-------------------|----------------------|--|
| 1 | Выбор научного руководителя магистерской работы | 1 | 01.09.20 | 01.09. 20 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 2 | Составление и утверждение темы магистерской работы | 2 | 03.09. 20 | 04.09. 20 | Губин Евгений Иванович |
| 3 | Составление календарного плана-графика выполнения магистерской работы | 2 | 05.09. 20 | 06.09. 20 | Ушаков Сергей Николаевич, Губин Евгений Иванович |
| 4 | Выявление требований к разработке | 7 | 07.09. 20 | 14.09. 20 | Ушаков Сергей Николаевич, Губин Евгений Иванович |
| 5 | Подбор и изучение литературы по теме магистерской работы | 25 | 15.09. 20 | 13.10. 20 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 6 | Анализ предметной области | 15 | 15.10. 20 | 31.10. 20 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 7 | Подготовка данных для подачи в модель машинного обучения | 30 | 01.11. 20 | 05.12. 20 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 8 | Настройка и обучение модели машинного обучения | 80 | 06.12. 20 | 08.03.21 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 9 | Тестирование виртуального расходомера | 20 | 09.03.21 | 01.04.21 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 10 | Анализ полученных результатов, оценка погрешности обученной модели | 4 | 02.04.21 | 05.04.21 | Ушаков Сергей Николаевич, Губин Евгений Иванович |
| 11 | Согласование выполненной работы с научным руководителем | 4 | 06.04.21 | 10.04.21 | Ушаков Сергей Николаевич, Губин Евгений Иванович |

| | | | | | |
|---------------|---|-----|----------|----------|---|
| 12 | Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность) | 30 | 11.04.21 | 15.05.21 | Ушаков Сергей Николаевич |
| 13 | Подведение итогов, оформление работы | 10 | 16.05.21 | 27.05.21 | Ушаков Сергей Николаевич, Губин Евгений Иванович |
| Итого: | | 230 | | | |

3.3.2.1 Разработка графика проведения разработки

На рисунке 13 представлена диаграмма Ганта с планом выполнения работ, где М – магистрант (Ушаков Сергей Николаевич), НР – научный руководитель (Губин Евгений Иванович).

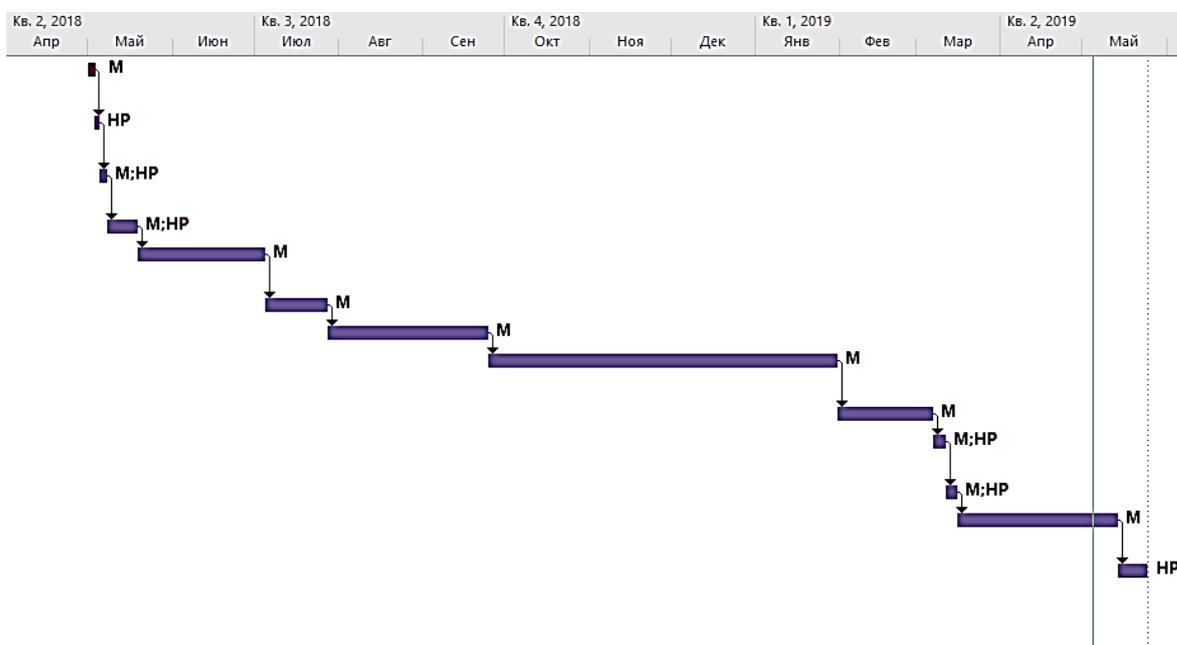


Рисунок 13 - График проведения разработки

3.3.3 Бюджет разработки

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Для данной разработки бюджет состоит из следующих пунктов:

- затраты на материалы;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

3.3.3.1 Материальные расходы

Для проведения исследования какие-либо специальные материалы и комплектующие не приобретались. Единая сумма на канцелярские принадлежности составляет 2500 рублей.

3.3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Исполнителями темы выступают научный руководитель и инженер. Баланс рабочего времени для 6-дневной недели, по которой учитывается рабочее время преподавателей и студентов, представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Инженер |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней -выходные дни -праздничные дни | 118 | 118 |
| Потери рабочего времени-отпуск-невыходы по болезни | 48 | 48 |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 199 | 199 |

Заработная плата рассчитывается из суммы заработной платы исполнителя и научного руководителя исходя из трудоемкости каждого этапа и занятости каждого из них на данном этапе. Расходы по статье заработной плате рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ - основная заработная плата; $Z_{доп}$ - дополнительная заработная плата. Основная заработная плата одного работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p,$$

где $Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата; T_p - продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

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

где $Z_{дн}$ - месячный должностной оклад работника; M - количество месяцев без отпуска в течение года, при отпуске 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, Φ_d - дневная неделя;

Φ_d - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Месячный должностной оклад работника вычисляется по следующей формуле:

$$Z_{дн} = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где $k_{пр}$ - премиальный коэффициент оплаты труда;

Z_b - базовый должностной оклад;

k_d - коэффициент доплат и надбавок (15-20%);

k_p - районный коэффициент (1,3 для Томска).

Для расчета основной заработной платы инженера возьмем оклад, равный окладу 9490 рублей. Для расчета основной заработной платы руководителя возьмем оклад равный 35120 рублей. В таблице 9 приведены расчеты основной заработной платы.

Таблица 9 - Расчеты основной заработной платы

| Исполнители | $Z_{б}$ | $K_{пр}$ | $K_{д}$ | $K_{р}$ | $Z_{м}$ | $Z_{дн}$ | $T_{р}$ | $Z_{осн}$ |
|--------------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------|
| Инженер | 9490 | 0.3 | 0.2 | 1.3 | 6168 | 322 | 86 | 27692 |
| Руководитель | 35120 | 0.3 | 0.2 | 1.3 | 22828 | 1193 | 10 | 11930 |

3.3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем — 12 % от суммы основной заработной платы). Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 –15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где $Z_{доп}$ - дополнительная заработная плата;

$K_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15);

$Z_{осн}$ - основная зарплата.

В таблице 10 приведены основной и дополнительной заработной платы исполнителей.

Таблица 10 - Заработная плата исполнителей

| Заработная плата | Руководитель | Инженер |
|--------------------------|--------------|---------|
| Основная зарплата | 11 930 | 27 692 |
| Дополнительная зарплата | 1 790 | 4 154 |
| Зарплата исполнителя | 13 720 | 31 845 |
| Итого по статье $C_{зп}$ | 45 565 | |

Таким образом, зарплата научного руководителя за период исполнения проекта составляет 13720 рублей, инженера — 31845 рублей. Всего расходов по статье заработной платы — 45565 рублей.

3.3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления во внебюджетные фонды по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $K_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений за уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и т.д.).

Общие тарифы страховых взносов в 2021 году в ИФНС: 22% - страхование по временной, 5,1% - медицинское страхование, 2,9% - страхование по временной нетрудоспособности.

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды, исходя из всех вышеперечисленных взносов, составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 45565 = 13670 \text{ рублей.}$$

3.3.3.5 Накладные расходы

При выполнении проекта могут возникнуть косвенные издержки - накладные расходы, возникающие дополнительно к основным затратам, например, на консультационные услуги, оплату коммунальных услуг, расход на услуги связи (телефон, Интернет).

Расчет накладных расходов осуществляется по формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ - коэффициент накладных расходов. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Сумма накладных расходов составляет:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 45565 = 7290 \text{ рублей}$$

3.3.3.5 Формирование бюджета затрат на разработку

После выполнения всех расчетов можно определить плановую себестоимость проекта. В таблице 11 представлен бюджет затрат.

Таблица 11 - Бюджет затрат

| Наименование | Сумма, руб | Удельный вес, % |
|--|------------|-----------------|
| Затраты на материалы | 2500 | 1.36 |
| Затраты на основную заработную плату | 45 565 | 62.02 |
| Затраты на дополнительную заработную плату | 5 944 | 8.09 |
| Страховые взносы | 13 670 | 18.61 |
| Накладные расходы | 7 290 | 9.92 |
| Общий бюджет | 75 969 | 100 |

Исходя из вышеприведенного расчета бюджета следует, что наибольшая его часть приходится на основную и дополнительную заработную платы (62,02%). Стоит также отметить, что расходы на страховые взносы (18,61%) составляют значительную часть расходов. Затраты на материалы и накладные расходы составляют небольшую долю (всего 12%). Это связано с отсутствием необходимости использования дорогостоящего оборудования и материалов.

3.3.4 Риски разработки

Проведение любого научно-исследовательского проекта сопряжено с возникновением различных рисков. Предварительное определение рисков помогает своевременному принятию мер по предотвращению возникновения

угроз или минимизации их последствий. В таблице 12 приведена оценка рисков с рекомендациями по смягчению их воздействия.

Таблица 12 - Реестр рисков

| № | Риск | Потенциальное воздействие | Вероятность наступления | Влияние риска | Уровень риска | Способы смягчения риска | Условия наступления |
|---|---|---|-------------------------|---------------|---------------|---|--|
| 1 | Несоответствие разработанной и требуемой функциональности | Недостаточная функциональность может привести к неконкурентоспособности решения | 2 | 3 | средний | Создание прототипов, разработка сценариев использования, участие потенциальных пользователей | Неправильно поставлены задачи, неполный анализ качества разработки и ее перспективности на рынке |
| 2 | Постоянный поток изменений требований | Задержки выполнения работ | 2 | 2 | низкий | Установка ограничений для внесения изменений, итеративность разработки (внесения изменений в следующих итерациях) | Ошибки при постановке задачи |
| 3 | Технологическое отставание | Неконкурентоспособность устройства | 2 | 2 | низкий | Технический анализ, анализ стоимости, прототипирование | Недостаточная оценка существующих аналогов |
| 4 | Недостаточная производительность | Неконкурентоспособность устройства | 1 | 3 | средний | Проведение сравнительного тестирования, прототипирование | Ошибки при постановке задачи, недостаточный анализ качества разработки и ее перспективности на рынке |

3.4 Экономическая эффективность

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия для предприятия или компании, которая реализует данный проект.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, который рассчитывается следующим образом:

$$I = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}},$$

где Φ_p - стоимость исполнения работ; Φ_{max} - максимально допустимая стоимость исполнения проекта.

Общий бюджет проекта составил 75969 рублей. Исходя из ограничений, накладываемых на проект, максимальный бюджет не должен превышать 100000 рублей. Таким образом, значение финансового показателя составляет:

$$I = \frac{75969}{100000} = 0,76$$

Значение финансового показателя составляет 0,76, что свидетельствует об эффективном использовании финансовых ресурсов.

3.5 Выводы по разделу

Результаты оценки востребованности проекта можно считать положительными, поскольку были выявлены потенциальные потребители разрабатываемого решения. В результате анализа конкурентоспособности выяснилось, что разработанный проект обладает достаточными конкурентными преимуществами благодаря новизне метода и получаемым результатам. Проведенный SWOT-анализ показал весьма высокую перспективность разработки.

Продолжительность проекта составила 118 календарных дней, а общий бюджет составил 75969 рублей, что успешно укладывается в ограничения. Разработанный реестр рисков отражает потенциальные пути преодоления внешних и внутренних рисков, что способствует успешной реализации проекта.

4 Социальная ответственность

Объектом исследования является алгоритм для прогноза дебита скважины, который разрабатывался на основе методов машинного обучения. Алгоритм позволяет предсказывать суточный дебит скважин нефтегазовых месторождений.

Разработка, проектирование и тестирование производятся с помощью персональной электронной вычислительной машины (ПК) в условиях учебной аудитории Кибернетического центра Томского политехнического университета.

Целью данного раздела является выявление правовых норм законодательства, опасных и вредных факторов, мер защиты, анализ экологического влияния исследования, а также анализ возникновения всех возможных ЧС, мер их предупреждения и устранения последствий.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда содержатся в трудовом кодексе РФ.

Согласно ФЗ от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 25.07.2011) «О персональных данных», данные о работнике, предоставляемые работодателю, обрабатываются только с согласия самого работника [10].

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [11], выявлены следующие параметры рабочей зоны:

1. Согласно наименованию работы (работа за ЭВМ) при отсутствии регулирующих механизмов высоты рабочей поверхности, высота рабочей

поверхности, при организации рабочего места, составляет 630 мм. Высота сиденья 400 мм.

2. Рабочая поверхность в соответствии с видом работ может содержать дополнительное углубление для периферийных устройств (клавиатура).

3. Рабочее место при выполнении работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего.

4. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

4.2 Производственная безопасность

В данном подразделе рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, а также при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [12] в таблице 13 представлены возможные вредные и опасные факторы. Работа по разработке программного обеспечения делится на три основных этапа: проектирование, разработка и эксплуатация.

Таблица 13 – Возможные вредные и опасные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|---------------------------------|----------------|------------|--------------|---|
| | Проектирование | Разработка | Эксплуатация | |
| 1. Повышенный уровень шума | + | + | + | ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны | + | + | + | СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий |
| 3. Умственное перенапряжение | + | + | + | ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация |
| 4. Перенапряжение зрительного анализатора | + | + | + | ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация |
| 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи | + | + | + | ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность |
| 6. Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой | + | + | + | ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя |
| 7. Отклонение параметров микроклимата | + | + | + | СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений |

4.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте

4.2.1.1 Повышенный уровень шума

Превышения уровня шума является вредным фактором на рабочем месте. Постоянный шум, превышающий допустимые значения, не только воздействует на органы слуха, но и влияет на общее самочувствие работника, в частности способствует ослаблению организма, а также снижает работоспособность.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [13], машины, которые в процессе работы могут производить шум, неблагоприятно воздействующий на работников, следует конструировать и изготавливать с учетом последних достижений технологии и принципов проектирования, позволяющих снизить излучаемый шум.

Наибольшим шумовым событием на рабочем месте для исследователя является ПЭВМ или несколько ПЭВМ. Шум от ПЭВМ классифицируется как широкополосный, непостоянный, колеблющийся, поскольку имеет ширину более 1 октавы, изменяется непрерывно в течение 8-часового рабочего дня. Также среди источников шума выделяются осветительные приборы дневного света и шумы, проникающие извне. Согласно СН 2.2.4/ 2.1.8.562-96 в жилых комнатах квартиры или офисах уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, указанных в таблице 14.

Таблица 14 – Допустимые значения уровней звукового давления

| Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами | | | | | | | | | Уровни звука в дБА |
|---|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------------------|
| 31,5 Гц | 63 Гц | 125 Гц | 250 Гц | 500 Гц | 1000 Гц | 2000 Гц | 4000 Гц | 8000 Гц | |
| 86 дБ | 71 дБ | 61 дБ | 54 дБ | 49 дБ | 45 дБ | 42 дБ | 40 дБ | 38 дБ | 50 |

Для того, чтобы минимизировать воздействие данного фактора необходимо:

- оценивать уровень выпускаемой техники на соответствие требованиям к шуму, т.е. определять качество акустической проработки конструкции машины;
- минимум раз в год проводить чистку элементов ПК от пыли;
- при необходимости выдавать сотрудникам противошумные наушники или вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход.

4.2.1.2 Умственное перенапряжение

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ [15] умственное перенапряжение является одним из видов нервно-психических перегрузок, которое может быть вызвано информационной нагрузкой.

Согласно ТОИ Р-45-084-01 [16], виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А - работа по считыванию информации с экрана компьютера с предварительным запросом; группа Б - работа по вводу информации; группа В - творческая работа в режиме диалога с компьютером. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к различным видам трудовой деятельности, за основную работу с компьютером следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня. Уровень нагрузки представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с компьютером

| Категория работ | Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с компьютером | | |
|-----------------|---|-----------------------------|----------------|
| | группа А, количество знаков | группа Б, количество знаков | группа В, час. |
| Ш | До 60000 | До 40000 | До 6,0 |

Для того, чтобы минимизировать воздействие данного фактора, необходимо устанавливать при 8-часовой рабочей смене регламентированные перерывы:

- для категории работ А через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый;

- для категории работ Б через 2 часа от начала рабочей смены и через 1,5 - 2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый или продолжительностью 10 минут через каждый час работы;

- для категории работ В - через 1,5 - 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5 - 2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

При 12-часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, а в течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут.

4.2.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Основным источником освещения в учебной аудитории является искусственное освещение. Недостаточная освещенность рабочей поверхности может сказаться на здоровье работника и его производительности труда.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, освещенность при работе с ПК должна составлять 400 лк [17]. В таблице 16 приведены нормируемые показатели естественного, искусственного освещения, а также совмещенного освещения.

Таблица 16 - Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения основных помещений

| Помещения | Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м | Естественное освещение | | Совмещенное освещение | | Искусственное освещение | | | | |
|---|--|---|-----------------------|---|-----------------------|-------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------------------|---|
| | | КЕО, % | | КЕО, % | | Освещенность, лк | | | Показатель дискомфорта, М, не более | Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более |
| | | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | при комбинированном освещении | | при общем освещении | | |
| | | | | | | всего | от общего | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Кабинеты информатики и вычислительной техники | Г-0,8 Экран дисплея: В – 1; | 3,5 | 1,2 | 2,1 | 0,7 | 500 | 300 | 400 | 15 | 10 |

Помещение для разработки имеет следующие размеры: длина $A = 8$ м., ширина $B = 4$ м., высота $H = 4$ м. Коэффициент отражения стен $R_c = 50\%$, коэффициент отражения потолка $R_{\pi} = 30\%$. Высота рабочей поверхности $h_{\text{рп}} = 0,5$ м. Коэффициент запаса $k = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему с люминесцентным освещением. Выбираем светильники типа ОД, где $\lambda = 1,4$. Приняв $h_c = 0,3$ м, определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{\text{рп}} = 4 - 0,3 - 0,5 = 3,2 \text{ м};$$

Расстояние между светильниками рассчитываем следующим образом:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3,2 = 4,48 \text{ м};$$

Количество рядов светильников:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - 2/3L}{L} + 1 = \frac{4 - (4,48 \cdot 2)/3}{4,48} + 1 \approx 2.$$

Количество светильников в ряду:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - 2/3L}{l_{\text{св}} + 0,5} + 1 = \frac{8 - (4,48 \cdot 2)/3}{1,23 + 0,5} \approx 4.$$

Если учесть, что в каждом светильнике установлено по 2 лампы, то общее количество ламп $N_{\text{л}} = 2 \cdot n_{\text{св}} \cdot n_{\text{ряд}} = 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$.

Индекс помещения:

$$i = S/h(A+B) = 8/1,2(4+8) = 0,55;$$

Коэффициент использования светового потока $\eta = 0,26$;

Световой поток Φ :

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,26} = 7615 \text{ люмен};$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 125 Вт с потоком 8000 лм [8, таб. 4.1.1]. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

Получаем:

$$-10\% \leq -0,048\% \leq +20\%.$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 24 \cdot 125 = 3000 \text{ Вт.}$$

Таким образом, для разрабатываемого помещения необходимо 12 светильников типа ОД мощностью 125 Вт. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, в помещении требуется установить 24 лампы ЛТБ 125 Вт с потоком 8000 лм.

4.2.1.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Поражение электрическим током может привести к ожогам, судорогам, повреждению нервной системы, а также смерти. Возникновение пожара может привести к последствиям, описанным в ГОСТ 12.1.033-81 [18]. В помещениях, оборудованных ПЭВМ, токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновениях персонала к элементам ПЭВМ. Подобные разряды опасности для человека не представляют, однако способны вызывать неприятные ощущения и вывести оборудование из строя.

Также к опасностям использования электрического тока относятся возможность поражения электрическим током, а также воспламенения электронных устройств из-за воздействия различных условий – попадания влаги или повреждения изоляции.

Во избежание негативных последствий необходимо соблюдать правила пожарной и электрической безопасности. Подготовка к возникновению данных ситуаций должна производиться до начала работы.

Требования безопасности при эксплуатации электрооборудования регламентируются следующими нормативными актами:

- правилами устройства электроустановок (издание шестое с отдельными разделами и главами в издании седьмом), утвержденными Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.1979 г.,

- правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей, утверждёнными Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. № 6,

- межотраслевыми правилами охраны труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ 016-2001), утвержденными Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г. № 3.

Согласно вышеперечисленным нормативам:

- электрооборудование, имеющее контакты для подключения заземления, должно быть заземлено, а помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации оборудования;

- все крышки и защитные панели должны находиться на своих местах (при отсутствии крышки или защитной панели эксплуатация электрооборудования не допускается);

- при работе с электрооборудованием не допускать попадания влаги на поверхность электрооборудования, а также запрещается работать с электрооборудованием влажными руками;

- вентиляционные отверстия электрооборудования не должны быть перекрыты находящимися вплотную стенами, мебелью, посторонними предметами;

- выдергивание штепсельной вилки электроприбора необходимо осуществлять за корпус штепсельной вилки, при необходимости придерживая другой рукой корпус штепсельной розетки;

- подключение и отключение разъемов компьютеров и оргтехники должно производиться при отключенном питании (за исключением подключения и отключения USB-устройств);

- удаление пыли с электрооборудования должно производиться в отключенном от электрической цепи состоянии;

- перед использованием электроприборов необходимо проверить надёжность крепления электророзетки, свериться с номиналом используемого напряжения;

- корпуса штепсельных розеток и выключателей не должны содержать трещин, оплавлений и других дефектов, способных снизить защитные свойства или нарушить надёжность контакта;

- кабели (шнуры) электропитания не должны содержать повреждений изоляции, сильных изгибов и скручиваний.

4.2.1.5 Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой

Работа по исследованию выполняется за компьютером в позе сидя. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 [19] рабочее место должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зона досягаемости моторного поля приведена на рисунке 14.

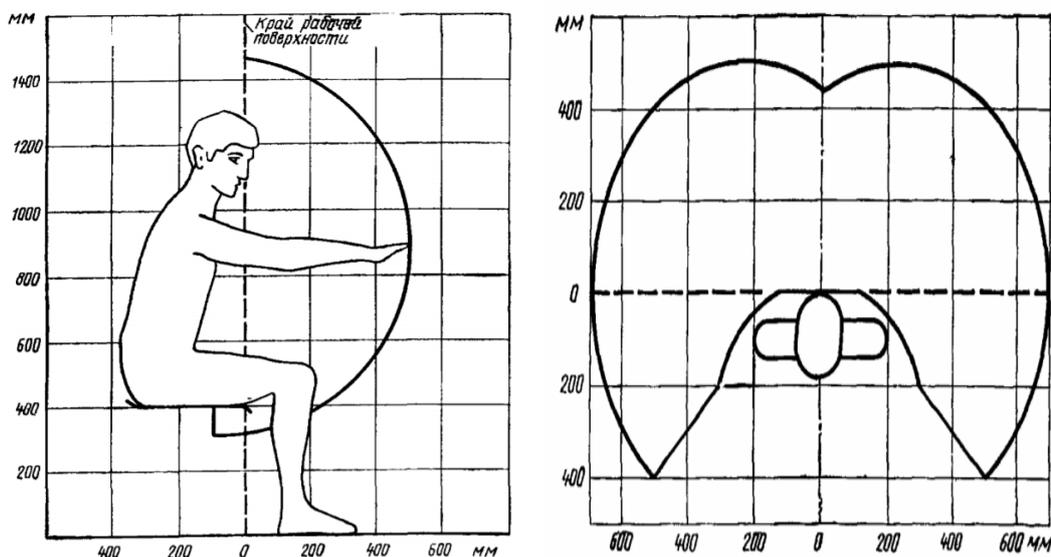


Рисунок 14 - Зона досягаемости моторного поля (в горизонтальной и в вертикальной плоскостях)

2. Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног

3. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего

4. Подставка для ног должна быть регулируемой по высоте. Ширина должна быть не менее 300 мм, длина - не менее 400 мм. Поверхность подставки должна быть рифленой. По переднему краю должен располагаться бортик высотой 10 мм.

4.2.1.6 Перенапряжение зрительного анализатора

Работа на персональном компьютере сопровождается частым и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Согласно ТООИ Р-45-084-01[20] устанавливаются следующие нормы при непрерывной работе по анализу информации с помощью зрительных анализаторов:

1. Продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2-х часов.

2. Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития познотонического утомления выполнять комплексы упражнений.

В таблице 17 приведены допустимые визуальные параметры устройств отображения информации.

Таблица 17 - Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

| Параметры | Допустимые значения |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Яркость белого поля | Не менее 35 кд/кв.м |
| Неравномерность яркости рабочего поля | Не более $\pm 20\%$ |

| | |
|---|---|
| Контрастность (для монохромного режима) | 3:1 |
| Пространственная нестабильность изображения | Не более $2 \cdot 10L - 4L$, где L – расстояние наблюдения |

4.2.1.7 Отклонение параметров микроклимата

Нормативным документом, отвечающим за гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, является СанПиН 2.2.4.548-96 [21]. В документе указаны все нормативные требования к микроклимату на рабочих местах, у всех видов производственных помещений.

Одним из необходимых условий труда является обеспечение нормального микроклимата в рабочей зоне, оказывающие значительное влияние на самочувствие человека. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Оптимальный микроклимат является необходимым на рабочих местах, так как создает комфортное нахождение человека в рабочей зоне, а также обеспечивает его высокий уровень работоспособности. Такие микроклиматические условия обеспечивают благоприятное состояние организму человека и не вызывают отклонений в состоянии его здоровья.

При работе должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений. На других рабочих местах следует поддерживать параметры микроклимата на допустимом уровне, соответствующем требованиям [22].

В таблице 18 представлены оптимальные и допустимые показатели микроклимата рабочей зоны.

Таблица 18 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | Ia (до 139 Вт) | 22-24 | 20-24 | 40-60 | 0,1 |
| Теплый | | 23-25 | 21-25 | | |

4.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Для защиты от шума, согласно ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [23], могут применяться следующие средства и методы:

1. Рациональное размещение рабочих мест
2. Рациональное размещение технологического оборудования
3. Применение малошумных современных ПЭВМ.

Поскольку применение индивидуальных средств шумоизоляции оказывает дополнительный психологический эффект и ухудшение общего состояния работника после длительного использования, средства защиты от шума должны являться некоторым компромиссом, направленным на снижение уровня шума и, вместе с тем, сохранение комфортных условий работы.

Защитой от прямого прикосновения к токопроводящим частям электрооборудования являются:

1. Основная изоляция
2. Безопасное расположение токоведущих частей
3. Защитное отключение.

Окружающая среда не должна быть проводящей. При эксплуатации электрооборудования необходимо соблюдать технику безопасности.

Для III категории работ (ТОИ Р-45-084-01) по уровню нагрузки перерыв регламентирован через 1,5 - 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5 - 2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

4.3 Экологическая безопасность

Целью данного подраздела является выявление потенциальных опасных факторов влияния объекта исследования на окружающую среду, а также разработка мер, которая обеспечивает безопасность исследовательской деятельности для окружающей среды.

4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Объект исследования (алгоритм прогноза дебита скважины) не оказывает влияния на окружающую среду, поскольку используется совместно с ПЭВМ. Сами ПЭВМ могут являться источниками различных загрязнений окружающей среды.

4.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования включает в себя работу на ПЭВМ в учебной аудитории (КЦ ТПУ), в том числе в условиях искусственного освещения, обеспечиваемого люминесцентными лампами.

Федеральный закон № 89 от 1998 г. «Об отходах производства и потребления» запрещает юридическим лицам самовольно избавляться от опасных отходов [10]. Этим видом деятельности, согласно постановлению Правительства РФ № 340 от 2002 г., могут заниматься только специализированные структуры. В их число входят и фирмы, которые занимаются утилизацией электронных отходов. Обращение с отходами регламентируется ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами» [11]. Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности (малоопасные отходы) и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации, как это указано в этапах технологического цикла отходов.

Согласно Административному Кодексу РФ [24], запрещается выбрасывать технику наряду с обыкновенным мусором, причем запрет распространяется не только на физических лиц, но и на организации.

4.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Согласно ГОСТ Р 56397-2015 [25], в результате технической экспертизы может быть принято следующее одно из следующих решений:

- оборудование не ремонтпригодно, признается неработоспособным и рекомендуется к списанию (замене);

- в случае деградиционного отказа оборудования и нецелесообразности его ремонта и модернизации даются рекомендации о необходимости его списания и утилизации. Самостоятельная утилизация оргтехники запрещена, утилизация производится только в промышленных условиях. Утилизировать компьютерную технику имеют права специализированные предприятия при наличии соответствующей лицензии.

На рабочем месте программиста используются 20 люминесцентных ламп ОДО, Согласно ГОСТ 12.3.031-83 [26]:

1. Все ртутьсодержащие отходы и вышедшие из строя приборы, содержащих ртуть, подлежат сбору и возврату для последующей регенерации ртути в специализированных организациях.

2. К работе по замене и сбору отработанных ртутьсодержащих ламп допускаются только электромонтеры. Главным условием при замене и сборе отработанных ртутьсодержащих ламп является сохранение герметичности.

3. Факт сдачи ртутьсодержащих отходов подтверждается возвращением паспорта на вывоз отходов с отметкой о приеме представителя специализированного предприятия.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ возможных ЧС, которые может инициировать объект исследования

В ходе проведения анализа не было выявлено ЧС, которые может вызвать объект исследования (алгоритм прогноза дебита скважины) напрямую.

4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

К наиболее вероятным ЧС на рабочем месте можно отнести следующие: пожар (взрыв) в здании, авария на коммунальных системах жизнеобеспечения.

Наиболее вероятным ЧС является пожар. Источниками возгорания может стать электропроводка, внутренние работающие устройства ПК, взрывоопасные предметы в помещении исследователя согласно ГОСТ 12.1.044-2018 [27]. Поражающими факторами пожаров в помещении являются токсическое воздействие горючих материалов (в том числе отравление угарным газом), экстремальный нагрев среды, а также обломки и осколки при нарушении целостности конструкций здания.

4.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.3.03-94 [27], обеспечение безопасности людей в ЧС, обусловленных природными стихийными бедствиями, техногенными авариями и катастрофами, а также применением современного оружия (военные ЧС) является общегосударственной задачей, обязательной для решения всеми территориальными, ведомственными и функциональными органами управления и регулирования, службами и формированиями, а также подсистемами, входящими в Российскую систему предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях (РСЧС).

Мерами по предупреждению ЧС являются:

1. Соблюдение техники безопасности при работе с ПЭВМ. Использование только исправного оборудования.

2. Своевременное проведение ТО и ППР электроустановок согласно утвержденного графика и технических средств противопожарной защиты и пожаротушения.

3. Установка противопожарной сигнализации.

4. Своевременное проведение инструктажа рабочего персонала.

В случае угрозы возникновения ЧС (пожара) необходимо вызвать противопожарную службу, отключить электроэнергию и, следуя плану эвакуации, эвакуировать находящихся в помещении людей и покинуть помещение. В случае, если очаг возгорания является небольшим, и нет угрозы поражения электрическим током, можно использовать углекислотные огнетушители ОУ-5 высокого давления с зарядом жидкой двуокиси углерода согласно ГОСТ 8050-85 [27].

4.5 Выводы по разделу

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться сотрудник, разрабатывающий алгоритм прогноза дебита нефтегазовой скважины. Был проведен анализ нормативной документации.

Рабочее место, использованное при разработке системы, удовлетворяет требованиям безопасности. Выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма.

Освещение на рабочем месте соответствует нормам – используется несколько энергосберегающих ламп.

Уровни шума находятся в допустимых пределах – источником шума при эксплуатации ПК могут являться системы охлаждения и хранения постоянной памяти, однако уровень создаваемого ими шума находится в пределах нормы.

Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования.

Защита от повреждений статическим электричеством обеспечивается путем защитного заземления и соблюдения правил безопасности на рабочем месте.

Во время работы соблюдаются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок.

Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности.

В случае выхода из строя используемой электроники или ламп, отходы передаются в соответствующие компании.

Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация.

Заключение

В результате выполнения данной работы были выполнены следующие задачи:

1. Проведен анализ предметной области, а также предоставленных данных замеров СУ и АГЗУ

2. Была предложена гипотеза о том, что суточный дебит нефти возможно с высокой точностью обчислить, опираясь на замеры коэффициента мощности, коэффициента загрузки, выходной частоты, давления на приёме насоса, затрубного давления, рабочей частоты в течении суток с периодичностью в 10 минут. Из результатов, полученных после обучения модели, можно сделать вывод о том, что гипотеза, предложенная в данной работе оправдана. Модель улавливает тренды изменения суточного дебита.

3. Была произведена подготовка данных, сформированы временные ряды для обучения модели машинного обучения.

4. Проведено обучение LSTM-модели нейронной сети с учителем на основе данных временных рядов замеров нефтегазовой скважины.

Научной новизной данной работы можно считать проверку гипотезы о прогнозе суточного дебита скважины, на основе которой предложена методика прогноза дебита нефтегазовой скважины.

Список публикаций и научных достижений

1. Стипендия Правительства РФ студентам ТПУ, обучающимся по специальностям или направлениям подготовки, соответствующим приоритетным направлениям модернизации и технологического развития российской экономики» на осенний семестр 2020/2021 уч. года. Приказ ректора ТПУ от 21.05.2020г. № 142-69/с

2. Повышенная государственная стипендия по научно-исследовательской деятельности, ОСЕНЬ 2020/2021 уч. года. Справка от 28.12.2020 № 04.12.05/9250

3. Повышенная государственная стипендия по научно-исследовательской деятельности, ВЕСНА 2019/2020 уч. года. Приказ от 20.03.2020 № 80-5/с

4. Сертификат за участие в акселерационно-образовательном интенсиве "Архипелаг 20.35" 7-21 ноября 2020 г.

5. Сертификат за участие во Всероссийском нефтегазовом кейс-чемпионате "OILCASE 2020" 13 апреля 2020 г.

6. Ушаков С.Н. Применение технологии Spring Framework при разработке Web - приложений// Информационные технологии, экономика и управление: сборник научных трудов X Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 4-6 Апреля 2019. – Юрга, ТПУ ЮТИ, 2019 – С. 242-244.

7. Ушаков С. -. Сравнительный анализ данных для управления заказами исследований полезных ископаемых // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов VI Международной научной конференции, Томск, 14-19 Октября 2019. - Томск: ТПУ, 2019 - С. 293-295

8. Диплом 3 степени за доклад на тему "Сравнительный анализ данных для управления заказами исследований полезных ископаемых" в 5

Международной научной конференции "Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине" 14-19 октября 2019 г.

9. Диплом 3 степени за лучший доклад на тему: "Проектирование WEB - приложений с помощью технологии Spring Framework" в Республиканской студенческой научной конференции "Вклад молодежной науки в реализацию Стратегии "Казахстан - 2050" (Республика Казахстан) 11-12 апреля 2019 г.

10. Диплом 3 степени за лучший доклад на тему: "Классификация кривых ПС каротажа" в IX Региональной научно-практической конференции "Наука и практика: проектная деятельность" (ФГБОУ ВО ТУСУР, г. Томск) 14 октября - 30 ноября 2020 г.

11. Ушаков С.Н., Сальников М.А., Кайда А.Ю. КЛАССИФИКАЦИЯ КРИВЫХ ПС КАРОТАЖА//Наука и практика: проектная деятельность - от идеи до внедрения, Томск, 30.11.2020-ТУСУР, 2020г.

12. По результатам дипломной работы была опубликована статья в XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (МСИТ).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aarsnes, U., Flåtten, T., Aamo, O., 2016. Review of two-phase flow models for control and estimation. *Annu. Rev. Contr.* 42, 50–62.
2. Aarsnes, U., Meglio, F., Aamo, O., Kaasa, G., 2014a. Fit-for-Purpose modeling for automation of underbalanced drilling operations. In: *SPE/IADC Managed Pressure Drilling & Underbalanced Operations Conference & Exhibition*.
3. Aarsnes, U., Meglio, F., Evje, S., Aamo, O., 2014b. Control-oriented drift-flux modeling of single and two-phase flow for drilling. In: *Proceedings of the ASME 2014 Dynamic Systems and Control Conference*.
4. Acuna, I., 2016. Effective methodology for production metering and allocation using realtime virtual metering in a mature offshore oilfield-study of the greater angostura field. In: *SPE Trinidad and Tobago Section Energy Resources Conference*.
5. Agarwal, R., Li, Y., Ngheim, L., 1990. A regression technique with dynamic-parameter selection for phase behavior matching. *SPE Reserv. Eng.* 5.
6. Ahmadi, M., Ebadi, M., Shokrollahi, A., Majidi, S., 2013. Evolving artificial neural network and imperialist competitive algorithm for prediction oil flowrate of the reservoir. *Appl. Soft Comput.* 1085–1098.
7. AlDabbous, M., Al-Kadem, M., AlMashhad, A., AlSadah, A., Alzahrani, M., 2015. MPFM commissioning optimization: a case study. In: *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*.
8. Barnea, D., 2016. A unified model for predicting flow-pattern transitions for the whole range of pipe inclinations. *Int. J. Multiph. Flow* 13, 1–12.
9. Bogaert, P., Yang, W., Meijers, H., Dongen, J., Konopczynski, M., 2004. Improving oil production using smart fields technology in the SF30 satellite oil development offshore Malaysia. In: *Offshore Technology Conference*.
10. Федеральный закон "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя

11. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
12. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение
13. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности
14. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность
15. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере
16. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
17. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.
18. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
19. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ Система стандартов безопасности труда
20. Федеральный закон № 89 от 1998 г. «Об отходах производства и потребления»
21. ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами»
22. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (последняя редакция)
23. ГОСТ Р 56397-2015 Техническая экспертиза работоспособности радиоэлектронной аппаратуры, оборудования информационных технологий, электрических машин и приборов.
24. ГОСТ 12.3.031-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы со ртутью. Требования безопасности

25. ГОСТ 12.1.044-2018 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

26. ГОСТ Р 22.3.03-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения

27. ГОСТ 8050-85 Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия

Приложение А

(справочное)

The technical overview

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8ПМ9И | Ушаков Сергей Николаевич | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------|------|
| доцент | Губин Евгений Иванович | к.ф-м.н. | | |

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------------|---------------------------|---------|------|
| доцент | Сидоренко Татьяна Валерьевна | к.п.н. | | |

Oil and gas production system

An oil and gas production system typically consists of a number of wells, which are connected to a flowline, which carries the produced fluid from wellheads to an inlet separator of a processing facility. If the field is subsea, the flowline is connected with the inlet separator via a riser. The flowrate of the produced fluid is controlled by choke valves installed at the wellheads. A schematic representation of a typical subsea production system is shown in Figure 1.

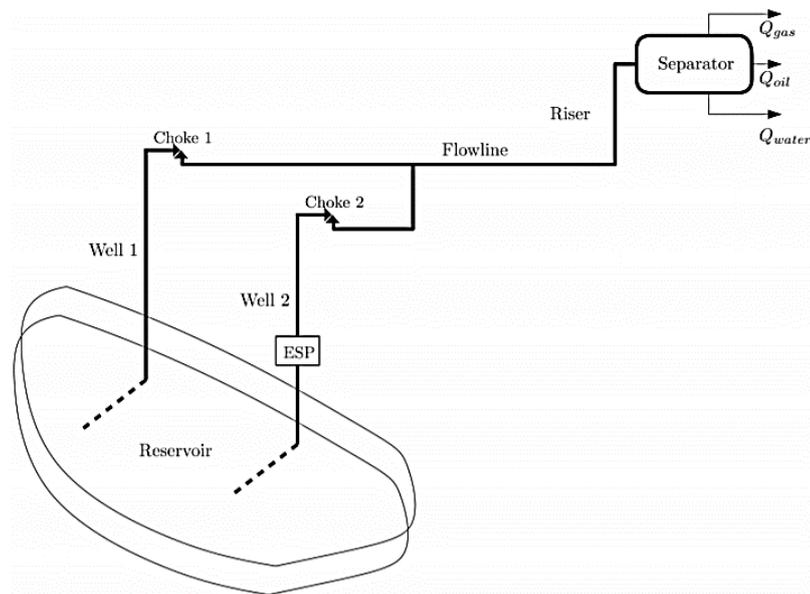


Figure 1 - Schematic representation of a typical subsea oil and gas production system

In the vast majority of cases the production field consists of more wells. Typically, the produced fluid is a multiphase mixture of oil, gas, water and solids such as sand or asphaltenes. This mixture is split into single phases in the inlet separator and further processed at a processing facility [1].

For economic operation of the production systems, it is important to know the oil, gas and water flowrates from each well. It allows operators to make critical decisions in production optimization, rate allocation, reservoir management and predict the future performance of the field.

At the early stage of the industry, the main method to estimate well flowrates was well testing. Here, a well stream is directed into a test separator where it is split

into oil, gas and water. These flow streams are then measured by single-phase meters at the separator outlet.

The test separators require a separate flowline, so that each well can be routed to the test separator and tested without shutting-down the entire field. As an alternative, the flowrates can be estimated by the use of an inlet separator. In this case, two options are possible. The first option is to shut-down all the wells except the tested one, so that the flowrates of this well can be estimated. This option is associated with a large production loss and often economically undesirable. Another possibility is to close the well of interest, measure the flowrates of the producing wells at the separator conditions and then back-calculate the flowrates of the closed well. This is done by subtracting the obtained flowrates from the ones recorded before the well test. This method is called deduction well testing [2].

First principles of Virtual Flow Metering (VFM) Systems

The first principles VFM systems are the most widely used Virtual Flow Meters in the industry. This is because a tremendous effort was made over the past 50 years in order to describe each part of this VFM approach. This resulted in a quite good understanding of the mechanistic modeling of production systems, fluid properties and optimization techniques. As such, first principles modeling can be considered as a reliable way to describe the production system behavior in general, and multiphase flow phenomena in particular. A current state-of-the-art first principles VFM system consists of the following main components:

- fluid properties model;
- production system model including [3].

Considering the discussed challenges as well as associated costs for both flow measurement approaches, an alternative solution is Virtual Flow Metering (VFM). The idea behind VFM is to collect available field data and use it in a numerical model to estimate flowrates. The measurement data usually include:

- bottomhole pressure and temperature (P_{BH} and T_{BH});

- wellhead pressure and temperature upstream of the choke (P_{WHCU} and T_{WHCU});
- wellhead pressure and temperature downstream of the choke (P_{WHCD} and T_{WHCD});
- choke opening (C_{OP});
- electric submersible pump (ESP) model [4].

Schematic representation of a first principles Virtual Flow Metering System is shown in Figure 2.

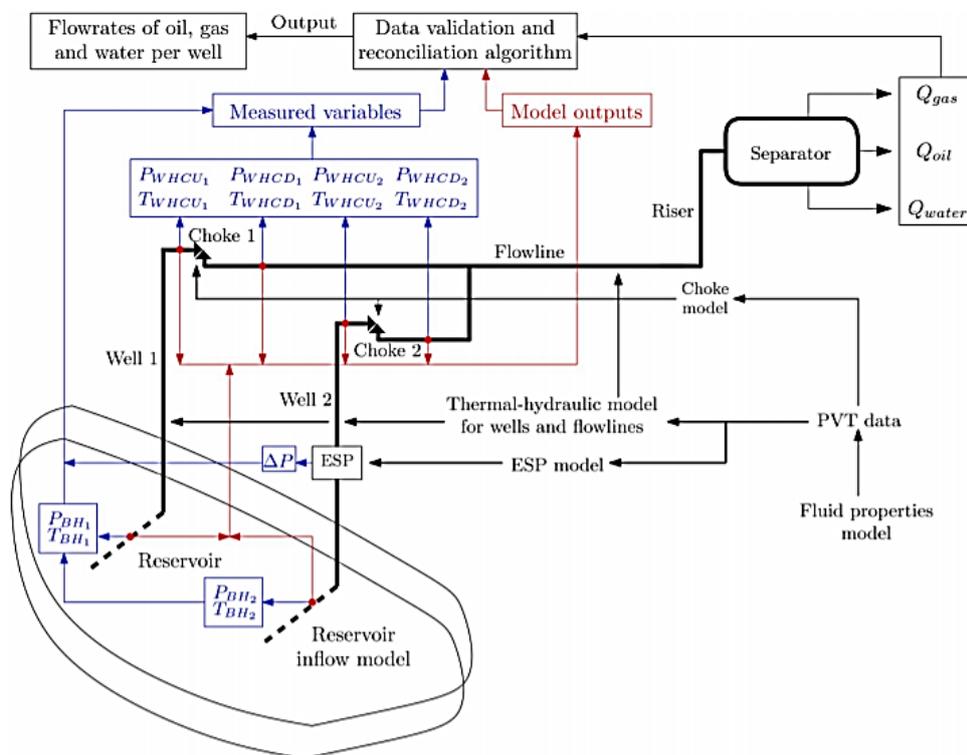


Figure 2 - Schematic representation of a first principles Virtual Flow Metering system

In summary, for VFM using the first principles models, the following steps are taken:

1. Create a fluid properties model, which represents the fluid data accurately.
2. Choose appropriate production system models based on the available measurements.

3. Read and validate the measurement data, remove outliers and filter noise.
4. Select appropriate tuning parameters, for instance, flowrates, choke discharge and heat transfer coefficients, etc. and make a guess of the initial parameter values.
5. Simulate the models selected at step 2 using the fluid properties from step 1 and initial values of the tuning parameters from step 4.
6. Select the model outputs from step 5 for which the measurements are available, for instance, pressures and temperatures at the bottomhole and the wellhead.
7. Run the data reconciliation algorithm to minimize the mismatch between the model outputs from step 6 and the validated measurement data from step 3 by adjusting the tuning parameters selected at step 4.
8. Report the oil, gas and water flowrates for each well from the solution from step 7 [5].

Fluid properties model

Hydrocarbon mixtures are complex substances whose properties vary with local pressure and temperature conditions along the production system. In order to take these variations into account, fluid characterization is carried out based on fluid samples taken at different points such as downhole or at the separator. Based on the characterized fluid, a pressure-volume-temperature (PVT) data can be generated which is then used by VFM systems for two purposes:

1. Calculating local phase properties of the hydrocarbon mixtures such as density, viscosity, thermal conductivity, etc. for using in the first principles models.
2. Reconciling reference flowrate measurements (e.g. at separator or standard conditions) with flowrate measurements/estimates at local conditions (e.g. at the wellhead) [6].

As for the first point, the local fluid properties have a direct influence on the flowrate predictions by a VFM system because they are included in thermal-hydraulic conservation equations as well as the models of choke, ESP and reservoir inflow. As such, giving incorrect phase densities or enthalpies for certain pressures and temperatures to the VFM system will result in deviations between the predicted and

actual flowrates. This in turn will cause problems in finding a good solution by the data validation and reconciliation algorithm when tuning flowrates and other model parameters.

Fluid characterization is typically done by two approaches separator:

1. Black Oil model (BOM).
2. Electric submersible model [7].

Black Oil Model

Black Oil model is a simple approach for petroleum fluid characterization. In this approach, oil and gas are treated as two separate substances and their properties are calculated based on correlations. In the traditional formulation of the BOM, three main PVT-properties are considered:

- oil formation volume factor;
- gas formation volume factor;
- solution gas-oil ratio.

For volatile hydrocarbon mixtures, modified Black Oil models (MBOM) are developed which introduce another core variable called solution oil-gas ratio. If water is present in the produced fluid, additional properties such as water formation volume factor, solution gas-water ratio and water content in gas are introduced into calculations [8].

Electric submersible pump (ESP) model

An electric submersible pump is a widely used artificial lift equipment, which is used to produce oil where natural production is not possible due to various reasons, for instance, low bottomhole pressure, liquid loading, heavy oil presence, etc. Due to its popularity, there have been a numerous amount of attempts to make a first principles model, which describes ESP operation, which are not possible to cover yet. The general idea behind an ESP model is to link the pump pressure increase with the pump inlet pressure, the flow and the pump speed:

$$\Delta P = f(q, \xi, \alpha_1, P_{inlet}),$$

where q denotes the flowrate;

ξ - the pump speed;

P_{inlet} - pump inlet pressure.

By measuring the pressure before and after the pump, it becomes possible to compute flowrates of the multiphase flow mixture, which is pumped by an ESP [9].

Data validation and reconciliation (DVR) algorithm

Another important part of the state-of-the-art first principles VFM systems is a data validation and reconciliation algorithm. It is also called «optimization algorithm». As the technique name states, DVR consists of two parts: validation and reconciliation. In the data validation part, the goal is to remove erroneous and noisy data. This step can be done by means of statistical analysis and filtering techniques, for example, exponential filters or moving averages. When the data is validated, the reconciliation part takes place. Here, an optimization algorithm adjusts the model parameters, for instance, flowrates, choke discharge coefficient, gas and water fractions, and friction and heat transfer coefficients such that the model outputs match the validated measured data being constrained to process conditions, for instance, the material balance. In VFM applications, the problem formulation is usually non-linear due to the complexity of the system. In order to find the solution of a non-linear data reconciliation problem, different methods can be applied. If inequality constraints are not present, the method of Lagrangian multipliers may be used to obtain the solution.

When the reconciliation process is finished, the results can be validated. In this step, statistical tests are conducted in order to further detect unreliable measurements and estimates and probability of a gross error existence. It can be achieved by performing individual (e.g. penalty) and global (e.g. chi-squared) tests [10].

Concluison

Virtual Flow Metering is a promising approach for flowrate estimation due to its low cost, real-time monitoring capabilities and an easy integration with other software solution.

There are different approaches to estimate multiphase flowrates, which are used in the industry or are at the research phase. The following ideas were highlighted:

1. Gas and oil can properties can be predicted based on correlations by separating them with black oil model.
2. ESP model allows to predict flowrate value by linking the pump pressure increase with the pump inlet pressure, the flow and the pump speed.
3. It's possible to get «clean» data with DVR algorithm.

Independently on the applied VFM approach, systematic model tuning is one of the main reasons why VFM is not the main multiphase flow metering solution.

References

1. Aarsnes, U., Flåtten, T., Aamo, O., 2016. Review of two-phase flow models for control and estimation. *Annu. Rev. Contr.* 42, 50–62.
2. Aarsnes, U., Meglio, F., Aamo, O., Kaasa, G., 2014a. Fit-for-Purpose modeling for automation of underbalanced drilling operations. In: *SPE/IADC Managed Pressure Drilling & Underbalanced Operations Conference & Exhibition*.
3. Aarsnes, U., Meglio, F., Evje, S., Aamo, O., 2014b. Control-oriented drift-flux modeling of single and two-phase flow for drilling. In: *Proceedings of the ASME 2014 Dynamic Systems and Control Conference*.
4. Acuna, I., 2016. Effective methodology for production metering and allocation using realtime virtual metering in a mature offshore oilfield-study of the greater angostura field. In: *SPE Trinidad and Tobago Section Energy Resources Conference*.
5. Agarwal, R., Li, Y., Ngheim, L., 1990. A regression technique with dynamic-parameter selection for phase behavior matching. *SPE Reserv. Eng.* 5.
6. Ahmadi, M., Ebadi, M., Shokrollahi, A., Majidi, S., 2013. Evolving artificial neural network and imperialist competitive algorithm for prediction oil flowrate of the reservoir. *Appl. Soft Comput.* 1085–1098.
7. AlDabbous, M., Al-Kadem, M., AlMashhad, A., AlSadah, A., Alzahrani, M., 2015. MPFM commissioning optimization: a case study. In: *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*.
8. Barnea, D., 2016. A unified model for predicting flow-pattern transitions for the whole range of pipe inclinations. *Int. J. Multiph. Flow* 13, 1–12.
9. Bogaert, P., Yang, W., Meijers, H., Dongen, J., Konopczynski, M., 2004. Improving oil production using smart fields technology in the SF30 satellite oil development offshore Malaysia. In: *Offshore Technology Conference*.
10. Goh, K., Pine, B., Yong, I., Vanoverschee, P., Lauwerys, C., 2008. Production surveillance and optimisation for multizone smart wells with data driven models. In: *Intelligent Energy Conference and Exhibition*,. Amsterdam, the Netherlands.

Приложение Б

(обязательное)

Алгоритм подготовки данных

```
data = pd.read_csv('2621/TM_2621_FULL_TRAINTEST.csv', index_col=0 )
data['MEASDATE'] = pd.to_datetime(data['MEASDATE'])
new_data=data[['MEASDATE', 'POWERFACTOR', 'WORKINGFREQ',
               'LOADFACTOR',
               'OUTFREQ', 'PUMPINTAKEPRESSURE',
               'LINEPRESSURE', 'ANNULUSPRESSURE']]
from sklearn import preprocessing
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['POWERFACTOR']] = scaler.fit_transform(new_data[['POWERFACTOR']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['WORKINGFREQ']] = scaler.fit_transform(new_data[['WORKINGFREQ']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['OUTFREQ']] = scaler.fit_transform(new_data[['OUTFREQ']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['PUMPINTAKEPRESSURE']] =
scaler.fit_transform(new_data[['PUMPINTAKEPRESSURE']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['LINEPRESSURE']] = scaler.fit_transform(new_data[['LINEPRESSURE']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['ANNULUSPRESSURE']] = scaler.fit_transform(new_data[['ANNULUSPRESSURE']])
scaler = preprocessing.MinMaxScaler(feature_range=(0,100))
new_data[['LOADFACTOR']] = scaler.fit_transform(new_data[['LOADFACTOR']])
new_data=new_data.reset_index(drop=True)
new_data['MEASDATE']=pd.to_datetime(new_data['MEASDATE'])
new_data['TIME'] = new_data[['MEASDATE']].apply(lambda x: x[0].timestamp(), axis=1)
.astype(int)
new_data=new_data.drop(columns=['MEASDATE'])
new_data=new_data.reset_index(drop=True)
data['MEASDATE']=pd.to_datetime(data['MEASDATE'])
data['ts'] = data[['MEASDATE']].apply(lambda x: x[0].timestamp(), axis=1).astype(int)
data['ts'].diff().round(decimals=-4).value_counts()
new_data=data.drop(columns=['MEASDATE']).rename(columns={'ts':'TIME'})
```

```

def find_nearest(array, value):
    array = np.asarray(array)
    idx = (np.abs(array - value)).argmin()
    return array[idx]

def moving_average(x, w):
    return np.convolve(x, np.ones(w), 'valid') / w
start = flowrate['TIME'] - (24*60*60)
stop = flowrate['TIME']
time=new_data['TIME']
arr = np.array([])
arr_2 = np.array([])
l=[]
count=0
a = list(range(175))
for i in a:
    rang = np.arange(start[i],stop[i]+1,600)
    a = np.array([])
    b = np.array([])
    c = np.array([])
    d = np.array([])
    e = np.array([])
    f = np.array([])
    g = np.array([])
    h = np.array([])
    for j in rang:
        near = find_nearest(new_data['TIME'].to_numpy(),j)
        values = new_data.query('TIME == @near').to_numpy()
        if values.size==0:
            continue
        a=np.insert(a,b.size,values[0][0])
        print (a.shape)
        b=np.insert(b,b.size,values[0][1])
        c=np.insert(c,c.size,values[0][2])
        d=np.insert(d,d.size,values[0][3])
        e=np.insert(e,e.size,values[0][4])
        g=np.insert(g,g.size,values[0][6])

```

```
arr=np.array([moving_average(a,2),moving_average(b,2),moving_average(c,2),moving_average(
d,2),moving_average(e,2),
moving_average(g,2)])
#arr_2=np.append(arr_2,)
l.append(arr)
arr_2=np.asarray(l)
```

Приложение В

(обязательное)

Архитектура обучаемой LSTM-модели

```
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Input, Dense, Dropout, LSTM, Conv1D, MaxPooling1D,
GlobalAveragePooling1D, Flatten, Concatenate
from tensorflow.keras.models import Model
from tensorflow.keras import backend as K
from tensorflow.keras import utils
from tensorflow.keras.metrics import BinaryAccuracy
model = Sequential()
model.add(LSTM(100,return_sequences=True,input_shape=(x_train.shape[1],x_train.shape[2])))
model.add(LSTM(100,return_sequences = False))
model.add(Dropout(0.5))
model.add(Dense(50))
model.add(Dense(1))
model.compile(optimizer='adam',loss = 'mean_squared_error')
callbacks = [
keras.callbacks.ModelCheckpoint(
"LSTM_reg.h5",save_best_only=True, monitor="val_loss"),keras.callbacks.ReduceLROnPlateau(
monitor="val_loss", factor=0.5, patience=20, min_lr=0.0001),]
model.fit(x_train, y_train, batch_size = 1, epochs = 1000, callbacks=callbacks, validation_split=0.2)
```