

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

Институт Природных ресурсов
Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело
Кафедра Геологии и разработки нефтяных месторождений

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема диссертации
Разработка методики суррогатного прокси-моделирования для экспресс-оценки неопределенностей и прогнозирования добычи нефти на месторождениях Западной Сибири

УДК 622.323-047.72-047.58(571.1)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ51	Таскин Никита Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ГРНМ	Деева В.С.	К.Т.Н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Белозеров В.Б.	Д.Г.-М.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Мищенко М.В.	К.Г.-М.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ГРНМ	Чернова О. С.	К.Г.-М.Н., доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результаты обучения
1	2
P1	Способность использовать естественнонаучные, математические, экономические, юридические и инженерные знания в области геологии, разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений
P2	Способность определять, формулировать и решать междисциплинарные инженерные задачи в области нефтегазовых технологий с использованием профессиональных знаний и современных методов исследования
P3	Способность планировать и проводить исследования в сложных и неопределённых условиях с использованием современных технологий, а также критически оценивать полученные данные
P4	Способность анализировать нестандартные ситуации и быстро выбирать оптимальные решения при разработке нефтяных и газовых месторождений
P5	Способность использовать творческий подход для разработки новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса, а также модернизировать и совершенствовать применяемые технологии нефтегазового производства
P6	Способность разрабатывать многовариантные схемы для достижения поставленных производственных целей, с эффективным использованием имеющихся технических средств
P7	Способность анализировать и систематизировать современные технологические и научные достижения нефтегазовой отрасли, а также выявлять их актуальные проблемы
P8	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, а также руководить командой, формировать задания, распределять обязанности и нести ответственность за результаты работы
P9	Способность самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в своей профессиональной деятельности
P10	Владеть иностранным языком как средством профессионального общения, на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде

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

Институт Природных ресурсов
Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело
Кафедра Геологии и разработки нефтяных месторождений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Чернова О.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ51	Таскин Никита Олегович

Тема работы:

Разработка методики суррогатного прокси-моделирования для экспресс-оценки неопределенностей и прогнозирования добычи нефти на месторождениях Западной Сибири

Утверждена приказом директора (дата, номер)

24.07.2017, 6174/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Нефтегазопромысловая информация о Крапивинском месторождении. Геофизические исследования скважины. Лабораторные исследования флюида.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Литературный обзор современных достижений науки и техники в моделировании месторождений 2. Геологическая характеристика месторождения 3. Разработка концепции суррогатной прокси-модели 4. Проведение экспериментов с суррогатным прокси- моделированием 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1.1 Типичная схема строения биологического нейрона 1.2 Искусственный нейрон 3.1 Концепция предлагаемой суррогатной прокси-модели 4.1 Многослойный персептрон 5.1 Куб проницаемости численной модели 5.2 Прогноз добычи нефти по суррогатной прокси-модели 5.3 Прогноз добычи воды по суррогатной прокси-модели 5.4 Прогноз дебита добывающих скважин 5.5 Распределение значений дебитов нефти в скважинах 5.6 Изменение точности предсказанных значений давления 5.7 Изменение точности предсказанных значений водонасыщенности
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Профессор, д.г.-м.н. Белозеров В. Б.
Социальная ответственность	Доцент, к.г.-м.н., Мищенко М. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Обзор литературы	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ГРHM	Деева В. С.	к.т.н., доцент		26.06.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2TM51	Таскин Н. О.		26.06.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ51	Таскин Никита Олегович

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ПОНК
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01. нефтегазовое дело

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет сметной стоимости выполняемых работ, согласно применяемой техники и технологии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы времени на выполнение определенных видов геоэкологических работ, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы расхода материалов, инструмента
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Страховые взносы 30% Налог на добавленную стоимость 18%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование продолжительности работ по проекту
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Расчет капитальных вложений и эксплуатационных работ Налоговые отчисления недропользователем
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Обоснование эффективности инвестиционного проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Белозеров В.Б.	д.г.-м.н.		26.06.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ51	Таскин Никита Олегович		26.06.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ51	Таскин Никита Олегович

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ПОНК
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01.Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:
 - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
 - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
 - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
 - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
 - действие фактора на организм человека;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

Рассмотрены вредные факторы такие как: уровень шума, освещенность рабочей зоны и электромагнитное излучение. А также изучены опасные факторы: электрический ток, пожарная и взрывная опасность.

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности
 - механические опасности (источники, средства защиты);
 - термические опасности (источники, средства защиты);
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды:
 - защита селитебной зоны
 - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
 - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);

– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мищенко М.В.	К.Г.-М.Н.		26.06.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ51	Таскин Никита Олегович		26.06.2017

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 70 с., 11 рис., 12 табл., 24 источников, 1 прил.

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ, НЕФТЯНОЙ ПЛАСТ, РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ.

Объектом исследования является суррогатная прокси-модель резервуара, основанная на численном моделировании участка Крапивинского месторождения.

Цель работы – разработать методику суррогатного прокси-моделирования для экспресс-оценки неопределённостей и прогнозирования добычи нефти.

В процессе исследования проводились аналитический обзор литературы по выбранной теме моделирования и машинного обучения, изучены российские и зарубежные технические решения, проводились эксперименты по суррогатному прокси-моделированию участка месторождения.

В результате исследования была разработана методика суррогатного прокси-моделирования, основанная на результатах численного моделирования пласта.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: суррогатная прокси-модель основана на методике обучения нейронных сетей по принципу «обучение с учителем».

Область применения: суррогатная прокси-модель резервуара наиболее полезна для экспресс-оценки неопределённостей при проектировании разработки, может помочь быстро принять решение, сделать быстрый анализ неопределённостей по степени влияния.

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение данной технологии может помочь с менеджментом рисков в инвестиционных вопросах, а также для принятия быстрого решения при оптимизации разработки месторождения.

В будущем планируется реализовать данную концепцию с помощью нейронных сетей со сложной архитектурой для повышения точности прогноза показателей добычи нефти и показателей динамического состояния пласта.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

MLP - многослойный персептрон

PVT - свойства физико-химические свойства.

ГДИС - гидродинамического исследования скважин.

ГИС - геофизического исследования скважин

ГТМ - геолого-технологические мероприятия

ИНС – искусственные нейронные сети

КИН - коэффициент извлечения нефти.

ОФП - относительная фазовая проницаемость

НИР – научно-исследовательская работа

ТЭО - технико-экономическое обоснование

УВ - углеводороды

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	13
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.....	21
3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	28
4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	30
5 . РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	33
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	42
6.1. Разработка общей экономической идеи суррогатного прокси-моделирования.....	43
6.2. Организация работ по научному исследованию	43
6.3. Бюджет научного проекта	45
6.4. Формирование и расчет затрат, включаемых в себестоимость	46
6.5. Итог.....	52
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	53
7.1. Профессиональная социальная безопасность.....	53
7.2. Производственная безопасность	54
7.3. Анализ вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	55
7.4. Анализ опасных факторов	62
7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	64
7.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	69
ПРИЛОЖЕНИЯ	71
Приложение А.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Разработка нефтяных месторождений основывается на комплексном проектировании системы разработки. На данный момент для повышения эффективности проекта используют моделирование разработки нефтяного резервуара. Математическое моделирование помогает оценить вероятный результат разработки залежи и увеличить нефтеотдачу на 10-25% [1]. Полный и всесторонний анализ доступной информации, полученной методами нефтегазопромысловой геологии, является основой для проектирования [2]. Специалистам нефтегазовой отрасли приходится работать с большим числом неопределенностей в начальных данных, являющихся результатом получения только локальной информации из разведочных скважин, а также погрешностями методик и оборудования. Проект разработки месторождения является в первую очередь коммерческим проектом, и для инвестиционной оценки требуется анализ возможных рисков и оценка влияния различных неопределенностей на результат, а также обоснование наиболее вероятных вариантов. Работу упрощает моделирование, имитирующее разработку залежей нефти [3], но с другой стороны это требует больших численных расчетов. На данный момент численные модели демонстрируют высокую точность, т.к. используемые уравнения, основаны на физических процессах, однако, ограничены в предельной скорости вычислений масштабами моделей имитацией резервуара чрез структуру ячеек, обладающих набором статических и динамических параметров, и технологической стороной используемых электронных вычислительных машин. Зачастую нефтегазовые компании имеют сжатые сроки для реализации проекта, и требуется быстрая оценка неопределенностей, а также изменение модели непосредственно в процессе реализации разработки месторождений углеводородов. На данный момент нишу быстрых инструментов для оценки отклонений параметров

объекта разработки заняли аналитические прокси-модели резервуаров, но они обладают недостаточной точностью за счет того, что не учитывают множество факторов [4]. Главное отличие прокси-модели от численной модели резервуара - это отсутствие расчетов перетоков между ячейками. Проблема точности экспресс-оценки неопределённостей проекта разработки месторождения является на данный момент довольно значимой в нефтегазовой индустрии. Её решение могло бы сэкономить время проектирования и упростить оценку влияния различных параметров на разработку.

Применение нетрадиционных математических разделов в нефтяной индустрии началось еще в 80-х годах XX века. От анализа данных в геологии и геофизике [5] до выбора методов воздействия на залежь [6]. В Российской академии наук были рассмотрены методы нечеткой логики в моделировании месторождений [7]. Иваненко Б.П. рассмотрел применение нейронных сетей в моделировании гидрогеологических объектов [8]. К настоящему времени проблема экспресс-оценки неопределенностей является одной из составляющих концепции интеллектуальных месторождений [9]. Одним из успешных направлений прокси-моделирования является суррогатные модели резервуаров, значимые результаты этого направления можно отметить в разработках Университета Западной Вирджинии и компании Intelligent Solutions, Inc [10 -11].

Целью работы является разработка методики суррогатного прокси-моделирования для экспресс-оценки неопределенностей проекта разработки нефтяной залежи, способной прогнозировать показатели добычи нефти. **Объектом исследования** является суррогатная прокси-модель резервуара, основанная на результатах численного моделирования разработки участка Крапивинского месторождения (Западная Сибирь). Методика создания суррогатной прокси-модели резервуара является **предмет исследования**. **Научной новизна** заключается в разработке концепции суррогатного прокси-

моделирования с помощью нейронных сетей. Результаты данной работы могут использоваться при проектировании разработки нефтяных месторождений для быстрой оценки влияния неопределенностей на добычу нефти.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проблемой разработки месторождений углеводородов всегда являлось предсказание примерных результатов мероприятия. Прорыв в данной проблеме случился, когда смогли реализовать применение математического моделирования [12]. Математическое моделирование включает создание систем уравнений для поиска соответствующих функциональных зависимостей, описывающих физические процессы, наблюдаемые в исследуемых объектах. В задачах нефтепромысловой геологии и при решении прикладных задач теории фильтрации жидкостей в пористых средах используются системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Согласно [12] под математическим моделированием понимают метод исследования разнообразных процессов путем изучения явлений, имеющих физическую природу, но описываемых одинаковыми математическими соотношениями. Примером такого рода уравнений могут быть уравнения Лапласа, описывающие многие механические, электрические и тепловые явления. В моделировании нефтяного пласта используется разделение объекта на множество блоков (ячеек) и создании фильтрационной модели между соседними блоками через решение системы уравнений неразрывности, фильтрации и состояния в частных производных [13]. Данный метод называется численным моделированием резервуара и реализован в программных пакетах многих нефтегазовых сервисных компаниях.

Эта имитационная система, моделирующая процессы фильтрации, предполагает некий набор моделей, позволяющих достаточно просто и с

требуемой точностью проводить многовариантные расчеты. Очевидно, что для получения результатов требуется необходимый набор параметров, характеризующих систему. Геологическая информация играет важную роль при построении гидродинамической модели, так как технологические характеристики и режимы работы скважин обосновываются с помощью конкретной схемы разработки данного пласта или всего месторождения [14].

Ценность геологической информации состоит в том, чтобы максимально приблизить модель к интересующему объекту. Однако получение геологической информации является трудной задачей. Фактически достоверная геологическая информация может быть получена только прямым методом с помощью исследования образцов керна, и оценочно с помощью данных геофизических измерений либо результатов гидродинамических исследований скважин. При этом адекватное отражение геологических характеристик пласта возможно лишь для залежей с простым строением. Для сложных залежей проявляется несоответствие параметров элемента пласта и объекта разработки. Причем если на стадии проектирования и подсчета запасов геологические исследования в основном направлены на выявление объемов и контуров нефтенасыщенных пластов-коллекторов, то на стадии разработки требуется обосновать направления и скорости фильтрации, что в свою очередь предполагает исследования неоднородности геологических характеристик пласта или, другими словами, природного резервуара [15].

Для сложных коллекторов большая оценка неопределенностей наиболее актуальна. Типичными представителями являются нефтяные месторождения Западной Сибири типа Крапивинского. Наиболее актуальным решением является жесткая привязка резервуара к седиментологическим моделям на основе большего материала накопленного материала о закономерностях в резервуарных системах, похожих по своему формированию [16]. Для этого заранее проводится детальная корреляция разрезов скважин по

седиментационным циклам и по каждому циклу составляются принципиальные предварительные карты, например, эффективных толщин.

Целью построения детальных цифровых геологических моделей нефтяных месторождений является подготовка данных для проектирования систем разработки и трехмерного гидродинамического моделирования. Как уже отмечалось ранее, материалами для построения моделей служат результаты интерпретации ГИС, а также принципиальная седиментологическая модель. Численная гидродинамическая модель резервуара работает со следующими петрофизическими параметрами, присвоенными каждой ячейке и образующие в итоге куб пористости, куб проницаемости, куб водонасыщенности, куб пластового давления. К ним применяются функции фазовых проницаемостей по воде и по нефти в зависимости от водонасыщенности, а также функции изменения свойств флюидов и пород в зависимости от пластового давления и температуры. Именно петрофизические параметры являются одним из источников неопределенностей.

Следует добавить, что в модели движущей силой является неоднородное физическое поле создаваемое разницей в давлениях между добывающей скважиной на забое и резервуаром. Для поддержания пластового давления используют систему заводнения через нагнетательные скважины, обычно агентом заводнения является вода. Значение забойных давлений на нагнетательной и добывающей скважине также носят характер неопределенности, т.к. слишком большой перепад давления может привести к подтягиванию воды из нижних пропластков к добывающей скважине – здесь важен баланс между вязкостными, капиллярными и гравитационными силами [13 (University, 2016)]. Слишком же большое давление на забое нагнетательных скважинах может привести к быстрому прорыву воды по высокопроницаемым участкам и также ухудшить добычу нефти. Для оценки влияния всех данных

параметров на добычу нефти и необходим анализ и оценка неопределенностей.

Информационное моделирование основано на хорошо известном методе «черного ящика» [17]. В дальнейшем этот принцип был развит при исследовании и моделировании сложных систем [18], к числу которых может быть отнесен и нефтяной пласт, вскрытый системой добывающих и нагнетательных скважин.

В основе информационного кибернетического подхода лежит создание моделей не на основе анализа, а на основе синтеза компонент. При этом моделируется внешнее функционирование системы, которое описывается чисто информационно на основе данных эксперимента или наблюдений над реальной системой

Суррогатная прокси-модель представляет собой технологию умной прокси-модели. Технология представляет собой «обучение» данной модели на основе результатов численной гидродинамического моделирования. Применяются методы машинного обучения и в конечном счете суррогатная модель становится способна воспроизвести функционал численной модели. В Университете Западной Вирджинии и компании Intelligent Solutions, Inc для реализации данной концепции использовали численную модель гигантского нефтяного месторождения на Ближнем Востоке [10]. Технология носит название Grid-based Surrogate Reservoir Model и способна воспроизвести динамическое состояние (значение пластового давления и насыщенности) каждой ячейки для каждого момента времени численного расчета с требуемой точностью и, главное, с высокой скоростью в сравнение с традиционным гидродинамическим моделированием. Принцип основан на создание регрессионной связи между значениями параметров состояния ячеек и состояниями соседних блоков на предыдущем временном шаге со динамическим состоянием ячейки на расчетном временном шаге. Происходила имитация расчета фильтрации жидкости через «черный ящик».

Также входными параметрами в модели являлись показатели добывающих и нагнетательных скважин на предыдущем шаге, и изменившиеся эти же параметры на расчетном.

Данный коллектив из Университета Западной Вирджинии и компании Intelligent Solutions, Inc с другими специалистами в 2015 году выпустили статью о результатах суррогатного прокси-моделирования гигантского нефтяного месторождения в Объединенных Арабских Эмиратах [11]. Модель содержала несколько миллионов ячеек и отображала структуру сложных, трещиноватых карбонатных коллекторов с более чем 500 скважинами. Модель основывалась на множестве вариантов численных расчетов для соответствия с набором показателей разработки такими как пластовое давление, газовый фактор, обводненность добываемой продукции. Это было сделано для того, чтобы быстро оценить нужный диаметр штуцера скважины для максимизации добычи нефти с минимальной обводненностью. Модель с требуемой точностью справилась с прогнозом основных показателей как дебит нефти, обводненность и газовый фактор.

Рассмотрение приведенных выше примеров суррогатных моделей приводит к понятию машинного обучения. Машинное обучение находится на стыке математической статистики, методов оптимизации и классических математических дисциплин. [19] Данное направление является подразделом искусственного интеллекта и изучает методы построения алгоритмов, способных обучаться. Одной из типичных задач является задача регрессии, предполагающее «обучение с учителем», когда требуется найти функциональную зависимость между ответом и входными значениями объекта. Одним из способов реализации данной задачи является метод нейронных сетей.

В 50-60х ученые, совместили биологические и физиологические концепции, создали первые искусственные нейронные сети. 1962 г. Ознаменовался работой Ф. Розенблата, где он ввел новый тип ИНС, под

названием персептрон (perceptron) [20]. Элементом клетки мозгового аппарата является нервная клетка – нейрон, имеющий общие с другими клетками биоткани. Однако нервная клетка имеет значительно другой функционал. Нейрон находится на приеме, преобразовании и последующей передаче набора информации другим нейронам. Информация идет в виде импульсов нервной активности, обладающих природой электрохимических процессов. На рис. №ГЛ.1. схематично приведено строение нейрона., где тело клетки включает в себя множество ветвящихся отростков двух типов. Отростки, классифицирующиеся как первый типа, именуются дендритами из-за сравнения с кроной дерева, и обеспечивают каналы для входа сигналов для нервных импульсов от других нейронов. Данные импульсы аксону поступают в сому, возбуждая её вследствие распространяется через выводной отросток второго типа [8].

В работе Мак-Каллока и Питтса была предложена модель, в которой нейрон считается бинарным элементом [21]. Структурная схема этой модели демонстрируется на рис. 2.2. К входящим сигналам x_j ($j = 1, 2, \dots, N$) применяется суммирование с учётом соответствующих весов w_{ij} (подобный сигнал проходит от узла i к узлу j) в так называемом сумматоре. Выходной сигнал нейрона y_i описывается уравнением:

$$y_i = f(\sum_{j=1}^N w_{ij} x_j(t)) \quad (1.1)$$

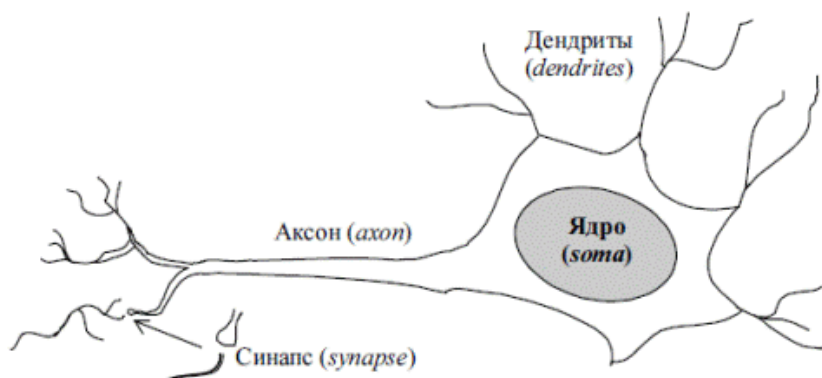


Рис №1.1. Типичная схема строения биологического нейрона [8]

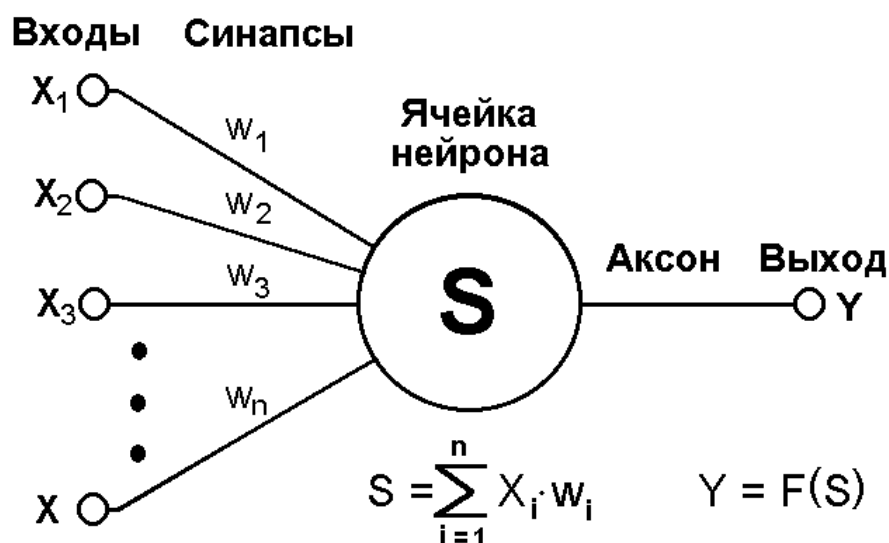


Рис. №1.2. Искусственный нейрон [22]

Функция $f(S_i)$ называется функцией активации. В модели Мак-Калок-Питса эта пороговая функция вида:

$$f(S) = \begin{cases} 1 & \text{для } S > 0; \\ 0 & \text{для } S \leq 0. \end{cases} \quad (1.2)$$

Помимо пороговой, широко распространены следующие типы функций активации нейрона (функциональные преобразователи):

1. Линейная (тождественная) функция активации:

$$y = k \times s, \quad (1.3)$$

где k – некоторый коэффициент.

2. Экспоненциальная сигмоида:

$$y = \frac{1}{1+e^{-s}}. \quad (1.4)$$

3. Рациональная сигмоида:

$$y = \frac{s}{c+|s|}, \quad (1.5)$$

где c – некая константа.

4. Гиперболический тангенс

$$y = th(S) = \frac{e^S - e^{-S}}{e^S + e^{-S}}. \quad (1.6)$$

Ограничения слабых сигналов и сильных падений на концах активационных функций было проблемой и решение нашлось в использовании многослойных персептронов (multi-layer perceptron (MLP)), но длительный промежуток времени не было обоснованного алгоритма для обучения многослойных искусственных нейронных сетей. В 1986 в работе [22] был предложен алгоритм обучения многослойных персептронов, основанный на вычислении градиента функции ошибки, который был назван обратным распространением ошибки.

Способность к обучению является фундаментальным свойством мозга. В контексте ИНС процесс обучения имеет следующее определение. Настройка весов и архитектуры нейронной сети для решения поставленной задачи называется процедурой обучения. Сеть обучается, чтобы для некоторого множества входов давать желаемое (или, по крайней мере, сообразное с ним) множество выходов. Каждое такое входное (или выходное) множество рассматривается как вектор. Обучение осуществляется путем последовательного предъявления входных векторов с одновременной подстройкой весов в соответствии с определенной процедурой.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Анализ неопределённостей актуален для сложных геологических объектов, обладающих значительной неоднородностью. В Западной Сибири типичным представителем сложнопостроенных объектов является Крапивинское месторождение. Большая изменчивость коллекторских свойств по разрезу, неоднородность как вертикальная, так и латеральная.

Крапивинское нефтяное месторождение расположено на территории Томской области небольшая по площади юго-западная часть входит в состав Омской области, Российская Федерация. Тектонически месторождение затрагивает две структуры III-го порядка – Крапивинскую и Западно-Крапивинскую, входящую в состав Моисеевского куполовидного поднятия, включенного в южную часть Каймысовского свода.

Верхнеюрский комплекс отложений носит полифациальный характер части, локализирующейся на Крапивинском месторождении и увязывается с васюганской, георгиевской, баженовской свитами. Яркой чертой отложений верхнего отдела юры является залегание с регрессивно-трансгрессивным порядком, это проявляется на подстилающих отложениях тюменской свиты, характерно наличие в верхней части разреза черных битуминозных аргиллитов баженовской свиты, который геологи Западной Сибири называют сильным региональным, литолого-фациальным и хронологическим репером.

Комплекс пород верхнеюрского возраста, выделяемый в объеме горизонта Ю-1, является основным объектом разработки месторождения, вскрыт разведочными и эксплуатационными скважинами. Его можно охарактеризовать заметным сложным геологическим строением, проявляющимся в значительной латеральной и вертикальной неоднородности продуктивных пластов, высокая изменчивость петрофизических фильтрационно-емкостных свойств, предопределивших неравномерное распределение скважин на высоко- и низко продуктивные. Общая мощность

горизонта по площади варьирует в пределах от 20 – 30 м, эффективная – 15 – 24 м.

Подошва верхнеюрских отложений, проводимая по подошве трансгрессивного пласта Ю-2, имеет менее четкие границы и во многих случаях проводится по промыслово-геофизическим показателям с большей долей условности.

Пласт Ю-2, сформированный в условиях мелководного морского бассейна, представлен мелкозернистыми алевролитами, алевролитистыми песчаниками и крупнозернистыми алевролитами.

ВАСЮГАНСКАЯ СВИТА

Отложения васюганской свиты выделены в объеме келловей-оксфорда. Свита подразделяется на две подсвиты:

- нижнюю (глинистую), имеющую келловей-раннеоксфордский возраст;
- верхнюю (существенно песчанистую), ранне-поздnekелловейского возраста.

Нижневасюганская подсвита

Нижняя подсвита состоит из серых, темных и местами черных битуминозных аргиллитов, иногда заметны аргиллитистые плотными крепкими глинами с прослоями алевроито-песчанистого материала. Формации, рассматриваемые в данной области, содержат включения пирита, прослойки глинистого сидерита, и явные намывы обугленного растительного детрита. Комплексные и объемные разрезы нижневасюганской подсвиты содержат все интересующие три пачки.

Верхняя и нижняя сложена аргиллитами с алевролитами песчаниками в виде прослоев и, средняя выражена мощной толщей глин. Отложения

нижневасюганской подсвиты Крапивинского месторождения присутствуют не в полном объеме. Общая мощность подсвиты в пределах месторождения достаточно выдержана и выражена формацией толщиной около 25 – 30 м.

Нижняя пачка (пласт Ю₂⁰), сформирована в условиях мелководного морского бассейна, в литологическом плане представлена мелкозернистыми алевролитами, алевроитистыми песчаниками и крупнозернистыми алевролитами.

Средняя пачка, выделяемая как группа песчаных пластов Ю16 , Ю15 ниже-среднекемловейского возраста отсутствуют.

Верхняя пачка (пласт Ю₁⁴) сложена глинами и тонкозернистыми алевролитами, присутствует в разрезах практически всех скважин, но как таковая на месторождении не выделяется, так как не представляет интереса в нефтепоисковом отношении. Часто разрез представлен тонкослоистым переслаиванием аргиллитов с алевролитами.

Верхневасюганская подсвита

В составе верхней подсвиты, по материалам ГИС, отчетливо выделяется группа песчаных пластов горизонта Ю-1. Верхневасюганская подсвита подразделена на три толщи:

- 1) подугольную (регрессивную прибрежно-морского генезиса, пласты Ю₁⁴, Ю₁³);
- 2) межугольную (регрессивно-трансгрессивную, переходную) и
- 3) надугольную (трансгрессивную, прибрежно-морского генезиса, пласты Ю₁², Ю₁¹, Ю₁⁰).

В стратиграфических целях эти стратиграфические подразделения принято называть соответственно: нижней, средней, верхней пачками, так как

в пределах Крапивинской структуры в разрезах скважин не наблюдается угольных пластов, между которыми были бы заключены глинистые отложения, разделяющие пласты Ю₁³ - Ю₁², Ю₁¹, Ю₁⁰. [23]

Согласно принятой в ОАО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск) индексации проницаемых пластов горизонта Ю-1 для Каймысовского свода при пробной эксплуатации месторождения принята индексация с выделением песчаных пластов Ю₁² и Ю₁³⁻⁴.

Пласт Ю₁³⁻⁴ представлен серыми, мелко-среднезернистыми массивными, песчаниками, в которых встречаются алевролиты и глинистые пропластки, слюдистыми, слабо карбонатизированными, с редкими остатками в виде растительного детрита и обломков фауны. Мощность пласта, локализующегося в северном куполе (район скв. 208;314) и южной части (район скв. 220,221, 222, 223) может встретиться с наибольшими значениями (15 – 20 м). Однако на южной периклинали более 10 – 12 м уже не найти. В периферийных частях структуры эффективная мощность несколько уменьшается. Снизу вверх пласт подразделяется на три ритмопачки:

- ритмопачка Ю₁^{3В} - имеющая покровное распространение, залегает на глубине от 2663,8 м (скв. 191) - до 2786,2 м (скв. 210), имеет общую мощность 5 – 22 м и представлена мелкозернистыми серыми песчаниками и алевролитами полимиктового состава;

- ритмопачка Ю₁^{3Б} имеющая преимущественно мелкозернистый состав песчано-алевритовых осадков с отдельными прослоями крупно – и грубозернистых пород в кровельной части, общей мощности от 5 до 18 м;

- ритмопачка Ю₁^{3А}, выявленная лишь в северной части месторождения. Ритмопачка Ю₁^{3А} залегает на глубинах - 2692,6 м (скв. 208) до 2746,8 м (скв.216), в литологическом плане представлена разномзернистыми песчаникам, преимущественно кварцевого состава.

Межугольная ритмотолща, повсеместно распространенная по изучаемой территории, характеризуется преимущественно глинисто-алевритовым составом, с подчиненным положением тонкозернистых алевритовых и песчаных пропластков и не имеет в своём составе свойственных ей угольных пропластков.

По скважинам северо-западной части месторождения эта часть разреза представлена глинистыми известняками, имеющими промыслово-геофизическую характеристику близкую к угольным пластам. Мощность пачки довольно устойчива во всех скважинах и составляет от 6 до 10 м. Северо-восточное направление примечательно участком более выдержанных межугольной толщи по мощности.

Пласт $Ю_1^2$ имеет несколько отличную литологическую характеристику. Отложения пласта состоят из отсортированного мелко- и среднезернистого полимиктового песчаник (крупнозернистый материал в разрезах пласта не наблюдается). В зоне поднятия общая и эффективная мощность пласта может быть представлена 4 – 6 м. Открытая пористость и проницаемость песчаников понижается от 18 до 14 % и от 25 до 4 мДа в направление юга. Пласт залегает на глубинах от 2665,8 до 2746 м.

Своеобразная песчано-алевритовая толща может быть встречена в кровле пласта $Ю_1^2$, она выделяется на территории Томской области в как барабинская пачка.

Песчаники и алевролиты, разномзернистые, плохо отсортированные, карбонатизированные, пиритизированные, фосфатизированные с глауконитом и морской фауной выделяются на территории Крапивинского месторождения.

ГЕОРГИЕВСКАЯ СВИТА

Георгиевская свита в локациях Крапивинской группы поднятий имеет небольшую мощность. Монотонная глинистая толща однообразного

литолого-минералогического состава, темно-серого цвета с характерным зеленоватым оттенком встречается в свите.

БАЖЕНОВСКАЯ СВИТА

Битуминозные аргиллиты баженовской свиты венчает разрез верхней юры. Мощность свиты стабильна на всей территории и составляет в среднем 24 – 28 м. Баженовская свита имеет своеобразную промыслово-геофизическую характеристику, позволяющую легко вычленять ее в разрезах скважин и является великолепным маркирующим горизонтом.

Таким образом, на территории Крапивинского месторождения ранее проведенными исследованиями установлены четкие стратиграфические критерии для пород верхнеюрской толщи месторождения, заключающиеся в следующем:

1. Пласты группы Ю₁ имеют свои узкие стратиграфические диапазоны. Внутри пласта Ю₁¹ проходит граница среднего и верхнего оксфорда, пласт Ю₁² имеет преимущественно среднеоксфордский возраст, но выклинивается на этой части Каймысовского свода, Ю₁³ – раннеоксфордский, в нижней части Ю₁⁴ проходит граница между оксфордским и келловейским ярусами. Наиболее выдержанными подразделениями являются пласты Ю₁³, Ю₁¹ и глинисто-аргиллитовая пачка их разделяющая.

2. Все подразделения келловей - верхней юры охарактеризованы микро- и макрофауной, подкреплены спорово-пыльцевыми спектрами.

3. Определенные видовые формы фораминифер свидетельствуют о накоплении данной толщи в условиях шельфовой зоны.

4. По единому фораминиферовому ряду, характеризующему все переходы от среднего-позднего келловей к раннему-среднему и далее позднему оксфорду, кимериджу следует предположить, что на протяжении всей

позднеюрской эпохи седиментации в пределах изучаемой территории (Крапивинское месторождение) существовали единые условия осадконакопления, без стрессовых фациальных изменений.

Промышленная нефтеносность месторождения связана с терригенными отложениями регионально продуктивного горизонта Ю₁ - пластами Ю₁² надугольной толщи и Ю₁³ подугольной толщи, разделяющимися по всей площади непроницаемыми углисто-глинистыми отложениями пласта Ю₁^{МУ} толщиной 4-10 м.

Пласт Ю₁³ характеризуется прибрежно-морским генезисом и площадным развитием. Пласт является основным объектом разработки. Залежь распространяется латерально и имеет значительную изменчивость фильтрационно-емкостных свойств резервуара по разрезу и площади.

Песчаник Ю₁³ носит регрессивный характер – увеличение зернистости от подошвы к его кровле. Последовательность фильтрационной неоднородности коллектора делится на высокопроницаемую песчаную пачку в кровле пласта, среднепроницаемую пачку песчаника в средней части коллектора и низкопроницаемую песчаную пачку у подошвы пласта.

В зависимости от значений коллекторских свойств и кровельной части пласта для первого литотипа разреза можно выделить три подтипа:

- подтип 1а — величина проницаемости кровельной части пласта составляет сотни и первые тысячи мД;
- подтип 1б — величина проницаемости кровельной части пласта изменяются от десятков до сотен мД;
- подтип 1в — проницаемость кровельной части пласта снижена до первых десятков мД.

3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходным материалом являлись данные недромысловой геологии участка Крапивинского месторождения, в т.ч. данные геофизических исследований в скважине 202Р, описание и измерения на керне, лабораторные исследования флюида и J-функция.

На основе этих данных предлагается создать модель участка месторождения. Это включает анализ и обработку геофизической информации с получением петрофизических зависимостей. Увязка керна и ГИС. В соответствии с геологией Крапивинского месторождения и выделяемой седиментологической обстановкой необходимо распределить литологию залежи и петрофизические параметры на участке вокруг скважины. Провести численное моделирование и на основе его результатов построить суррогатную прокси-модель резервуара.

В связи с технологической ограниченностью мощностей используемого ЭВМ модель и необходимостью обработки больших объемов информации для создания прокси-модели численная модель ограничиться небольшим участком с моделируемой территории с небольшим количеством скважин: 4 добывающих и 5 нагнетальных, образующих пятиточечную систему разработки.

Данные расчеты можно реализовать с помощью программного пакета Schlumberger Petrel и Eclipse.

Методом исследования суррогатного прокси-моделирования был выбран метод нейронных сетей. Он позволяет решить задачу регрессии и сопоставления входных и выходных данных.

Задачей поставлена как поиск архитектуры нейронной сети, способной выполнить суррогатное прокси-моделирование резервуара. Концепция разрабатываемой технологии включает увязку состояния ячеек модели пласта

с состоянием данной ячейки и соседних с ней на предыдущем временном шагу, а также с показателями скважин и все добычи в целом – рисунок 4.

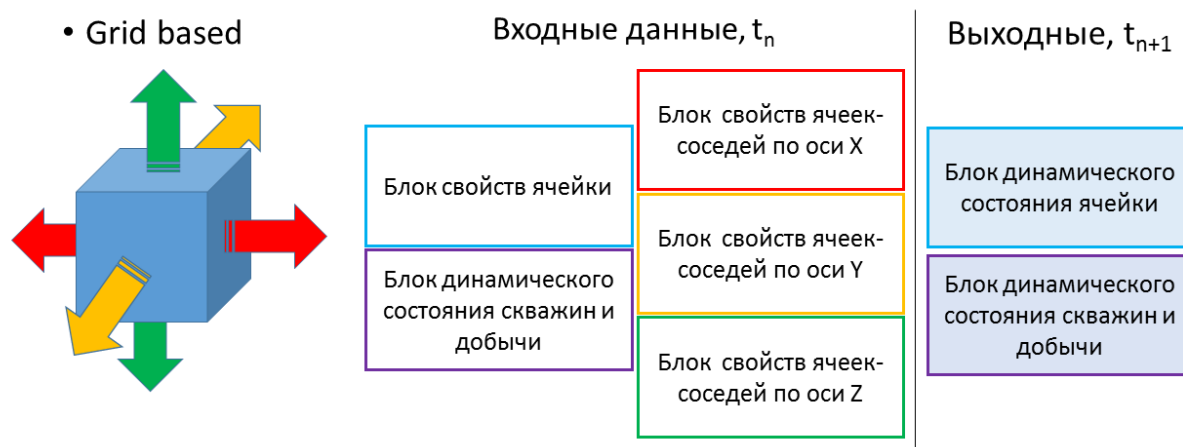


Рисунок 3.1 - Концепция предлагаемой суррогатной прокси-модели

Лимитированное время на выполнение проекта накладывает ограничение на глубину исследования нейронных сетей и для исследования будут использоваться простые архитектуры: многослойный персептрон и радиально-базисная функция.

Данные архитектуры можно реализовать в программном пакете STATISTICA Neural Nets за счет удобной работы с большими массивами данных. Предполагается провести множество расчетов разных архитектур для нахождения оптимального варианта.

4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

Общая методика проведения НИР включает:

1. Создание численной гидродинамической модели участка Крапивинского месторождения по исходным данным.
2. Подбор внутреннего участка небольшого размера с хорошей неоднородностью петрофизических свойств для обучения модели.
3. Проведение экспериментов по построению суррогатной прокси-модели резервуара.
4. Интерпретация результатов экспериментов для выбора лучшей архитектуры.

Создание гидродинамической модели начинается с построения геологической модели. Выбран участок в 5000x5000 м около скважины. Наполнение литологией участка производится стохастическим методом в соответствие с рангами корреляции для переходных сред осадконакопления. Ранги были приняты как 3000x1500 м. Проницаемые породы типа песчаника наполняются петрофизическими свойствами – пористостью и проницаемостью через функциональную зависимость.

Для обучения нейронных сетей нужны как можно более разнообразные данные, то на моделируемом участке будет выбрана зона с заметной неоднородностью в петрофизических параметрах. В данной зоне будут смоделированы 4 добывающих и 5 нагнетальных скважин по пятиточечной системе разработки.

Для суррогатной прокси модели нужно сформировать 58 входных вектора содержащих следующие параметры, относящиеся к предыдущему временному шагу относительно расчетного:

1. Пористость, горизонтальная и вертикальная проницаемость, пластовое давление и значение водонасыщенности в исследуемой ячейке;
2. Для ячеек-соседей по оси X и Y: пористость, горизонтальная проницаемость, пластовое давление и значение водонасыщенности;
3. Для ячеек-соседей по оси Z: пористость, вертикальная проницаемость, пластовое давление и значение водонасыщенности;

4. Забойные давления и дебиты всех скважин;
5. Показатели добычи нефти, воды и нагнетание воды.

Формируются 22 выходных вектора содержащие параметры для расчетного шага:

1. Пластовое давление и значение водонасыщенности в исследуемой ячейке;
2. Забойные давления и дебиты всех скважин;
3. Показатели добычи нефти, воды и нагнетание воды.

В итоге каждой ячейке будет сопоставлены одни и те же значения показателей скважин и всей добычи, что накладывает заранее погрешность в данную оценку, т.к. для всех ячеек вряд ли будет найдена универсальная нейросетевая регрессионная связь с выше указанными параметрами. Однако, предполагается, что должно получаться нормальное распределение, где для большинства ячеек будет обеспечено получение показателей разработки.

Методика оценки эффективности нейронных сетей будет сделана через реализацию множества сетей с разнообразной архитектурой изменяющейся за счет количества нейронов в скрытом слое, а также активационными функциями в скрытом и выходном слое.

Нейросетевое моделирование будет реализовано за счет многослойного персептрона. Структурная схема многослойного персептрона с одним скрытым слоем демонстрируется на рис.5. Многослойная нейронная сеть может создавать произвольную многомерную функцию при соответствующем выборе количества слоёв, диапазона изменения сигнала и весовых коэффициентов нейронов. Аппроксимация достигается за счёт поочерёдного расчёта линейных комбинаций и нелинейных преобразований.

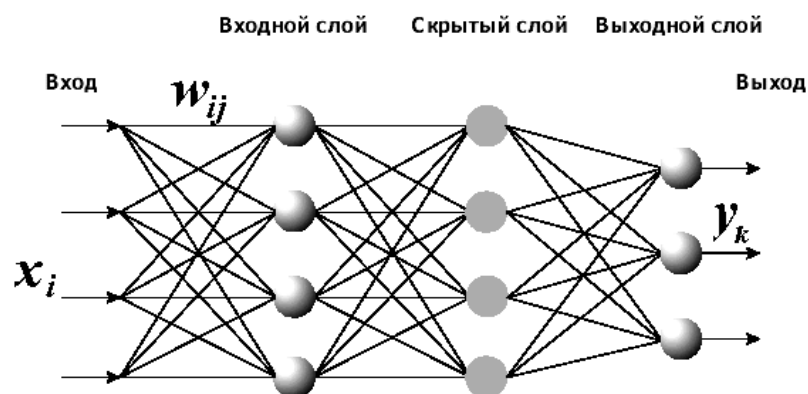


Рисунок 4.1 – Многослойный персептрон

MLP-сети обладают следующими достоинствами: обратное распространение – один из самых эффективных алгоритм обучения многослойных нейронных сетей. Один из самых популярных алгоритмов обучения, с его помощью были решены и решаются многочисленные практические задачи.

Также можно выделить и недостатки: многокритериальная задача оптимизации в методе обратного распространения рассматривается как набор однокритериальных – на каждой итерации происходят изменения значений параметров сети, улучшающие работу лишь с одним примером обучающей выборки. Такой подход существенно уменьшает скорость обучения. Классический метод обратного распространения относится к алгоритмам с линейной сходимостью. Для увеличения скорости сходимости необходимо использовать матрицы вторых производных функции ошибки.

Для реализации исследования будет использоваться вариативность, имитирующая анализ неопределенности. Будет создано 10 вариантов численной модели пласта:

- a) базовый,
- b) с увеличенной проницаемостью на 10%,
- c) с увеличенной проницаемостью на 50%,
- d) с увеличенной пористостью на 10%,
- e) с увеличенной пористостью на 25%,
- f) с уменьшенной пористостью на 15%,
- g) с повышенным забойным давлением добывающих скважин на 20%,
- h) с повышенным забойным давлением добывающих скважин на 50%,
- i) с повышенным забойным давлением нагнетательных скважин на 20%,
- j) с пониженным забойным давлением нагнетательных скважин на 20%.

Предполагается, что выборка, основанная на первых двух расчетных шагах каждого варианта, будет достаточно разнообразной для решения задачи регрессии.

5 . РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе исходных данных был сделан петрофизический анализ, обработка ГИС и увязка с керном. Были выделены две характерные зоны коллектора, верхняя – высокопроницаемая и нижняя – низкопроницаемая. Геологическая модель участка 5000х5000м содержит 291000 ячеек.

Выделенная зона с девятью скважинами (рисунок 5) имеет как ячейки с высокой проницаемостью, так и с низкой. Выделенный участок имеет размеры 14х14х12, 2352 ячейки, однако активных блоков только 663.

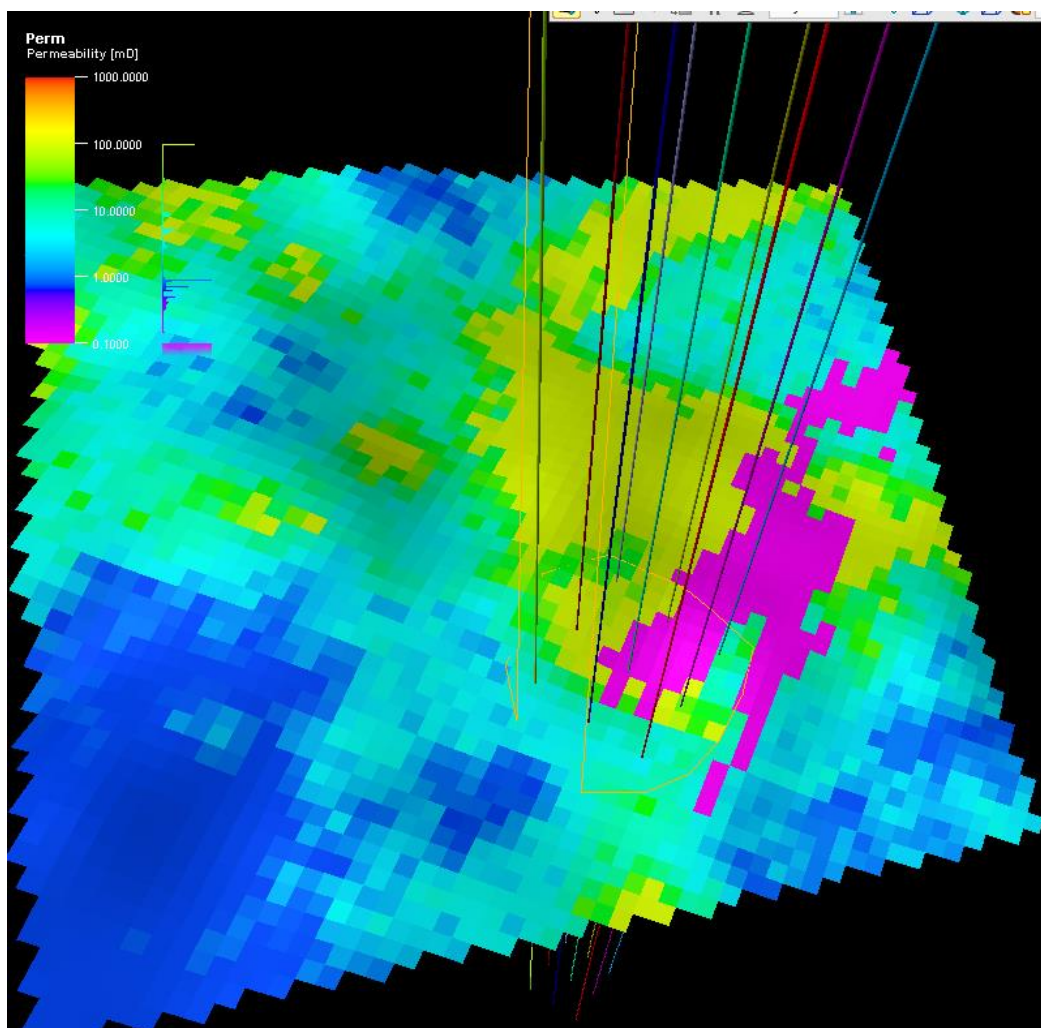


Рисунок 5.1 - Куб проницаемости численной модели

Все описанные в предыдущей главе варианты были просчитаны в выделенной зоне.

Результаты моделирования были извлечены из файлов программы Eclipse и подготовлены к работе со STATISTICA.

Был осуществлен запуск 150 разных архитектур нейронных сетей с MLP. Лучшие моделируемые архитектуры MLP-сетей получились следующие:

Таблица 5.1. Наиболее эффективные архитектуры MLP-сетей

Архитектура	Трени- ровка	Тест	Валида- ция	Ошибка трениров- ки	Функция ошибки	Активационная функция скрытого слоя	Активационная функция выходного слоя
MLP 58-56-22	0.914	0.904	0.902	402.81	SOS	Exponential	Tanh
MLP 58-76-22	0.923	0.911	0.909	369.47	SOS	Logistic	Tanh
MLP 58-69-22	0.922	0.910	0.907	371.43	SOS	Logistic	Tanh
MLP 58-55-22	0.926	0.916	0.910	370.20	SOS	Logistic	Tanh
MLP 58-93-22	0.913	0.903	0.899	402.79	SOS	Logistic	Identity
MLP 58-95-22	0.924	0.912	0.910	379.02	SOS	Exponential	Logistic
MLP 58-96-22	0.916	0.904	0.901	407.78	SOS	Logistic	Exponential
MLP 58-88-22	0.925	0.913	0.909	359.15	SOS	Logistic	Tanh
MLP 58-76-22	0.913	0.904	0.900	405.05	SOS	Exponential	Tanh
MLP 58-62-22	0.924	0.914	0.908	379.26	SOS	Tanh	Logistic
MLP 58-83-22	0.927	0.914	0.911	361.21	SOS	Tanh	Logistic
MLP 58-88-22	0.928	0.911	0.903	356.44	SOS	Tanh	Exponential
MLP 58-54-22	0.918	0.907	0.905	394.53	SOS	Tanh	Tanh
MLP 58-99-22	0.929	0.911	0.905	348.86	SOS	Logistic	Logistic
MLP 58-86-22	0.925	0.913	0.908	372.49	SOS	Logistic	Logistic
MLP 58-95-22	0.924	0.913	0.908	362.02	SOS	Tanh	Tanh
MLP 58-80-22	0.912	0.902	0.899	424.53	SOS	Tanh	Exponential
MLP 58-61-22	0.926	0.912	0.906	372.30	SOS	Logistic	Logistic

Коэффициенты корреляции между целевыми значениями и выходными получились довольно высокие. Тестовая и валидационные выборки брались случайным образом по 15% каждая от всего массива данных.

Для дальнейших расчетов была выбрана сеть MLP 58-95-22 с активационными функциями – экспоненциальной в скрытом слое и активационной в выходном.

Прогноз для базового случая имеет следующие результаты – рисунки 5.2, 5.3 и 5.4 Прогнозным значение использовалось среднее среди всех полученных значений.

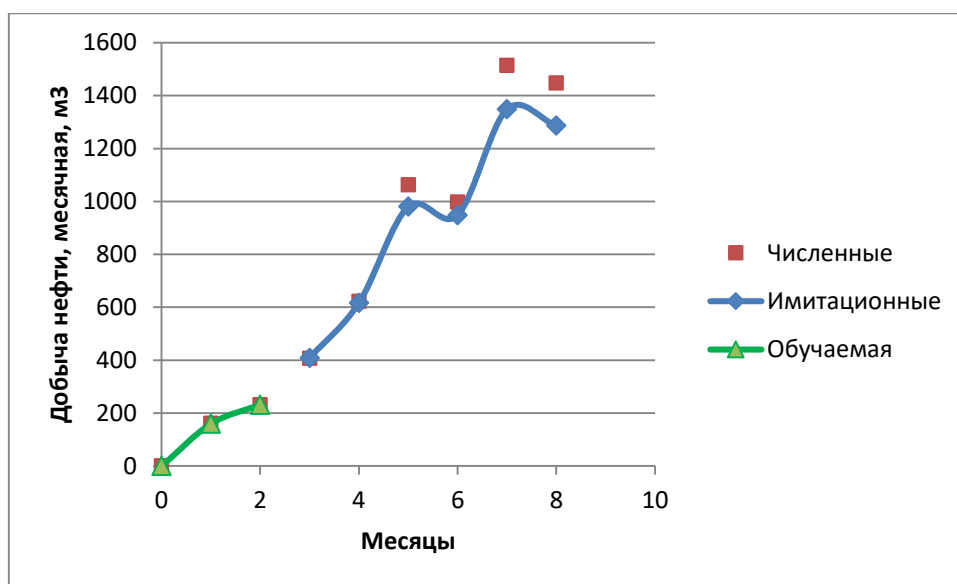


Рисунок 5.2 - Прогноз добычи нефти по суррогатной прокси-модели

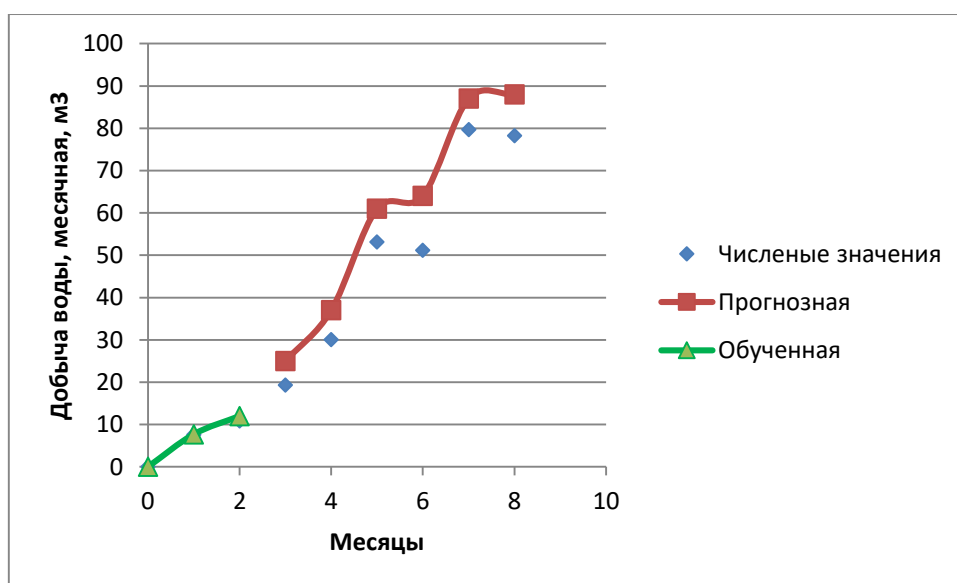


Рисунок 5.3 - Прогноз добычи воды по суррогатной прокси-модели

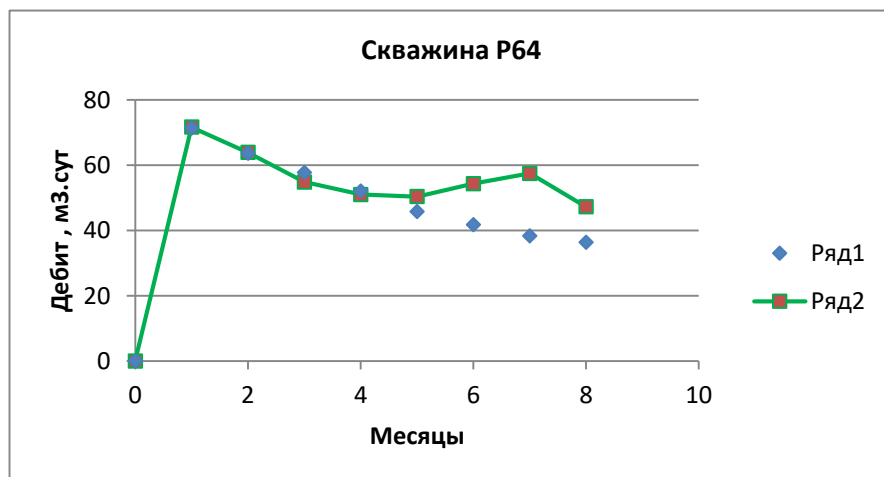
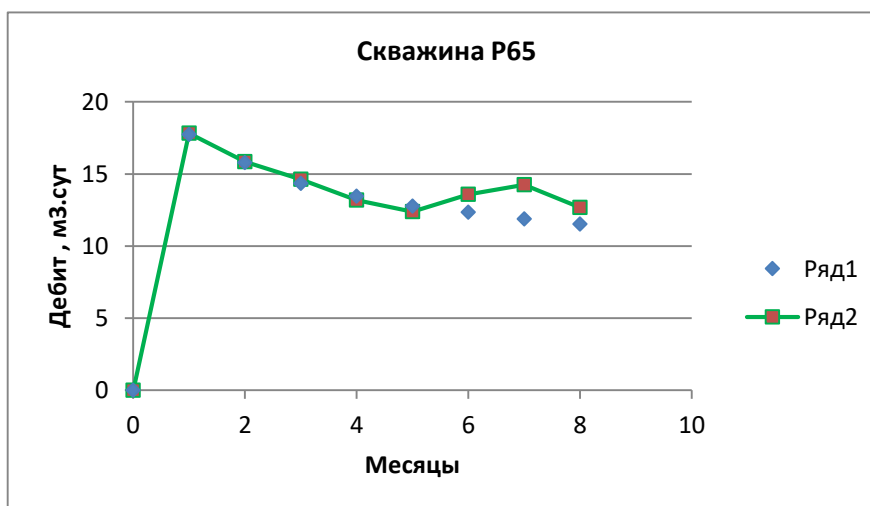
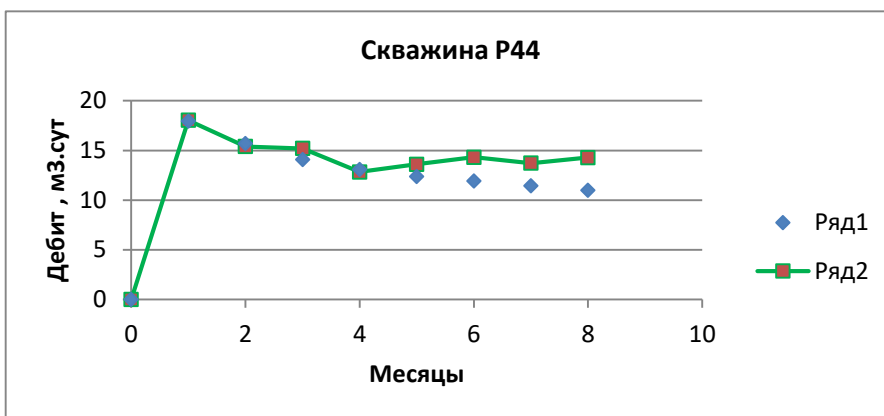
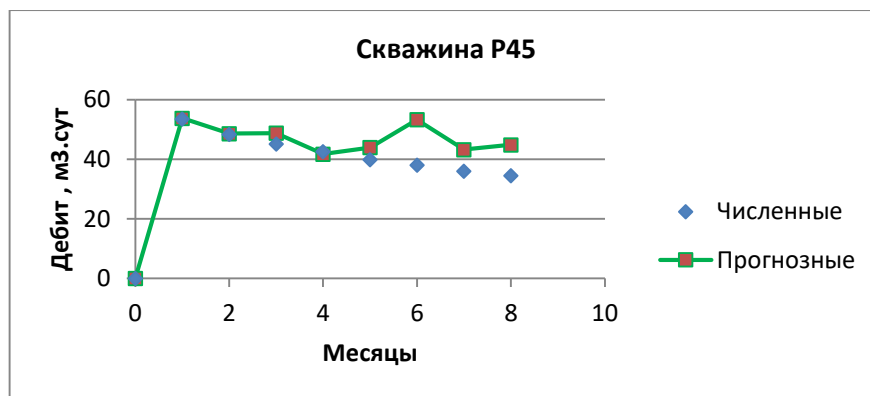


Рисунок 5.4 - Прогноз дебита добывающих скважин

Прогноз добычи на рассматриваемом временном промежутке относительная ошибка имеет тренд увеличиваться во времени. Эффект накапливания ошибки проявляется со временем, на t_8 разница в добыче нефти чуть больше 11%.

Добыча воды в рассматриваемом промежутке времени имеет низкое значение и отклонение модели от численных значений имеет большое влияние на значение относительной ошибки, на третьем шаге практически равно 30%. Но после этого наблюдается тренд снижения ошибки за счет абсолютного роста добычи воды в будущем.

Дебит нефти определялся среднее из массива расчетов по всем ячейкам. Результаты имеют нормальное распределение, как и предполагалось – рисунок 5.5.

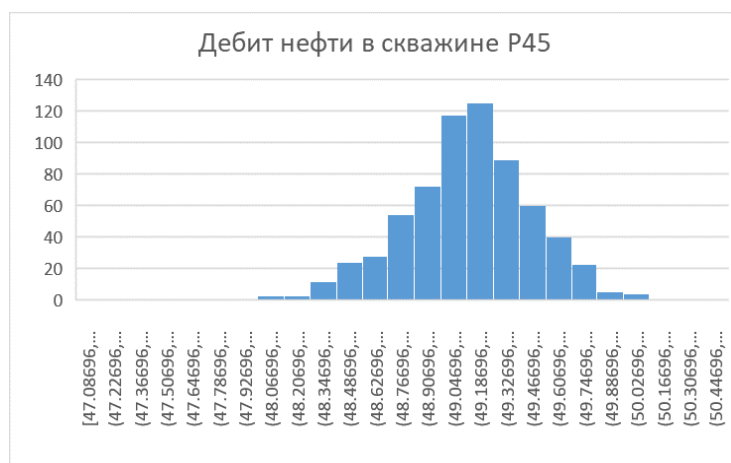




Рисунок 5.5 а – Распределение значений дебитов нефти в скважинах Р45, Р44

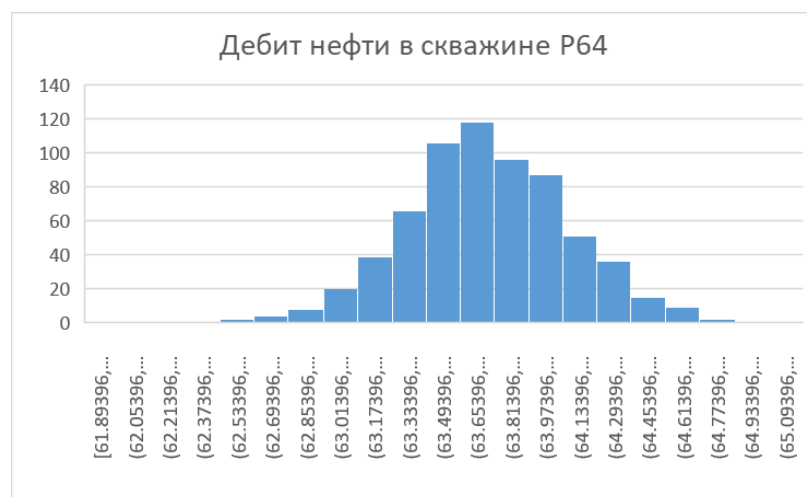


Рисунок 5.5 б – Распределение значений дебитов нефти в скважинах Р65, Р64

В рассматриваемом промежутке построенная суррогатная модель выдает ожидаемый результат в росте относительных отклонений от целевых значений за счет постепенного накопления ошибки предыдущих расчетов.

Показывает сильные отклонения в предсказании добычи воды при ее низком абсолютном значении. Прогнозирует добычу нефти с допустимым отклонением в краткосрочной перспективе.

Давление в ячейках, p_n показывает временной шаг расчета на рис 5.6., аналогично для водонасыщенности – рисунок 5.7.

Наблюдается рост ошибки прогноза давления и водонасыщенности в каждой ячейке со временем, обеспеченным накоплением отклонения от истинных значений на прошлых расчетных шагах.

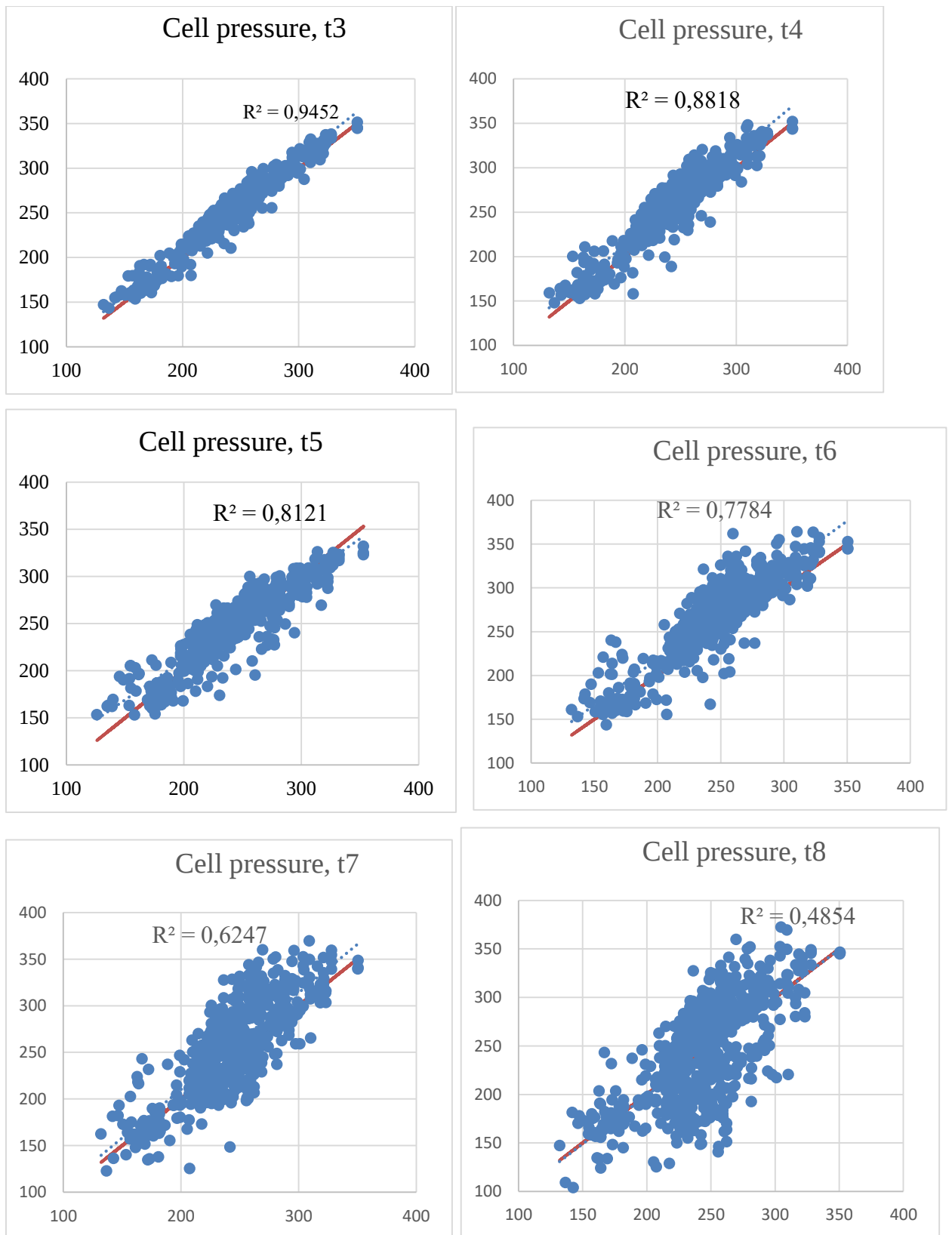


Рисунок 5.6. Изменение точности предсказанных значений давления. По оси X располагаются выходные значения с модели, по оси Y – целевые с численной модели, t_n – временной шаг

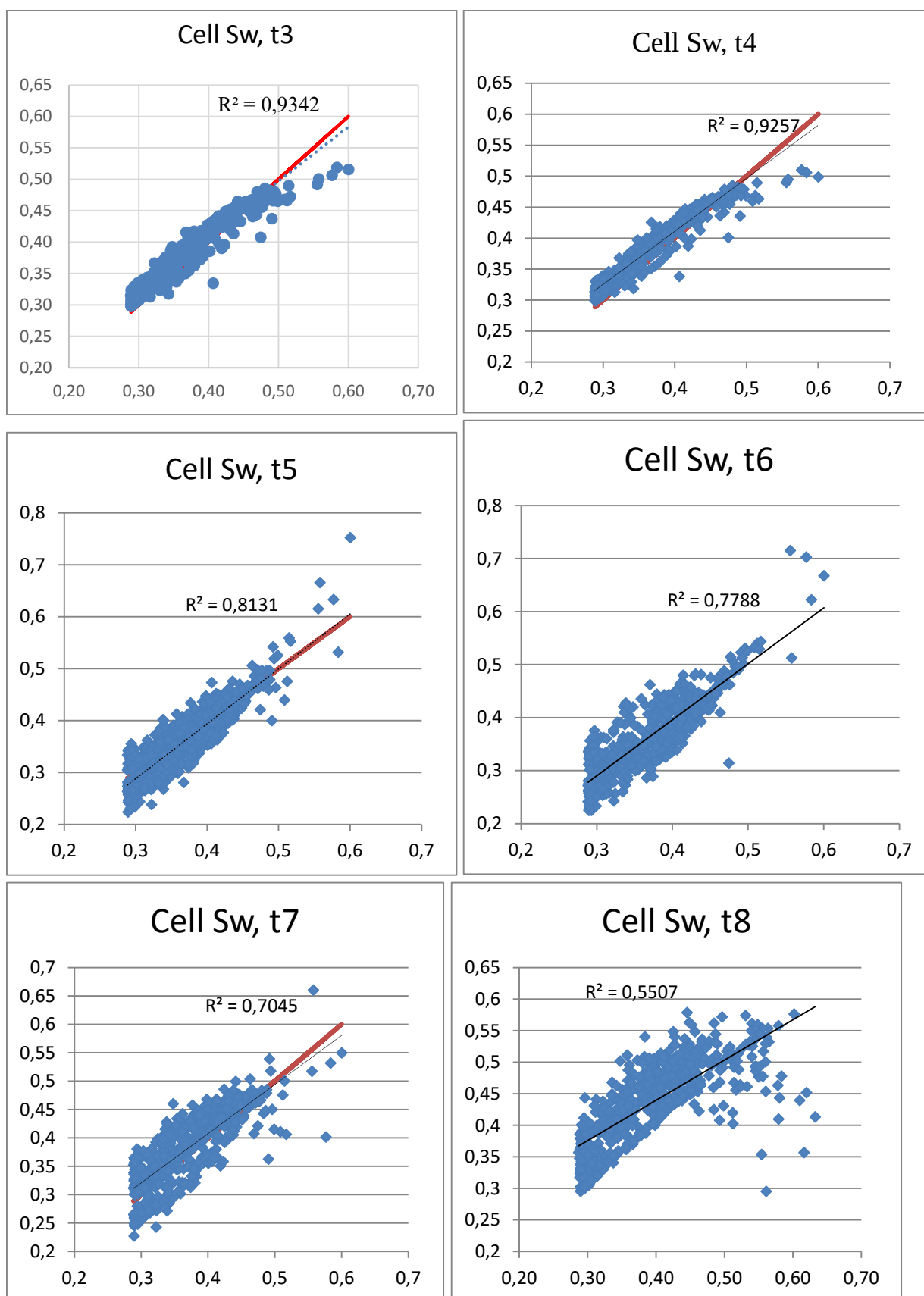


Рисунок 5.7. Изменение точности предсказанных значений водонасыщенности. По оси X располагаются выходные значения с модели, по оси Y – целевые с численной модели, t_n – временной шаг

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Анализ неопределенностей является важным инструментом на ранних стадиях разработки месторождения, т.к. на его основе принимаются решения о дальнейших действиях. Моделирование помогает упростить процесс оценки и помогает всесторонне оценить возможные риски при разработке. Экспресс-оценка неопределенностей помогла бы в короткие сроки правильно спланировать эффективную систему разработки.

Оценка инвестиционной ценности исследования является важным критерием для фандрайзинга, источников инвестиций и коммерциализации результатов. Необходимо представлять состояние и перспективы реализуемого исследования, востребованность рынком, оптимальную цену для потребителя, бюджет проекта.

Целью данного раздела является оценка предлагаемого исследования с позиции финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение данной цели возможно через решение следующих задач:

1. разработка общей экономической идеи суррогатной прокси-модели, формулировка концепции проекта;
2. организации работ по научному исследованию;
3. определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
4. оценка коммерческого потенциала и перспективности суррогатного прокси-моделирования;
5. определение ресурсной, финансовой, социальной и хозяйственной эффективности исследования.

Инвестиционная привлекательность в данный момент времени одна из главных ценностей любого проекта. По этому поводу при предпроектном анализе следует учитывать и экономические стороны выполняемой работы. Оценка экономической стороны проекта поможет оптимально распределить ресурсы, контролировать состояние продвижения работы.

6.1. Разработка общей экономической идеи суррогатного прокси-моделирования

Ценность данного проекта состоит в создании нового инструмента для быстрой оценки неопределенностей разработки месторождений. Это является главным параметром при инвестиционной оценке любого проекта, это инициирует одну из основных частей экономического анализа – менеджментов рисков.

Суррогатная прокси-модель способна ускорить этот процесс, а также сэкономить деньги на решение ряда задач, связанных с большими расчетами на численных моделях резервуаров.

Также суррогатную прокси-модель можно рассматривать как прямой инструмент ресурсоэффективности и ресурсосбережения при проектировании разработки нефтяного месторождения. Это затрагивает такие ресурсы как время и финансы.

Экономическая ценность данного проекта является высокой, т.к. позволит напрямую уменьшить расходы и ускорить принятие решений. Что обычно при оценке методом потоков наличности является наиболее действенными методами для менеджмента рисков.

6.2. Организация работ по научному исследованию

Организационное управление проектом содержит этап формирования организационного механизма, позволяющих достичь успеха при подготовке и реализации проекта.

Оценить успешность применения организационного, а также функционального управления можно через результаты следующих этапов управления:

1. Инициация проекта;
2. Планирование проекта;
3. Исполнение проекта.

Инициация проекта подразумевает формулировку изначальной цели и финансовых ресурсов. Цели суррогатной прокси модели была определена через SMART как создание концепции суррогатной прокси-модели и применение её на реальном месторождении за 1,5 месяца. Результатом должна являться методика построения данной прокси-модели, а также сравнительные результаты прогноза с целевыми из численного моделирования.

Также при инициации проекта определяются заинтересованные стороны – shareholders. Для данного проекта заинтересованные лица перечислены в таблице:

Таблица 6.1 – Заинтересованные лица проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Нефтяные компании	Упрощение оценки неопределенностей, ускорение принятия решений, ресурсоэффективность
Инвестиционные фонды, финансовые структуры	Ускорение получения базы для менеджмента рисков инвестиционного проекта
Научные центры	Возможность перенести наработки концепции суррогатного прокси-моделирования в другие сферы науки и промышленности

Ограничения и допущения проекта включающие факторы, которые могут привести к каким-либо ограничениям также должны быть оценены при инициации проекта:

Таблица 6.2 – Факторы и ограничения проекта

Факторы	Ограничения
Бюджет проекта - отсутствует	Нет возможности нанимать специалистов в данной области, нет возможности пройти курсы по машинному обучению, нет возможности приобрести платные программные продукты
Сроки проекта – сжатые	Нет возможности осваивать сложные по архитектуре нейронные сети

Ограничения проекта сложно преодолеть, поэтому реализация будет проходить в более тяжелых условиях.

Планирование проекта. В этом разделе включают ключевые события и систему дедлайнов.

6.3. Бюджет научного проекта

Бюджет можно оценить через определение затрат на выполнение НИР. Это реализуется через составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов. На основе данного подсчета осуществляется планирование и учет затрат на научные исследования.

Калькуляция плановой себестоимости проведения НИР составляется по следующим статьям затрат:

- а) материалы (материальные затраты);
- б) оплата труда работников, непосредственно участвующих в НИР;
- в) прочие прямые расходы;

- г) оборудование для научных и исследовательских работ;
- д) накладные расходы.

Прямым затратам - пункты а-г, связанным с выполнением НИР. Величина прямых затрат определяется прямым счетом. Накладные расходы (статья д) подразумевают затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб. Величина накладных расходов рассчитываются косвенным способом.

6.4. Формирование и расчет затрат, включаемых в себестоимость

Материальные затраты

. К категории материалов относят:

- сырье, основные и вспомогательные материалы;
- покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- электроэнергия (на технологические цели).

Этот пункт оценивается исходя из стоимости всех материалов, необходимых для выполнения НИР

Стоимость материалов формируется на основе цены на рынке и платы за транспортировку (возможно упаковку и доставку). Затраты сторонних организаций, связанных с доставкой материальных ресурсов для НИР, незначительны (2-4%), то их можно опустить.

Материальных расходы могут быть оценены по следующей формуле:

$$C_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi},$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение расходов на транспортировку материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Затраты на перевозку берутся около 15-25% от стоимости материалов. В рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы примем $k=0,15$.

Калькуляция расходов на материалы приведена в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество, шт./упак.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Комплект канцелярских предметов	Скрепки канцелярские 50 шт., ручки 2 шт., карандаши 2 шт. Бумага для принтера, формат А4, 500 шт., ластик	1	830,00	830,00

	1 шт., нож канцелярский 1 шт., корректор 1 шт.			
Итого по статье C_M				830,00

Оплата труда работников, участвующих в НИР.

Статья расходов содержит основную зарплату работников, участвующих в НИР, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (из табл. 10);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_o},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – месяцы без отпуска в течение года: 24 раб. дня отпуска это $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях), см. табл. 6.4.

Таблица 6.4 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Стажер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Показатели рабочего времени	Руководитель	Стажер
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад руководителя (аспирант кафедры):

$$Z_{m \text{ рук.}} = Z_{mc} \times K_p,$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

Согласно отраслевой системе оплаты труда основная месячная заработная плата руководителя (профессор) составляет 32000,00 руб.

$$Z_{m \text{ рук.}} = (32000,00) \times 1,3 = 41600,00 \text{ (руб.)},$$

$$З_{исп.} = (5000,00) \times 1,3 = 6500,00 \text{ (руб.)},$$

Среднедневная зарплата руководителя и дипломника соответственно равны:

$$З_{дн\text{ рук.}} = \frac{41600,00 \times 10,4}{251} \approx 1723,70 \text{ (руб.)},$$

$$З_{дн\text{ дип.}} = \frac{6500,00 \times 10,4}{251} \approx 269,30 \text{ (руб.)}.$$

Заработная плата руководителя и дипломника за время работы над дипломной работой составляет соответственно:

$$З_{осн\text{ рук.}} = 1723,9 \times 6,4 \approx 11031,5 \text{ (руб.)},$$

$$З_{осн\text{ дип.}} = 269,3 \times 90 \approx 24237,00 \text{ (руб.)}.$$

Результаты расчета основной заработной платы сведены в таблице 6.5.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = З_{осн} \times K_{внеб},$$

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

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 6.5 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата, руб.	Руководитель	Стажер
Основная зарплата	11031,5	24237
Внебюджетные отчисления	3102,53	7271,10
Итого по статье $C_{зп}$ (включая $C_{внеб}$)	46642,13	

Накладные расходы

Основные работы для ВКР проводились за персональным компьютером. Время, проведенное за рабочей станцией: 700 часов. Мощность рабочей станции: 0,270 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C_{эл} = \Pi_{эл} \times F_{об} \times P = 5,8 \times 700 \times 0,270 = 2175,00 \text{ (руб.)},$$

где $\Pi_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (4,5руб. за 1 кВт·ч);

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.;

P – мощность оборудования, кВт.

Затраты на электроэнергию составили 2175 рублей.

Таблица 6.6 – Накладные расходы на ВКР

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	кВт·ч	189	4,5	850,5
Печать на листе А4	шт.	250	0,8	200
Доступ в интернет	месяц	4	350	1400
Итого по статье $C_{накл}$				2450,5

Себестоимость НИР

Калькуляция плановой себестоимости НИР на основании полученных данных по отдельным статьям затрат приведена в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Калькуляция плановой себестоимости

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты (C_M)	575,00
Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИР ($C_{ЗП}$), включая отчисления во внебюджетные фонды ($C_{ВНЕБ}$)	45642,13
Накладные расходы ($C_{НАКЛ}$)	2450,5
Итого себестоимость НИР ($C_{НИР}$)	48707,63

6.5. Итог

Стоимость такого проекта может составлять около 50 тыс. рублей. Больших исследований на основе машинного обучения в нефтегазовой индустрии на данный момент очень мало. И любой подобный проект может стать настоящим прорывом в индустрии в самых проблемных местах проектирования разработки, также в потенциале может существенно повысить качество некоторых операций таких как управление режимами разработки месторождений и мероприятий, направленных на повышение КИН, а главное ускорить принятие решений. Результат данного проекта увеличит ресурсоэффективность и ресурсосбережение заинтересованным сторонам и на рынке является очень ценным продуктом, способным мультипликационным путем отбить затраты.

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью настоящего исследования является разработка методики построения суррогатной прокси-модель Крапивинского нефтяного месторождения.

7.1. Профессиональная социальная безопасность

В рамках данной работы в качестве лабораторной установки использовались персональные и портативные компьютеры. Работа выполнялась сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представлял собой компьютерный стол с персональным компьютером, следовательно, можно выделить следующих физические факторы, влияющих на здоровье человека: длительное неизменное положение тела, напряжение глаз, воздействие электромагнитных полей.

Перед началом работ был проведен вводный инструктаж по правилам пользования аппаратурой, поведения в чрезвычайных ситуациях, инструктаж на рабочем месте. На человека в процессе его трудовой деятельности могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы. Опасным производственным фактором согласно ст. 209 Трудового Кодекса РФ называется производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме. Вредным - производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию. Опасные и вредные производственные факторы классифицированы в ГОСТ 12.0.003-74. Уровни воздействия опасных и вредных производственных факторов на работающих нормированы предельно-допустимыми уровнями, значения которых установлены в соответствующих стандартах системы стандартов безопасности труда и санитарно-гигиенических правилах. Защита от них обеспечивается снижением их уровня в источнике и применением профилактических и предохранительных мер.

7.2. Производственная безопасность

Таблица 7.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении исследования

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером.	1. Недостаточная освещённость рабочей зоны: отсутствие или недостаток естественного света; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 4. Повышенная или пониженная влажность воздуха	Электрический ток	1. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». 3. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

			4. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. 5. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
--	--	--	--

7.3. Анализ вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Отрицательное влияние компьютера на человека является комплексным, во время работы за компьютером на организм влияет целый ряд негативных физических и психологических факторов. Физическими факторами являются:

- повышенная пульсация светового потока;
- широкий спектр излучения от дисплея, который включает рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области;
- повышенный уровень электромагнитных излучений различных частот от монитора и системного блока;
- загрязнение воздуха пылью;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;

- возникновение на экране монитора статических зарядов, заставляющих частички пыли двигаться к ближайшему заземленному предмету, которым оказывается лицо пользователя;
- опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- опасность возникновения пожара.

Таким образом, влияющие на работоспособность вредные факторы должны быть определены нормативными правовыми актами в области санитарно-эпидемиологического контроля и скомпенсированы рациональной организацией рабочего места. Для этого должны быть рассмотрены понятия микроклимата, освещенности рабочего места, уровня шума, особенностей электрического напряжения в сети, уровня напряженности выполняемых работ и их нормативов.

Освещение рабочего места

От степени освещенности напрямую зависит работоспособность человека, его физическое и психоэмоциональное состояние. Помещения различного назначения имеют специальные требования по освещенности. При расчете освещенности учитываются характеристики рабочего процесса, осуществляемого человеком, его периодичность и длительность. Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники, относится к III разряду зрительной работы, имеет следующие недостатки:

- блики экрана;
- слабая контрастность между изображением и фоном.

В связи с тем, что естественное освещение слабое, на рабочем месте должно применяться также искусственное освещение.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения равна 7 м (А), ширина – 6 м (В), высота – 4,5 м (Н). Высота рабочей поверхности над полом – 0,8 м (h_p). Основные требования и значения нормируемой освещённости рабочих поверхностей изложены в СП 52.13330.2011. В соответствии разрядом зрительной работы необходимо создать освещенность не ниже 200 лк.

Воздействие шума

Воздействие шума на человека может иметь различные последствия в зависимости от уровня шума. Слабый шум преимущественно мешает понимать речь или вызывает раздражение. По мере усиления шума этот эффект усиливается, и, в дополнение, могут возникать физиологические последствия влияния шума на слух. Высокий уровень шума может привести к снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении различных видов работ. Он замедляет реакцию человека на поступающие от технических устройств сигналы, угнетает центральную нервную систему, вызывает изменения скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ.

Лабораторная аудитория, эксплуатируемая в рамках настоящей магистерской диссертации, обладает низким уровнем общего шума. Источниками шумовых помех могут являться вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства.

Эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБ согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Защиту от шума следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12.1.003-76, а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям главы СанПиН 11-12-77.

Для изложенных целей применяется звукопоглощающее покрытие стен и потолка звукопоглощающим материалом, организуется рациональная планировка помещения, в которой компенсируется воздействие источников шума по периферии. На используемом в компьютерных помещениях оборудовании по возможности выставляется минимальный уровень шума.

Повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенная напряжённость электрического поля

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человек. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье работника.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 приведены в таблице 7.2

Таблица 7.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Для предупреждения внедрения опасной техники все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности. Для защиты от вредных влияний включенного видеомонитора на организм пользователя ЭВМ необходимо соблюдать следующие требования:

- на рабочем месте располагаться от экрана до глаз на расстоянии не менее 600-700 мм;
- использовать экранные фильтры типа «Полная защита»;
- соблюдать рациональный режим труда и отдыха в течение рабочего дня в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться требования, приведенные в таблице 6.3 в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 6.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ I.a

Период года	Наименование параметра			
	Температура воздуха, С°	Температура поверхностей, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с.
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1

теплый	23-25	22-26	40-60	0,1
--------	-------	-------	-------	-----

Для создания и автоматического поддержания в аудитории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, независимо от наружных условий, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Напряженность труда

Напряженность труда – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника. К факторам, характеризующим напряженность труда, относятся: интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, степень монотонности нагрузок, режим работы. Причинами появления являются следующие процессы:

- длительное пребывание в одном и том же (сидячем) положении и повторение однотипных движений, монотонность труда;
- умственное перенапряжение, обусловленное характером решаемых задач;
- большой объем перерабатываемой информации;
- нервно-эмоциональные и нервно-психические перегрузки, в особенности у начинающих пользователей; стресс при потере информации;
- утомление глаз, повышенная нагрузка на зрение;
- повышенная нагрузка на опорно-двигательный аппарат, в особенности на позвоночник и суставы верхних конечностей.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ЭВМ и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности с ЭВМ разделяются на 3 группы: группа А – работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом; группа Б – работа по вводу информации; группа В – творческая работа в режиме диалога с ЭВМ.

Если в течение рабочей смены пользователь выполняет разные виды работ, то его деятельность относят к той группе работ, на выполнение которой тратится не менее 50% времени рабочей смены.

Категории тяжести и напряженности работы на ЭВМ определяются уровнем нагрузки за рабочую смену: для группы А – по суммарному числу считываемых знаков; для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков; для группы В – по суммарному времени непосредственной работы на ЭВМ.

В таблице 7.4 приведены категории тяжести и напряженности работ в зависимости от уровня нагрузки за рабочую смену.

Таблица 7.4 – Виды категорий трудовой деятельности с ЭВМ

Категория работы по тяжести и напряженности	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы на ЭВМ		
	Группа А	Группа Б	Группа В
	Количество знаков	Количество знаков	Время работы, ч

I	До 20000	До 15000	До 2,0
II	До 40000	До 30000	До 4,0
III	До 60000	До 40000	До 6,0

В процессе выполнения настоящей магистерской диссертации, лабораторным работам отводилось порядка 1 час в день, но непосредственное оформление пояснительной записки занимало до половины полной рабочей смены и варьировалась по виду операций с ЭВМ. Продолжительность непрерывной работы на ЭВМ без регламентированного перерыва не превышало 2 часа.

7.4. Анализ опасных факторов

Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от воздействия электрического тока. Положением о соблюдении электробезопасности является ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.

Опасный производственный фактор в помещении – поражение электрическим током. Основными причинами этого могут послужить прикосновение к токоведущим или конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. Аудитория относится к категории помещений без повышенной опасности и характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, отсутствие сырости, химически активной среды, токопроводящих пыли и полов.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое,

световое воздействие. Термическое воздействие тока характеризуется нагревом кожи и тканей до высокой температуры вплоть до ожогов. Электролитическое воздействие заключается в разложении органической жидкости, в том числе крови, и нарушении ее физико-химического состава. Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови. Механическое действие связано с сильным сокращением мышц вплоть до их разрыва. Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей и сопровождается судорожными сокращениями мышц. Световое действие приводит к поражению слизистых оболочек глаз.

С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ в сеть должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус компьютера;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети ЭВМ и устранить неисправность;
- запрещается при включенной ЭВМ одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды сводится к устранению отходов бытового мусора и отходам жизнедеятельности человека. В случае выхода из строя ПК, они списываются и отправляются на специальный склад, который при необходимости принимает меры по утилизации списанной техники и комплектующих.

Одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения являются вышедшие из эксплуатации люминесцентные лампы. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ.

Утилизация ламп предполагает передачу использованных ламп предприятиям – переработчикам, которые с помощью специального оборудования перерабатывают вредные лампы в безвредное сырье – сорбент, которое в последующем используют в качестве материала для производства, например, тротуарной плитки.

Под хранением отходов понимается временное размещение их в специально отведённых для этого местах или объектах до их утилизации. Отработанные люминесцентные лампы, согласно Классификатору отходов ДК 005-96, утвержденному приказом Госстандарта № 89 от 29.02.96 г., относятся к отходам, которые сортируются и собираются отдельно, поэтому утилизация люминесцентных ламп и их хранение должны отвечать определенные требованиям.

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Пожарная безопасность

Степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека. Для устранения причин возникновения пожара в аудитории проводится комплекс профилактических противопожарных мероприятий:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения:

- огнетушащие вещества (вода, песок, земля);
- огнетушащие материалы (грубошерстные куски материи – кошмы, асбестовые полотна, металлические сетки с малыми ячейками ит. п.);
- немеханизированный ручной пожарный инструмент (багры, крюки, ломы, лопаты и т. п.);
- пожарный инвентарь (бочки и чаны с водой, пожарные ведра, ящики и песочницы с песком);
- пожарные краны на внутреннем водопроводе противопожарного водоснабжения в сборе с пожарным стволом и пожарным рукавом;
- огнетушители.

Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

7.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Требования к организации и оборудованию рабочих мест

Рабочее место – это часть пространства, в котором инженер осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места инженера должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;

- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;

- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;

- уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

По условиям работы рабочее место инженера относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя. Его рабочее место должно занимать площадь не менее 6 м, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем – не менее 20 м³ на одного человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты обучения модели и её прогнозы продемонстрировали в первую очередь реализуемость данной идеи – замены численного моделирования на информационную модель. Для целых векторов различных показателей были получены числа, близкие к целевым заданным. «Обучение с учителем» играет в этом случае огромную роль. Сеть за счет метода обучения определила веса для нейронов как входных, так и скрытых, весь массив был обработан с корреляцией ~ 0.9 .

Следующим выводом можно определить примерные способности нейронных сетей в данном направлении. Использование нейронной сети простой архитектуры типа MLP способно с допусками сделать прогноз добычи нефти в некотором доверительном временном окне. На поздних стадиях расчета накапливается ошибка, и выдается обосновано другой ответ. Предполагаемое решение проблемы - это более сложные архитектуры нейронных сетей, в т.ч. рекуррентные сети, способные учитывать предыдущее состояние нейрона.

Также нужно отметить, что MLP не способна создать универсальную модель для любой ячейки для получения всей необходимой информации, это возможно оценить только в комплексе со значениями остальных ячеек, где наблюдается нормальное распределение результатов.

Положительным моментом является время работы нейронной сети: для получения результата состояния гидродинамической системы на следующий шаг нужны доли секунды в оговоренном выше доверительном окне данная методика может найти себе применение. Также стоит отметить, что модель неограничена количеством участвующих скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюченко С.В., Ямпольский В. З. Мониторинг и моделирование нефтяных месторождений. Томск: НТЛ. 2000.
2. Мухарский Э.Д., Лысенко В. Д. Проектирование разработки нефтяных месторождений. М.: Недра. 1972.
3. Булыгин В.Я., Б. Д. Имитация разработки залежей нефти. М.: Недра. 1990.
4. РН-УфаНИПИнефть. Руководство для построения прокси-модели пласта. Уфа: Роснефть. 2009.
5. Горбунь Ш.А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. М.: Недра. 1987
6. Золотухин А.Б. Теория нечетких множеств в выборе методов воздействия на нефтяную залежь. Нефт. хоз-во. 1991, N3
7. Еремин Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики. М.: Наука. 1994
8. Иванченко Б.П. Нейросетевое имитационное моделирование нефтяных месторождений и гидрогеологических объектов. Томск: Издательский Дом ТГУ. 2014
9. Еремин Н.А., Настоящее и будущее интеллектуальных месторождений. Нефть. Газ. Новации №12, 2015
10. Mohaghegh, S. D. Grid-Based Surrogate Reservoir Modeling (SRM) for Fast Track Analysis of Numerical Reservoir Simulation Models at the Gridblock Level. SPE Conference Paper. 2012
11. Mohaghegh, S. D. Smart Proxy: An Innovative Reservoir Management Tool; Case Study of a Giant Mature Oilfield in the UAE. SPE Conference Paper. 2015
12. Булыгин В.Я. Правдоподобное моделирование. Казань: Изд-во Казанского университета. 1983
13. University, H. W. (2016). Reservoir simulation. Edinburgh: Heriot Watt University.
14. СургутНИПИнефть. Математическое моделирование пластовых. Методические указания. СургутНИПИнефть.
15. Меркулов В.П., З. Г. Комплексные геофизические исследования при прогнозировании залежей углеводородов в сложно построенных ловушках. Томск. 1996
16. Парначёв С.В. Фациально-ориентированные геологические модели как фактор снижения неопределенностей геологического строения

- нефтяных месторождений Западной Сибири. Нефтяное хозяйство, 2011. № 2, вып. XX 2-6.
17. Горбань А.Н. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука. 1998
 18. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука. 1978
 19. Witten I.H. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Second Edition). Morgan Kaufmann. 2005
 20. Минский М., П. С. (1971). Перцептроны. М.: Мир.
 21. McCulloch W.S., P. W. (1943. № 5). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bull. Math. Biophys, P. 115–133.
 22. Rumelhart D.E., H. G. (1986 Vol. 323). Learning representations by back propagating errors. Nature, 533–536.
 23. ЦППС НГ. Анализ разработки Крапивинского месторождения. Томск.
 24. ИНТУИТ. Лекции «Методы классификации и прогнозирования. Нейронные сети».

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

INTRODUCTION

Relevance of the topic. The development of oil fields is based on the integrated design of the development system. At the moment, to improve the efficiency of the project, the simulation of oil reservoir development is used. Mathematical modeling helps to estimate the likely result of reservoir development and increase oil recovery by 10-25% [1] A comprehensive analysis of the available information obtained by the methods of oil and gas field geology is the basis for designing [2]. Specialists of the oil and gas industry have to work with a large number of uncertainties of the initial data, which are the result of obtaining only local information from exploratory wells, as well as inaccuracies in techniques and equipment. The field development project is primarily a commercial project, and investment analysis requires an analysis of possible risks and an assessment of the impact of various uncertainties on the result, as well as the rationale for the most likely options. Simulation of the development of oil deposits simplifies the work [3], but on the other hand it requires large numerical calculations. At the moment, numerical models demonstrate high accuracy, because the equations used are based on physical processes, however, they are limited in the speed of computation due to the scale of the models simulating the reservoir through the structure of cells possessing a set of static and dynamic parameters and the technological side of the electronic computers used. Often, oil and gas companies have tight deadlines for project implementation, and a rapid assessment of uncertainties is required, as well as a change in the model while field development. At the moment, common fast tools for estimating deviations of parameters are the analytical proxy models of reservoirs, but they have insufficient accuracy due to the fact that many factors are not taken into account [4]. The main difference between the proxy model and the numerical model of the reservoir is the lack of calculation of the flow between the cells. The problem of the accuracy of the

rapid assessment of the uncertainties of the field development project is currently quite significant in the oil and gas industry. Its solution could save design time and simplify the assessment of the impact of various parameters on the design.

The use of non-traditional mathematical sections in the oil industry began in the 80's of the XX century. From data analysis in geology and geophysics [5] to the choice of methods of influence on the deposit [6]. In the Russian Academy of Sciences methods of fuzzy logic in modeling of deposits were considered [7]. Ivanenko BP Considered the use of neural networks in the modeling of hydrogeological objects [8]. To date, the problem of rapid estimation of uncertainties is one of the components of the concept of intellectual fields [9]. One of the successful directions of proxy modeling is surrogate reservoir models, significant results of this direction can be noted in the developments of the University of West Virginia and the company Intelligent Solutions, Inc. [10 -11].

The aim of the work is to develop a surrogate proxy simulation methodology for rapid estimation of the uncertainties in the oil field development project capable to predict oil production. The object of the study is the surrogate proxy model of the reservoir, based on the results of numerical simulation of the Krapivinskoye field part development (Western Siberia). The technique of creating a surrogate proxy model of the reservoir is the subject of investigation. Scientific novelty lies in the development of the concept of surrogate proxy modeling using neural networks. The results of this work can be used in designing the development of oil fields to quickly assess the impact of uncertainties on oil production.

1. REVIEW OF LITERATURE

The problem of hydrocarbon deposits developing has always been the prediction of the approximate results of the operations. A breakthrough in this problem occurred when they could implement the application of mathematical modeling [12]. Mathematical modeling involves the creation of systems of equations for the search for corresponding functional dependencies describing the physical processes observed in the objects under study. In problems of oil field geology and in solving applied problems of the theory of fluid filtration in porous media, systems of partial differential equations are used.

According to [12] mathematical modeling is understood as a method for studying various processes by analyzing phenomena that are of a physical nature, but described by the same mathematical relationships. An example of such equations can be the Laplace equations describing many mechanical, electrical and thermal phenomena. In the modeling of an oil reservoir, an object is divided into a number of blocks (cells) and a filtration model is created between adjacent blocks by solving the system of equations of continuity, filtration, and the state in partial derivatives [13]. This method is called numerical simulation of the reservoir and is implemented in software packages of many oil and gas service companies.

This simulation system, modeling the filtration processes, presupposes a certain set of models that allow performing multivariate calculations quite simply and with the required accuracy. Obviously, the required set of parameters characterizing the system is required to obtain the results. Geological information plays an important role in the construction of the hydrodynamic model, since the technological characteristics and operating modes of the wells are justified with the help of a specific design scheme for this reservoir or the entire field [14].

The value of geological information is to maximize the model to the object of interest. However, obtaining geological information is a difficult task. In fact, reliable geological information can only be obtained by a direct method by examining core samples, and estimated using geophysical data or hydrodynamic

well test results. At the same time, an adequate reflection of the geological characteristics of the formation is possible only for deposits with a simple structure. For complex deposits, there is a discrepancy between the parameters of the reservoir element and the development object. And if at the stage of design and calculation of reserves, geological studies are mainly aimed at identifying the volumes and contours of oil-saturated reservoirs, then at the development stage, it is required to justify the directions and rates of filtration, which in turn suggests studies of heterogeneity of geological characteristics of the formation or, in other words, Reservoir [15].

For complex reservoirs, a large estimate of the uncertainties is most relevant. Typical representatives are oil fields of Western Siberia such as Krapivinsky. The most relevant solution is the rigid binding of the reservoir to sedimentological models based on the larger material of the accumulated material on regularities in reservoir systems similar in their formation [16]. For this, a detailed correlation of well sections along the sedimentation cycles is carried out in advance, and in principle, preliminary charts are compiled for each cycle, for example, effective thicknesses. The goal of constructing detailed digital geological models of oil fields is to prepare data for the design of development systems and 3D hydrodynamic modeling. As it was mentioned earlier, the results of the GIS interpretation, as well as the basic sedimentological model, serve as the materials for constructing the models. The numerical hydrodynamic model of the reservoir works with the following petrophysical parameters assigned to each cell and form a cube of porosity, a cube of permeability, a cube of water saturation, a cube of reservoir pressure. They are used functions of phase permeabilities for water and for oil, depending on the water saturation, as well as the function of changing the properties of fluids and rocks, depending on the formation pressure and temperature. It is petrophysical parameters that are one of the sources of uncertainty.

It should be added that in the model the driving force is the inhomogeneous physical field created by the difference in pressures between the production well at the bottom and the reservoir. To maintain reservoir pressure, a water flooding system is used

through the injection wells, usually the water flood agent is the agent. The value of bottomhole pressures on the injection and production wells is also of an uncertain nature, Too large a pressure drop can lead to pulling water from the lower interlayers to the producing well - here the balance between viscous, capillary and gravitational forces is important [13]. Too much pressure at the bottom of the pumping wells can lead to a rapid breakthrough of water in high permeability areas and also worsen oil production. To assess the impact of all these parameters on oil production, it is necessary to analyze and assess uncertainties.

Information modeling is based on the well-known black box method [17] Later, this principle was developed in the study and modeling of complex systems [18], which may include the oil reservoir, opened by a system of producing and injection wells. At the heart of the information cybernetic approach is the creation of models not on the basis of analysis, but on the basis of synthesis of components. At the same time, the external functioning of the system is modeled, which is described purely by information on the basis of experimental data or observations on the real system

The surrogate proxy model is a smart proxy model. The technology is a "learning" of this model based on the results of numerical hydrodynamic modeling. Machine learning methods are applied and ultimately the surrogate model becomes capable of reproducing the functional of the numerical model. At the University of West Virginia and Intelligent Solutions, Inc., a numerical model of a giant oil field in the Middle East was used to implement this concept [10]. The technology is called the Grid-based Surrogate Reservoir Model and is able to reproduce the dynamic state (reservoir pressure and saturation value) of each cell for each time point of the numerical calculation with the required accuracy and, most importantly, at a high speed in comparison with traditional hydrodynamic modeling. The principle is based on creating a regression relationship between the values of the cell state parameters and the neighboring block states at the previous time step with the dynamic state of the cell at the calculated time step. There was an imitation of calculation of liquid filtration through the "black box". Also, the input parameters in the model were the

indicators of producing and suppression wells in the previous step, and the same parameters changed at the calculated stage.

This team from the University of West Virginia and Intelligent Solutions, Inc. with other specialists released an article in 2015 on the results of the surrogate proxy simulation of the giant oil field in the United Arab Emirates [11]. The model contained several million cells and displayed the structure of complex, fractured carbonate reservoirs with more than 500 wells. The model was based on a number of variants of numerical calculations to match the set of development indicators such as reservoir pressure, gas factor, water cut of the production. This was done in order to quickly assess the desired diameter of the borehole to maximize oil production with minimal water cut. The model with the required accuracy coped with the forecast of the main indicators as oil production rate, water cut and gas factor.

Consideration of the above examples of surrogate models leads to the concept of machine learning. Machine learning is at the intersection of mathematical statistics, optimization methods and classical mathematical disciplines [19]. This direction is a subsection of artificial intelligence and studies methods of constructing algorithms that can be trained. One typical problem is the problem of regression, involving "learning with the teacher" when it is required to find a functional relationship between the answer and the input values of the object. One of the ways of realizing this task is the method of neural networks.

In the fifties and sixties, a group of researchers, combining biological and physiological approaches, created the first artificial neural networks. In 1962 the work of F. Rosenblatt was published, in which he proposed the type of ANN, which he called the perceptron [20]. The element of the cellular structure of the brain is a neural cell - a neuron, which has biological tissues that are common to other cells. However, the nerve cell differs significantly from others in its functional purpose. The neuron performs the reception, the elementary transformation and the further transfer of information to other neurons. Information is transferred in the form of impulses of nervous activity, having an electrochemical nature. In Fig. № 1.1. The scheme of the structure of a "typical" neuron is given. The body of the cell contains

a number of branching processes of two types. Processes of the first type, called dendrites, for their similarity to the crown of a sprawling tree, serve as input channels for nerve impulses from other neurons. These impulses to the axon enter the soma, causing its specific excitation, which then spreads through the outcropping of the second type [8].

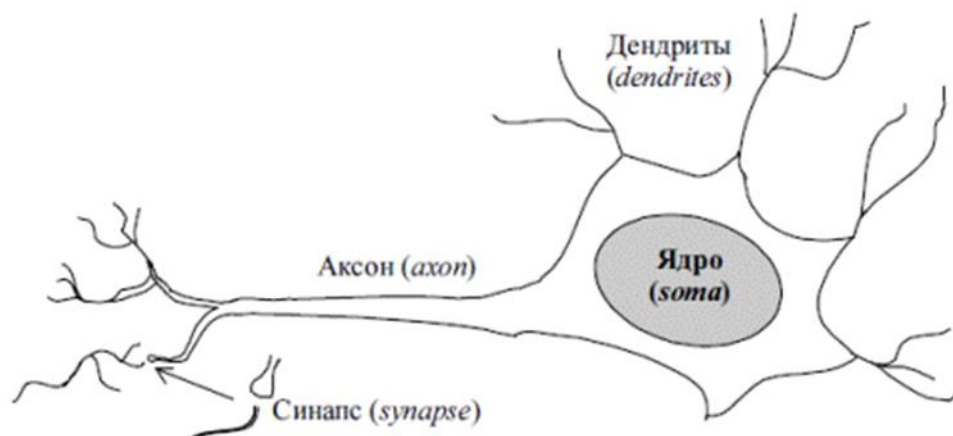


Figure №1.1. A typical scheme of the structure of a biological neuron [8]

McCulloch and Pitts proposed a model in which a neuron is considered a binary element [21]. The structural scheme of this model is shown in Fig. 2.2. The input signals x_j ($j = 1, 2, \dots, N$) are summed taking into account the corresponding weights w_{ij} (the signal arrives in the direction from node i to node j) in the adder. The output signal of the neuron y_i is determined by the dependence:

$$y_i = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ij} x_j(t)\right) \quad (1.1)$$

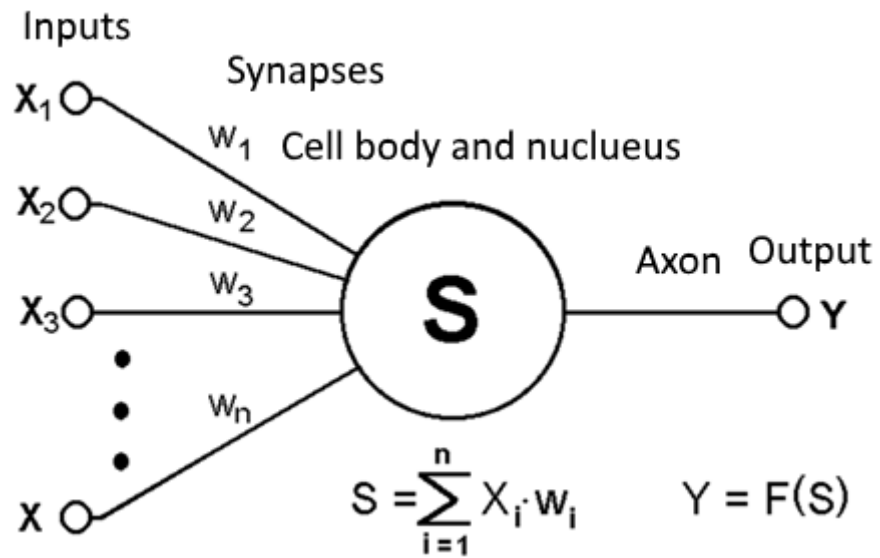


Fig. №1.2. Artificial neuron [22 (INTUIT)]

The function $f(S)$ is called the activation function. In the McCulloch-Pitts model this threshold function is of the form:

$$f(S) = \begin{cases} 1 & \text{для } S > 0; \\ 0 & \text{для } S \leq 0. \end{cases} \quad (1.2)$$

In addition to the threshold, the following types of neuron activation functions (functional converters) are widespread:

1. Linear (identical) activation function:

$$y = k \times s, \quad (1.3)$$

Where k is some coefficient.

2. Fermi function (exponential sigmoid):

$$y = \frac{1}{1+e^{-s}}. \quad (1.4)$$

3. Rational sigmoid

$$y = \frac{s}{c+|s|}, \quad (1.5)$$

where c is a constant.

4. Hyperbolic tangent

$$y = th(S) = \frac{e^S - e^{-S}}{e^S + e^{-S}}. \quad (1.6)$$

Limitations of weak signals and strong falls at the ends of the activation functions were overcome when using multi-layer perceptrons (MLP), but for a long time there was no theoretically grounded algorithm for learning multi-layered artificial neural networks. In 1986, in [23], an algorithm for training multilayer perceptrons based on the calculation of the gradient of the error function was proposed, which was called the back propagation of the error.

The ability to learn is a fundamental property of the brain. In the context of INS, the learning process has the following definition. Adjusting the weights and architecture of the neural network to solve the problem is called a learning procedure. The network is trained to give a desired (or, at least, consistent with it) a set of outputs for a number of inputs. Each such input (or output) set is treated as a vector. Training is carried out by sequential presentation of input vectors with simultaneous adjustment of scales in accordance with a certain procedure.