

*На правах рукописи*

Завьялов Дмитрий Алексеевич

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ  
ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Брянск-2020

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: **Захарова Алёна Александровна**  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Пылькин Александр Николаевич**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры вычислительной и  
прикладной математики ФГБОУ ВО  
«Рязанский государственный  
радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина»

**Орешин Андрей Николаевич**  
кандидат технических наук, сотрудник  
ФГКВБОУ ВО «Академия федеральной службы  
охраны Российской Федерации» (г. Орёл)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный  
авиационный технический университет»

Защита состоится «18» мая 2020 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.021.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», по адресу: 241035, г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, учебный корп. № 4, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» и по адресу в сети интернет: <http://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/zavyalov-dmitriy-alekseevich>

Отзывы на автореферат высылать по адресу: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент

М.Ю. Рытов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

В рамках данной работы система разработки месторождения углеводородов (УВ) рассматривается как социально-экономическая система (СЭС). Такая СЭС имеет сложное иерархическое строение и тесно взаимосвязана с другими СЭС (административно, инфраструктурно, экономически). В состав месторождения входят подземные пласты с залежами УВ, наземная инфраструктура (трубопроводы, жилые и рабочие помещения и др.), скважины (добывающие, нагнетательные, водозаборные и др.). В управлении СЭС «месторождение УВ» на разных этапах участвуют специалисты различных профилей (лица, принимающие решения, – ЛПР), взаимодействие которых зачастую не согласованно. Функционирование месторождения возможно только на основе проектного документа, который определяет стратегию разработки, поэтому управленческая деятельность в разработке месторождений УВ связана с непрерывным выполнением большого числа проектов и носит проектно-ориентированный характер. Для повышения эффективности функционирования месторождения УВ следует усовершенствовать систему управления, что в свою очередь позволит улучшить механизм принятия решений.

Изучением социально-экономических систем и актуальных вопросов повышения эффективности разработки месторождений УВ занимаются многие отечественные и зарубежные ученые. Методология управления проектами и теория социально-экономических систем проработана Новиковым Д.А., Бурковым В.Н., Васильевым Д.К., Заложневым А.Ю., Цветковым А.В., Коновальчуком Е.В., Матвеевым А.А.

Геологическое и гидродинамическое моделирование пластов месторождений УВ освещается в работах Закревского К.Е., Гладкова Е.А., Ямпольского В.З., Захаровой А.А., Пешкова В.Е. Изучению аспектов управления нефтегазовым комплексом и рационального использования ресурсов, а также вопросам оценки эффективности управления в нефтедобывающей отрасли посвящены исследования Виханского О.С., Ворожейкина И.Е., Гончарова И.В., Ефремова В.В., Сорокина Л.В., Хэнди Ч., Арбатова П.А., Назарова В.И., Богданова С.Д., Комарова М.А., Конторовича А.Э., Муракаева М.И., Орлова В.П., Хакимова Б.В., Хикла У.Д. и др.

Существующие исследования, подходы и методы направлены на решение частных проблем в проектной деятельности при разработке месторождений, что связано со сложностью процесса управления разработкой и многопараметричностью задачи планирования.

Таким образом существует противоречие между необходимостью в комплексе учитывать все аспекты проектно-ориентированного управления разработкой месторождения, в том числе человеческий фактор, и отсутствием такой возможности в существующей системе управления. Несмотря на то, что многие положения системы управления регламентированы, она многостадийна и многовариантна, кроме того существует большое число факторов как в самой системе, так и внешних, которые влияют на эффективность работы системы.

Поэтому актуальными являются повышение эффективности проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ на основе комплексного

подхода, повышение адекватности моделей пластов и эффективности принятия решений, а также снижение влияния человеческого фактора.

**Объектом** исследования является система разработки месторождения углеводородов, включающая в себя как пласты с залежами углеводородов, так и объекты наземной инфраструктуры.

**Предметом** исследования является проектно-ориентированное управление системой разработки месторождения углеводородов.

**Цель работы** – разработка моделей и методов повышения эффективности проектно-ориентированного управления разработкой месторождений углеводородов за счет снижения времени выработки управленческих решений и повышения адекватности моделей пластов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Исследовать управленческую деятельность в разработке месторождения УВ, характер и ключевые особенности этой деятельности, выполнить анализ существующих моделей и методов управления и формализацию системы управления разработкой месторождения.

2. Создать системную модель проектно-ориентированного управления разработкой месторождений УВ.

3. Для объединения стадий проектно-ориентированного управления разработкой месторождений за счет комплексирования исходных данных и моделей реализовать комплексный подход к моделированию.

4. Разработать метод поиска аналогий и метод верификации исходных данных на основе трехмерных визуальных моделей данных.

5. Усовершенствовать существующую систему проектно-ориентированного управления разработкой месторождения за счет новых моделей и методов.

6. Выполнить апробацию разработанных моделей и методов, а также усовершенствованной системы проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ на реальных данных по месторождениям Томской области, выполнить внедрение.

#### **Методы исследования**

В работе использованы положения теории управления, методы теории принятия решений, моделирования (численного, визуального), статистического анализа данных, визуального анализа данных, объектно-ориентированного проектирования и программирования.

#### **Научная новизна**

1. Предложена новая системная модель управления разработкой месторождений углеводородов, которая является проектно-ориентированной и в комплексе учитывает все взаимодействующие компоненты и условия процесса управления и его окружения.

*Соответствует п.2 и п.3 паспорта специальности 05.13.10.*

2. Предложено объединение стадий проектно-ориентированного управления разработкой месторождений путем привлечения ретроспективной информации по эксплуатации на стадии геологического моделирования и экономических параметров на стадии прогнозного моделирования разработки для реализации нового комплексного подхода к моделированию месторождений, который позволяет повысить эффективность проектного управления и обеспечивает обратную связь

стадий управления.

*Соответствует п.4 паспорта специальности 05.13.10.*

3. Разработаны новый метод поиска аналогий и новый метод верификации исходных данных при управлении разработкой месторождений на основе трехмерных визуальных моделей данных, повышающие информированность ЛПР в условиях высокой информационной неопределенности.

*Соответствует п.4 и п.6 паспорта специальности 05.13.10.*

4. Предложена усовершенствованная система проектно-ориентированного управления разработкой месторождения, полученная дополнением существующей системы авторскими моделями и методами.

*Соответствует п.5 паспорта специальности 05.13.10.*

**Теоретическая значимость работы** заключается в формализации процесса проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ, в создании новой системной модели проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ, нового комплексного подхода к моделированию и разработке новых методов поиска аналогий и верификации исходных данных. Результаты исследований позволили усовершенствовать существующую систему проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ.

#### **Практическая значимость и реализация результатов работы**

Разработано программное обеспечение J-Function (распределение водонасыщенности в геологической модели), GDM-tool (формирование расстановок проектных скважин), RePort (формирование регламентной отчетности на основе результатов моделирования), Economics (экономическая экспресс-оценка при прогнозном моделировании) для поддержки проектно-ориентированного управления разработкой месторождений УВ. Программное обеспечение может быть использовано проектными институтами и недропользователями при управлении разработкой месторождений, а также университетами при обучении студентов моделированию месторождений.

**Степень достоверности результатов проведенных исследований** подтверждается тестированием на реальных данных, апробацией и внедрением разработанных моделей, методов и программного обеспечения.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Системная модель управления разработкой месторождений углеводородов реализует проектно-ориентированный подход к управлению и за счет комплексности позволяет усовершенствовать существующую систему управления разработкой месторождения.

2. Комплексный подход к моделированию месторождений за счет актуализации на основе ретроспективной информации по разработке и комплексирования моделей повышает адекватность геологической модели и точность подсчета запасов на 9 % и снижает итеративность прогнозного моделирования на 25 %.

3. Метод поиска аналогий и метод верификации исходных данных позволяют восстанавливать недостающие данные в условиях их неполноты на ранних стадиях жизненного цикла месторождений, снижая вероятность принятия ошибочных решений в условиях высокой информационной неопределенности, а также уменьшают количество ошибок при моделировании на 18 % при подсчете запасов и на 13,5 % при прогнозе разработки.

4. Усовершенствованная система проектно-ориентированного управления разработкой месторождения повышает эффективность управления разработкой месторождения УВ за счёт снижения на 9,5 % при подсчете запасов и на 10,2 % при прогнозе разработки времени принятий решений и уменьшает ресурсоемкость моделирования за счёт снижения объемов численного моделирования путем привлечения визуальных моделей данных.

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях и семинарах: «МСИТ» (Томск, 2008, 2014-2017 гг.), «СТТ» (Томск, 2008 г.), «Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии» (Томск, 2009 г.), «Интеллектуальные информационно-телекоммуникационные системы для подвижных и труднодоступных объектов» (Томск, 2010 г.), «Информационные технологии в промышленности и производстве» (Томск, 2016 г.), «СIT&DS» (Волгоград, 2017, 2019 гг.), «Graphicson» (Пермь, 2017 г., Томск, 2018 г., Брянск, 2019 г.), «СРТ2018» (Пушино, 2018 г.), «SC-IoT-VRTerro2018» (Пушино, 2018 г.). Апробация результатов работы выполнена в рамках 18 научно-исследовательских работ (ООО «Норд Империял», ООО «Стимул-Т», ООО «Альянснефтегаз», ОАО «ТНГК», ООО «ЗСК») и 7 грантам (№№ 14.515.11.0047, 2.1642.2017/ПЧ, 17-05-00148 А, 8-41-700001 р\_а, 19-07-00844 А, 18-11-00215, 8.2.17.2019). Имеется 2 акта о внедрении (ООО «ЗСК»), а также справка об использовании в образовательном процессе (НИ ТПУ).

#### **Личный вклад**

Постановка задач исследования осуществлялась совместно с Захаровой А.А. Системная модель проектно-ориентированного управления разработкой месторождений углеводородов, комплексный подход к моделированию, метод поиска аналогий и метод верификации исходных данных, усовершенствованная система проектно-ориентированного управления разработкой месторождения разработаны лично автором. Программное обеспечение J-Function, GDM-Tool, RePort, Economics реализовано совместно с Ивановым М.А. Апробация и тестирование выполнены совместно со Шкляром А.В.

#### **Публикации**

Основные результаты диссертационного исследования изложены в 21 работе, в том числе в 3 статьях из списка рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК РФ, в 7 статьях в журналах, индексируемых в Scopus и WoS. На разработанное ПО получено 4 свидетельства о государственной регистрации.

#### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, 105 наименований списка использованных источников и 11 приложений. Объем основного текста – 152 страницы, иллюстрированных 57 рисунками и 26 таблицами. 11 страниц занято списком литературы и 38 страниц – приложениями.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, методы и средства исследования, научная и практическая значимость работы, изложены научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** исследовано управление разработкой месторождения УВ. Эксплуатация месторождения возможна только при наличии действующего проектного документа и только в соответствии с показателями, закрепленными в нем, поэтому управленческая деятельность связана с непрерывным выполнением большого числа проектов для оценки объемов запасов (подсчет запасов УВ) и планирования добычи УВ (прогноз разработки) с целью эффективного распределения и рационального использования ресурсов недропользователя. Такая деятельность носит характер проектно-ориентированного управления.

Работы многих российских и зарубежных ученых, таких как Пергамент А.Х., Саттаров Б.М., Крылов А.П., Батулин Ю.Е., Settari A., Leverett M.C. и др., посвящены созданию и развитию методов моделирования месторождений УВ – они рассматривают математические, физические аспекты моделирования гидродинамических процессов и процессов фильтрации жидкостей в пласте, однако управление разработкой месторождений УВ как проектно-ориентированная деятельность в их работах не затрагивается.

Для формализации процесса проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ в работе введены следующие обозначения:

- к субъектам управления относятся: эксперт  $P_1$ , государство  $P_2$ , инвестор  $P_3$ , недропользователь  $P_4$ , подрядчик  $P_5$ , а также команда управления проектом: геолог  $D_1$ , специалист по геологическому моделированию  $D_2$ , специалиста по гидродинамическому моделированию  $D_3$ , экономист  $D_4$  и прочие специалисты  $D_5$ ;
- к объектам управления – проекты: оперативный подсчет запасов  $M_1$ , подсчет запасов  $M_2$ , пробная эксплуатация  $M_3$ , технологическая схема  $M_4$ , дополнение к технологической схеме  $M_5$ , а также фазы жизненного цикла проекта: концепция  $M_1$ , разработка  $M_2$ , экспертиза  $M_3$ , защита  $M_4$ , реализация  $M_5$ ;
- к процессу – уровни управления: стратегическое управление  $T_1$  и функциональное управление  $T_2$ ; функциональные области управления: геологическое строение  $F_1$ , объем запасов  $F_2$ , динамика добычи  $F_3$ , затраты  $F_4$ , программа исследований  $F_5$ ; стадии процесса управления: исходные данные  $S_1$ , геологическое моделирование  $S_2$ , гидродинамическое моделирование  $S_3$ , прогноз разработки  $S_4$ , экономическое моделирование  $S_5$ , проектный документ  $S_6$ .

Жизненный цикл (ЖЦ) месторождения УВ (рисунок 1 (а)) состоит из 5 этапов, ключевым из которых является 4-й этап – эксплуатация месторождения. Особенностью ЖЦ месторождения является то, что реализация проектного документа (утвержденного государственной комиссией и действующего), т.е. эксплуатация месторождения (бурение, добыча УВ, проведение новых исследований – этап 4 ЖЦ), идет параллельно с разработкой нового проектного документа, так как на протяжении ЖЦ создание проектов на разработку месторождения многократно повторяется, что связано с постоянным изменением представлений о его строении по результатам новых исследований.

Качество проектного документа определяет эффективность разработки месторождения, т.к. любая деятельность при разработке происходит только в соответствии с положениями действующего и утвержденного на государственном уровне проектного документа. Данная особенность обуславливает высокие требования к качеству проектного решения. В работе рассматривается управление процессом проектной деятельности в разработке месторождения (фаза разработки жизненного

цикла проекта), практическая реализация проектного решения остается за рамками данной работы.

Существующая система проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ (рисунок 1(б)) требует возврата к предыдущим стадиям управления (пунктирные стрелки 1 и 2) при получении неудовлетворительного результата. Однако в большинстве случаев (использование утвержденной ранее модели, выполнение работ различными институтами и др.) обратная связь отсутствует.

Ряд операций в процессе управления не формализован, кроме того, имеет место несогласованность работы вовлеченных в процесс специалистов и низкая степень достоверности (адекватности) моделей пластов. В проектно-ориентированной деятельности при разработке месторождения УВ отсутствует комплексный подход, а система управления такой деятельностью нуждается в усовершенствовании.

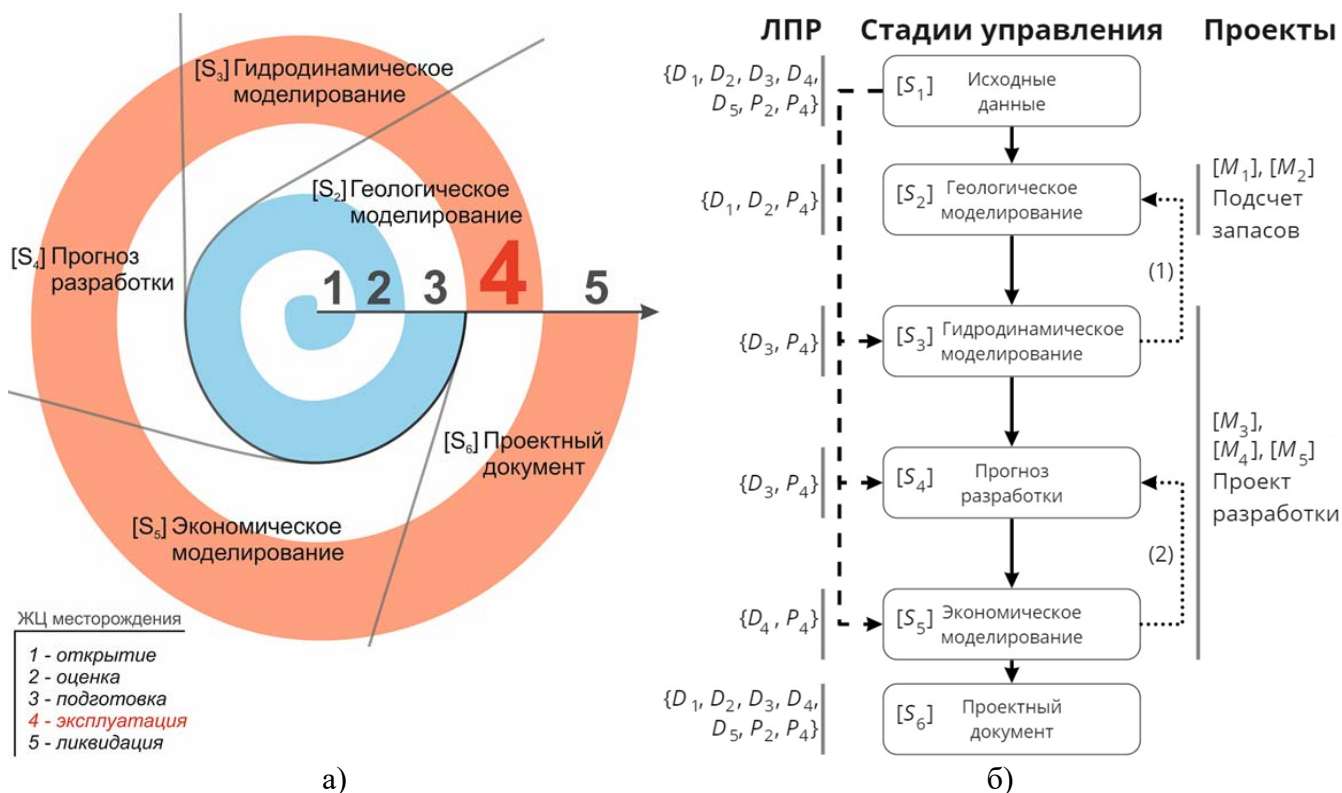


Рисунок 1 – Жизненный цикл месторождения УВ (а) и существующая система управления разработкой месторождения УВ (б)

**Во второй главе** предложена новая системная модель проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ (рисунок 2), состоящая из пяти блоков: субъекты управления, объекты управления, процесс управления, внутренние условия, внешние условия.

Эффективность управления разработкой месторождения определяют как внешние, так и внутренние условия, которые необходимо учитывать при выработке решений. К условиям, определяющим эффективность управления разработкой месторождения, можно отнести: нормативно-правовые, финансовые, материально-технические, инфраструктурные, геополитические, климатические, географические, кадровые, геологические, научно-методические, информационные, организационные, а также степень изученности месторождения.





Рисунок 2 – Системная модель проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ

Задачи, решаемые при управлении разработкой месторождений УВ, определяются различными комбинациями компонентов системной модели. Так, задачу  $Z_1$  (рисунок 3) «Геологическое моделирование пласта ( $S_2$ ) для оценки объема запасов ( $F_2$ ) УВ при стратегическом управлении ( $T_1$ ) в фазе разработки ( $C_2$ ) проекта подсчета запасов ( $M_2$ ) геологом ( $D_1$ ) и специалистом по геологическому моделированию ( $D_2$ ) для недропользователя ( $P_4$ )» определяет кортеж:

$$Z_1 = \langle C_2, M_2, D_1, D_2, P_4 ; S_2, F_2, T_1 \rangle. \quad (1)$$

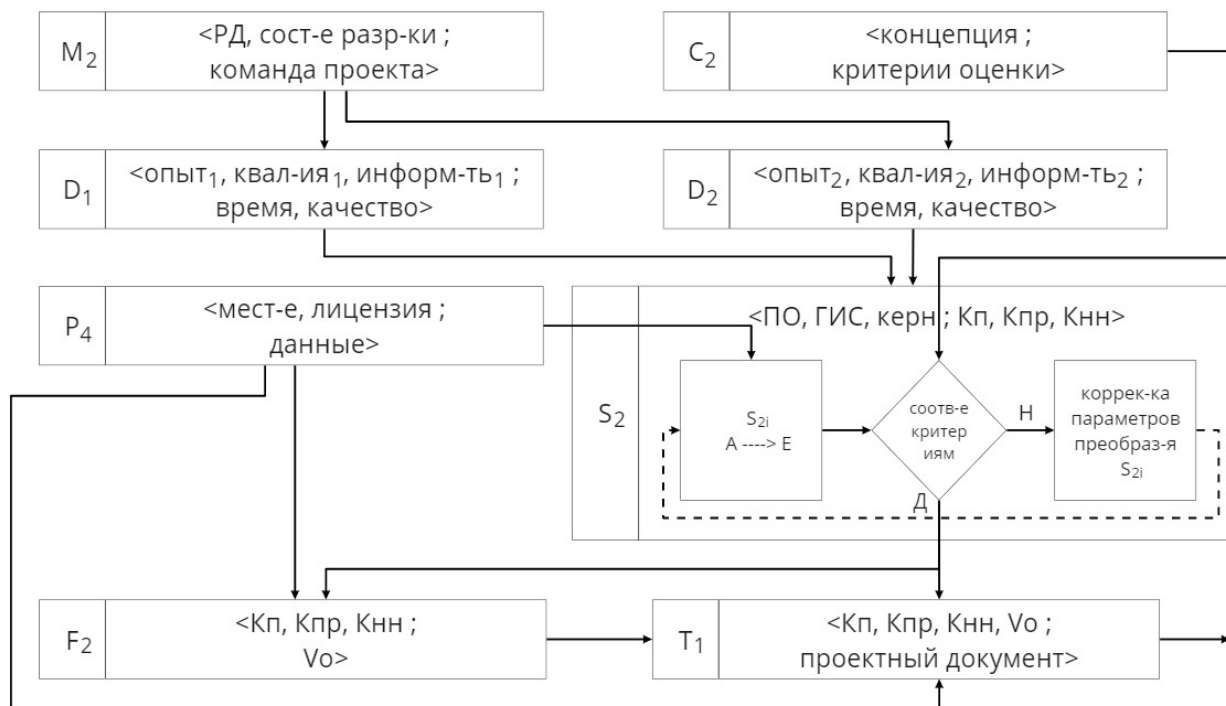


Рисунок 3 – Схема взаимодействия компонентов задачи  $Z_1$  предлагаемой системной модели

Преобразование  $S_2$  определяет кортеж:

$$S_2 = \langle \text{ПО, ГИС, керн} ; \text{Кп, Кпр, Кнн} \rangle, \quad (2)$$

где *ПО* – специализированное программное обеспечение для моделирования месторождений; *ГИС* – комплекс геофизических исследований в скважинах; *керн* – результаты исследований керна; *Кп* – коэффициент пористости, д. ед.; *Кнн* – коэффициент нефтенасыщенности, д. ед.; *Кпр* – коэффициент проницаемости, мД.

Геологическое моделирование  $S_2$  сводится к поиску функции, набора функций или правил, описывающих преобразование:

$$A \xrightarrow{S_2} E: \quad (x_i, y_i, z_i) \in A, (x'_i, y'_i, z'_i) \in E \rightarrow p_{ij}(x_i, y_i, z_i) = p_{ij}(x'_i, y'_i, z'_i). \quad (3)$$

Рассматривается множество альтернатив, принятие решения осуществляется на основе критериев, выработанных в фазе концепции проекта.

$A$  представляет собой имеющийся набор исходных данных, множество точек наблюдений пространства  $A$  описывается тремя  $(x_i, y_i, z_i)$  (для трехмерного случая) координатами. Каждой точке соответствует множество значений параметров  $p_{ij}$ :

$$\{(x_i, y_i, z_i)\}, i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

где  $n$  – количество точек наблюдений;

$$(x_i, y_i, z_i) \rightarrow \{p_{ij}\}, j = 1, \dots, m, \quad (5)$$

где  $m$  – количество восстанавливаемых параметров объекта моделирования.

Распределение элементов множества исходных данных  $A$  носит, как правило, нерегулярный в пространстве и времени характер. Такими элементами являются координаты скважин, сейсмопрофили, ГИС, керн. Восстановление поля по исходной сети данных – это определение элементов  $(x'_i, y'_i, z'_i)$  множества  $E$ , в которое входит  $A$  ( $A \subset E$ ), при этом любой элемент множества  $E$  определяется при помощи преобразования  $S_2$  таким образом, что истинно утверждение (3). Такое преобразование выполняется посредством специализированного ПО.

$$F_2 = \langle K_n, K_{np}, K_{nn}; V_o \rangle, \quad (6)$$

где  $V_o$  – объем запасов нефти в пласте, тыс. т. Для постановки на государственный баланс запасы принято считать объемным методом:

$$V_o = V_b * K_p * K_{nn} * \rho_o * V_o, \quad (7)$$

где  $V_b$  – эффективный нефтенасыщенный объем породы, тыс. м<sup>3</sup>;  $\rho_o$  – плотность нефти, т/м<sup>3</sup>;  $V_o$  – объемный коэффициент нефти, д. ед. При этом  $K_{nn}$  в системе двух фаз рассчитывается по известной формуле:

$$K_{nn} = 1 - \left( \frac{3,183 * (\rho_w - \rho_o) * g * h}{A * \gamma * \cos(\theta)} * \sqrt{\frac{K_{np}}{K_p}} \right)^{-\frac{1}{B}}, \quad (8)$$

где  $\rho_w$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h$  – высота относительно уровня свободной воды, м;  $A, B$  – коэффициенты степенной зависимости J-функции Леверетта  $J(S_w) = A * S_w^{-B}$ , расчет которых производится авторским программным обеспечением J-Function на основе результатов исследований керна;  $\gamma$  – поверхностное натяжение между нефтью и водой;  $\theta$  – угол смачиваемости.

$$T_1 = \langle K_n, K_{np}, K_{nn}, V_o; \text{проектный документ} \rangle. \quad (9)$$

*Проектный документ* включает в себя прогнозные технологические (бурение и ввод скважин, объемы добычи УВ и др.), экономические параметры эксплуатации месторождения, программу исследовательских работ по годам, которые определяют стратегию функционирования месторождения и являются обязательными к выполнению недропользователем.

$$C_2 = \langle \text{концепция}; \text{критерии оценки} \rangle. \quad (10)$$

Результатом выполнения концептуальной фазы проекта является *концепция* проекта, которая позволяет выработать *критерии оценки* проекта, часть критериев закреплены в регламентных документах (например, допустимые отклонения в моделях), другие же зависят от геологического строения месторождения (применимость различных методов интенсификации добычи) или устанавливаются недропользователем (например, максимальная годовая проектная добыча нефти).

$$M_2 = \langle \text{РД}, \text{состояние разработки}; \text{команда проекта} \rangle. \quad (11)$$

Условия выполнения подсчета запасов определяются регламентными документами (РД) на основе текущего *состояния разработки* месторождения, тип и сложность

(в зависимости от строения месторождения) проекта определяют команду проекта (исполнителей).

$$D_i = \langle \text{личный опыт}_i, \text{квалификация}_i, \text{информированность}_i ; \text{время принятия решения, качество} \rangle, \quad (12)$$

где субъекты характеризуются наличием *личного опыта*, *различной квалификацией* (геология, моделирование), *информированностью*, от которых зависят *время принятия решений* и *качество* проектной деятельности.

$$P_4 = \langle \text{месторождение, лицензия} ; \text{данные} \rangle. \quad (13)$$

Недропользователь, имея *лицензию* на разработку *месторождения*, предоставляет необходимые исходные *данные* для проекта.

Пример задачи  $Z_1$  охватывает все уровни системной модели. Аналогично системная модель позволяет расписать и другие задачи, возникающие при проектно-ориентированном управлении разработкой месторождения.

При принятии решений в управлении разработкой месторождения необходимо учитывать внешние и внутренние условия, для чего предлагается использовать модель оценки целесообразности управленческого решения на основе вероятностного дерева. На рисунке 4 приведен пример оценки целесообразности  $p$  прокладки трубопровода меньшего  $r_1$  или большего диаметра  $r_2$  к месторождению. На месторождении водонефтяная зона составляет  $> 75 \%$ , объем запасов категории  $C_2 > 90\%$ , степень достоверности геологического строения низкая, что может привести к получению более низких дебитов нефти по сравнению с проектными, и прокладка трубопровода не окупится, поэтому рекомендуется пробурить разведочную скважину и провести исследования для уточнения геологического строения. По результатам оценивается вероятность окупаемости строительства трубопровода.

Таким образом, предложенная системная модель формализует процесс управления, систематизирует основные компоненты решения задач в проектно-ориентированном управлении разработкой месторождения, учитывает влияние внешних и внутренних факторов и позволяет реализовать комплексный подход к моделированию при управлении разработкой месторождения.

Предлагается комплексный подход к моделированию месторождений, который предполагает объединение моделей, применяемых на разных стадиях управления, в единый контур моделирования и может быть представлен в виде:

$$IM = \{S'_2, S'_4, S'_5\}, \quad (14)$$

где

$$S'_2 = S_2 \cup S_3; \quad (15)$$

$$S'_4 = S_4 \cup S'_5; \quad (16)$$

$$S'_5 \subset S_5. \quad (17)$$

Используя комплексный подход можно обеспечить прямую связь между стадиями управления. В рамках данной работы предлагается объединить стадии геологического ( $S_2$ ) и гидродинамического моделирования ( $S_3$ ) путем привлечения ретроспективной информации о фактических режимах работы скважин при построении геологической модели пласта (рисунок 5). Актуализированная таким образом

модель  $S'_2$  характеризуется большей адекватностью, что позволяет точнее оценить объем запасов УВ по месторождению и корректнее задать условия прогнозного моделирования.

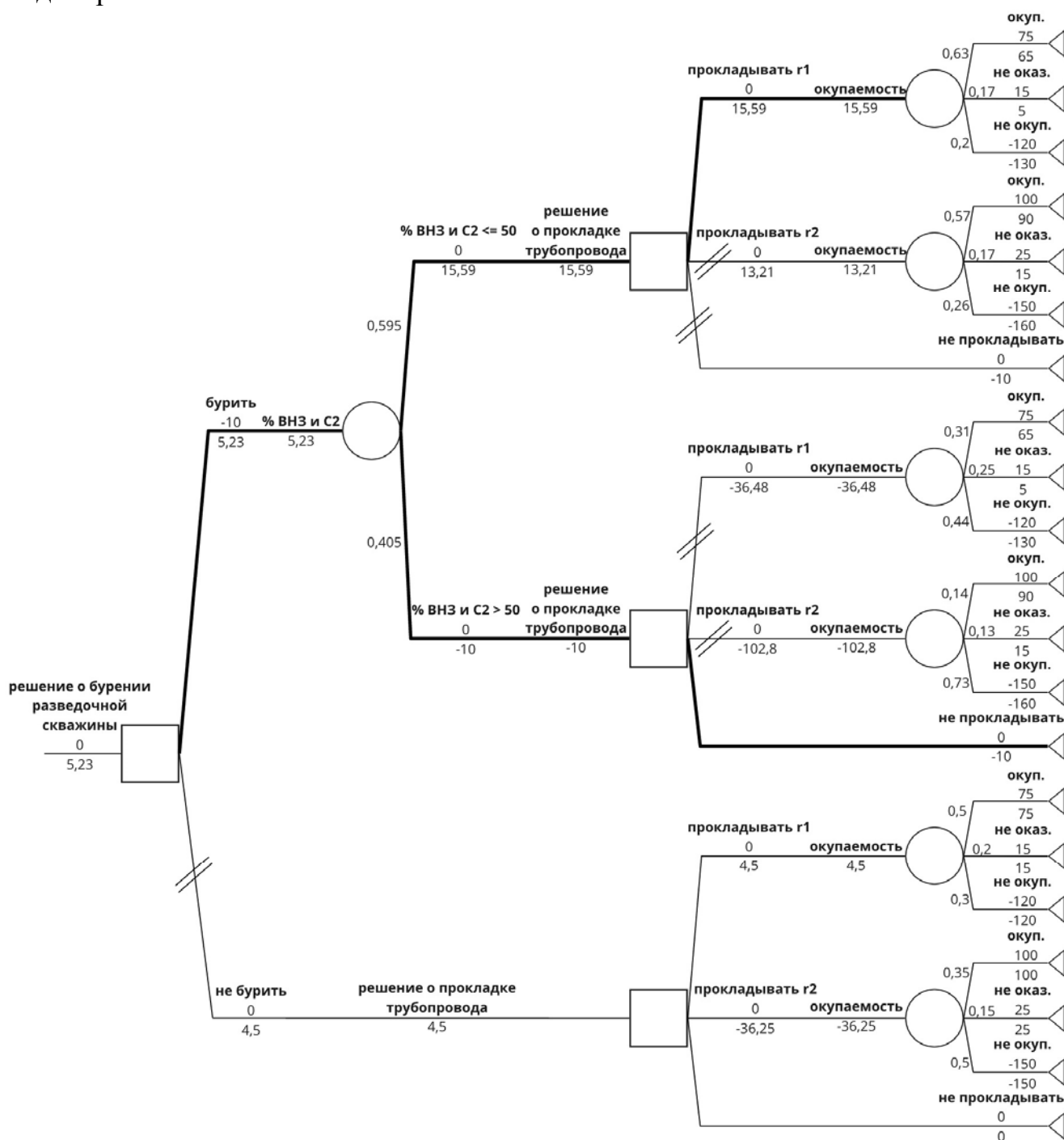


Рисунок 4 – Вероятностное дерево решений для оценки целесообразности прокладки трубопровода

На стадии прогнозного моделирования разработки предлагается привлечение экономических расчетов (рисунок б (а)), что позволяет значительно сократить общее количество итераций при настройке прогноза разработки  $S'_4$  за счет введения дополнительных ограничений на размещение проектных скважин.

Специфика разработки месторождений заключается в невозможности обеспечения высокой плотности точек наблюдения, поэтому любое месторождение харак-

теризуется недоизученностью. Проблема отсутствия данных для моделирования решается их восполнением за счет похожих месторождений, при этом решение эксперта зачастую субъективно и основано лишь на личном опыте, так как данная процедура не формализована.

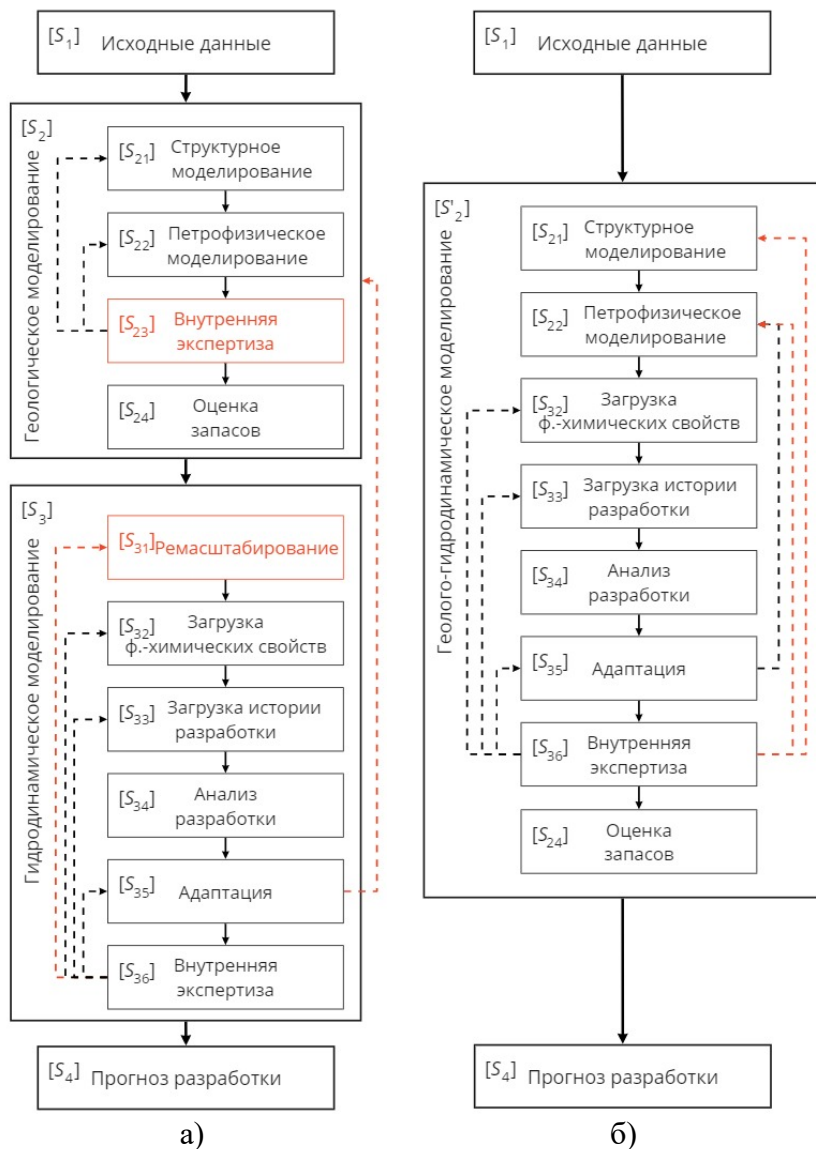


Рисунок 5 – Существующая система управления (а) и предлагаемое решение (б)

ные данные часто изобилуют ошибками из-за неструктурированности и неформализованности. Трехмерная визуальная модель данных позволяет реализовать метод верификации и быстро и эффективно выявлять некорректные значения в больших массивах исходных данных.

Предложенные модели и методы позволили усовершенствовать существующую систему проектно-ориентированного управления разработкой месторождения УВ. На рисунке 6 (б) показана усовершенствованная система управления разработкой месторождения УВ.

**Третья глава** посвящена тестированию моделей и методов поддержки проектно-ориентированного управления разработкой месторождений УВ.

Для выполнения тестирования использовалась информация по ряду месторож-

В рамках данной работы предлагается метод поиска аналогий на основе трехмерных визуальных моделей данных, который позволяет делать выбор наиболее близкого месторождения-аналога из выборки кандидатов с учетом весовых коэффициентов параметров и допустимых отклонений параметров кандидатов от эталона, снижая таким образом влияние человеческого фактора на итоговое решение. Метод поиска аналогий позволяет восстанавливать недостающие для моделирования данные.

В управлении разработкой месторождения остро стоит проблема верификации исходных данных, т.к. данные характеризуются большими объемами и разнородностью, а ошибки, допущенные в исходных данных, растут при моделировании. Сами же исход-

дений Томской области за период с 2004 по 2009 годы. Данные для проведения тестирования включают 23 проекта, из которых 14 подсчетов запасов и 9 прогнозов разработки. В тестировании приняли участие две экспертные группы специалистов по моделированию месторождений УВ. Первая группа выполняла операции с использованием стандартных методов, вторая – с применением авторских решений.

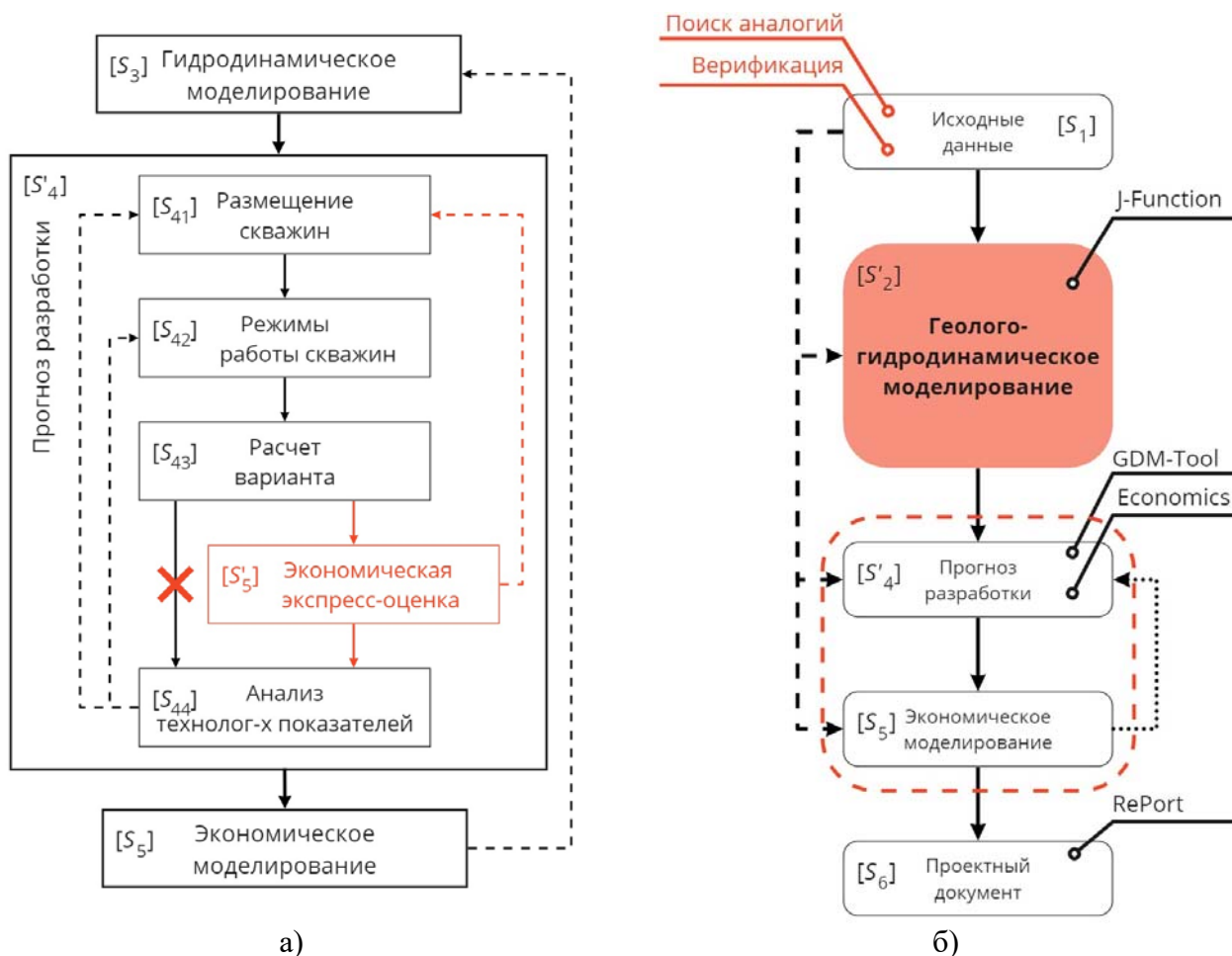


Рисунок 6 – Прогноз разработки в рамках комплексной модели (а), усовершенствованная система проектно-ориентированного управления (б)

Метод поиска аналогий оценивался по времени выполнения поиска аналогичных месторождений для дополнения недостающих данных. Его применение привело к сокращению времени выполнения операции при подсчете запасов на 31 %.

Применение метода верификации исходных данных показало сокращение времени верификации при подсчете запасов в среднем на 22,2 %, а при прогнозе разработки – на 32,2 %. Кроме того, данный метод позволил выявить в среднем на 18 % больше ошибок в исходных данных при подсчете запасов и на 13,5 % – при прогнозе разработки по сравнению со стандартными методами.

Для совершенствования существующей системы управления было реализовано ПО J-Function, GDM-Tool, RePort, Economics, тестирование которого производилось по времени выполнения соответствующих операций при управлении разработкой месторождений.

Среднее время выполнения поиска функции распределения водонасыщенности для геологической модели при помощи J-Function составляет менее 1 минуты против более 10 минут – при выполнении стандартными средствами (эксперты использовали MS Excel), таким образом сокращение времени выполнения операции

составило 92,1 %. Применение ПО GDM-Tool при формировании расстановок прогнозных скважин позволило сократить время выполнения операций на 36,7 %. Автоматизация формирования отчетности по результатам прогнозного моделирования при помощи ПО RePort позволила сократить временные затраты на 45,8 %. Также автоматизация процесса формирования отчетности позволила исключить человеческий фактор и снизить количество ошибок в отчетной документации.

Актуализация геологической модели месторождения в рамках комплексного подхода позволила на 9 % более точно оценить начальные запасы УВ. Использование ПО Economics для реализации комплексного подхода к моделированию позволило сократить количество итераций прогнозного моделирования на 25 %.

Оценка эффективности усовершенствованной системы проектно-ориентированного управления разработкой месторождения в целом выполнялась по критерию времени выполнения операций со стадии обработки исходных данных до получения проектного документа. Усовершенствованная система управления позволила сократить время выполнения подсчета запасов в среднем на 9,5 % (рисунок 7 (а)), сокращение количества итераций при прогнозе разработки привело к снижению времени в среднем на 10,2 % (рисунок 7 (б)).

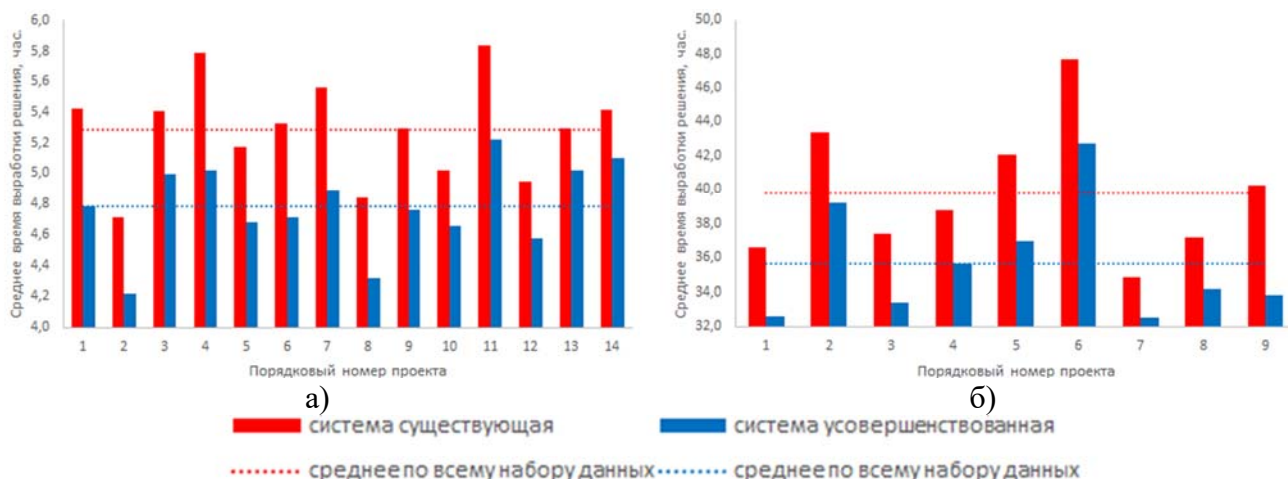


Рисунок 7 – Общее время выполнения подсчета запасов (а) и прогноза разработки (б)

Таким образом, удалось достичь повышения эффективности проектно-ориентированного управления разработкой месторождений УВ за счет сокращения времени принятия управленческих решений, повышения точности моделей и качества проектных решений, а также за счет снижения влияния человеческого фактора.

**В четвертой главе** представлены результаты реализации программного обеспечения, апробации и внедрения разработанных моделей, методов и ПО, а также усовершенствованной системы проектно-ориентированного управления на реальных данных по месторождениям Томской области.

При выполнении диссертационных исследований реализовано следующее ПО (рисунок 8): J-Function (расчет функции распределения водонасыщенности по исследованиям керна), GDM-Tool (формирование вариантов размещения прогнозных скважин), RePort (обработка результатов моделирования, формирование регламентированной отчетности), Economics (расчет экономических показателей разработки), зарегистрированное в реестре программ для ЭВМ (свидетельства №№ 2009614136, 2011616248, 2015611924, 2019611730).



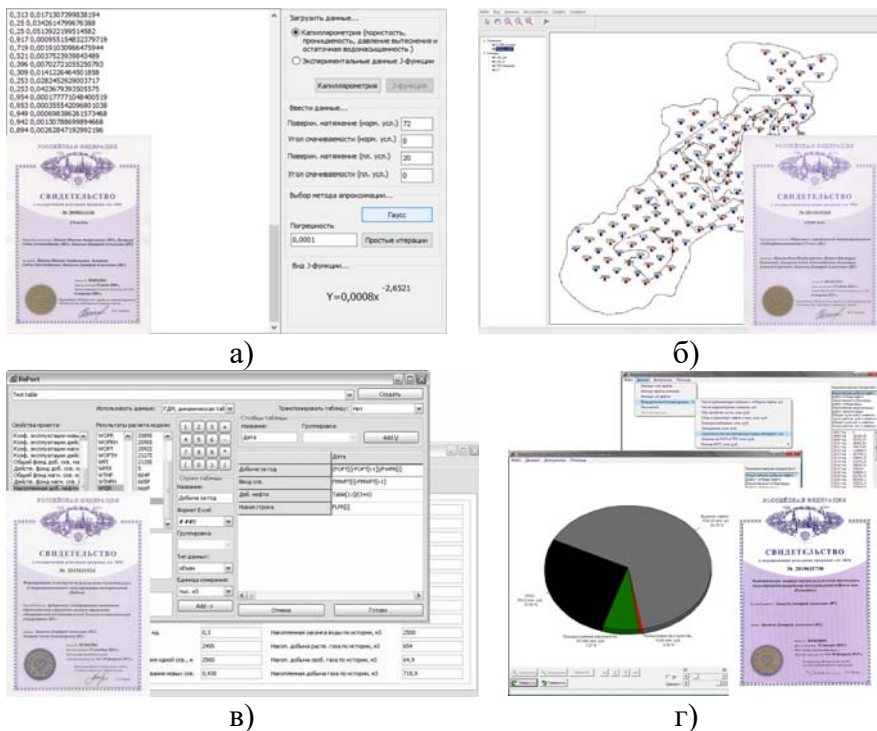


Рисунок 8 – ПО J-Function (а), GDM-Tool (б), ReReport (в), Economics (г)

Томской области с 2010 по 2019 годы. Все проекты успешно прошли процедуры государственной экспертизы и защиты в Государственных комиссиях по запасам и Центральных комиссиях по разработке, что подтверждается протоколами.

Внедрение в ООО «ЗСК» сократило время выполнения этой организацией проектов подсчетов запасов и прогнозов разработки в среднем на 10-15 %.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационном исследовании решена важная научно-техническая задача повышения эффективности проектно-ориентированного управления разработкой месторождений углеводородов, а также получены следующие результаты:

1. Проведено исследование управленческой деятельности в разработке месторождения углеводородов. Исследованы системные связи субъектов управления и закономерности функционирования процессов в управлении разработкой месторождения углеводородов.

2. Доказано, что управленческая деятельность в разработке месторождения носит проектно-ориентированный характер. Предложена системная модель проектно-ориентированного управления разработкой месторождения углеводородов.

3. Произведен анализ существующей системы проектно-ориентированного управления разработкой месторождения. Выявлены возможности повышения эффективности управления разработкой месторождения углеводородов, повышения точности проектного решения и проектного документа на основе комплексирования исходных данных и моделей.

4. Предложен новый комплексный подход к моделированию при управлении разработкой месторождения, объединяющий стадии геологического и гидродинамического моделирования и позволяющий повысить точность оценки запасов на 9 % путем привлечения информации об истории функционирования месторождения углеводородов и снизить итеративность прогнозного моделирования на 25 %.

5. Разработаны методы верификации исходных данных и поиска аналогий на

Результаты исследований легли в основу лабораторных работ «Методология проектирования в нефтегазовой отрасли и управление проектами» для подготовки студентов магистратуры профилей: 131000.01, 13100.02, 131000.06, 131000.14 направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело» Института природных ресурсов ТПУ.

Апробация выполнена на проектах подсчетов запасов и прогнозов разработки в рамках 18 НИР по месторождениям

основе трехмерных визуальных моделей данных, которые позволяют восстанавливать недостающие данные в условиях их неполноты, а также уменьшают количество ошибок при моделировании на 18 % при подсчете запасов и на 13,5 % при прогнозе разработки.

6. Предложена усовершенствованная система проектно-ориентированного управления разработкой месторождения углеводородов на основе комплексирования исходных данных и моделей, повышающая эффективность управления разработкой за счет снижения на 9,5 % при подсчете запасов и на 10,2 % при прогнозе разработки времени принятия решений.

7. Реализованное программное обеспечение J-Function, GDM-Tool, RePort и Economics зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ (свидетельства №№ 2009614136, 2011616248, 2015611924, 2019611730) и протестировано на реальных данных по месторождениям Томской области.

8. Выполнена апробация предложенных решений и усовершенствованной системы проектно-ориентированного управления разработкой месторождения в рамках 18 научно-исследовательских работ по месторождениям Томской области в период с 2010 по 2019 годы.

9. Результаты исследований использованы в курсе лабораторных работ по «Методологии проектирования в нефтегазовой отрасли и управлению проектами» для подготовки магистров профилей: 131000.01, 13100.02, 131000.06, 131000.14 направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело» Института природных ресурсов ТПУ (справка о внедрении результатов научно-исследовательской работы в практику).

10. Программное обеспечение внедрено в ООО «ЗСК» (2 акта внедрения).

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ**

### **В изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Завьялов Д.А., Захарова А.А. Создание экспертной системы для комплексной оценки рисков разработки месторождений углеводородов // Кибернетика и программирование. - 2016. - №5. - С. 1-9.

2. Zavyalov D.A., Zakharova A.A., Shklyar A.V. An integrated approach to modeling by an example of a landfill of disposal of liquid oil waste // Программные системы и вычислительные методы. - 2017. - №1. - С. 22-30.

3. Zakharova A.A., Nebaba S.G., Zavyalov D.A. Algorithms and Software Increasing the Efficiency of Processing Multidimensional Heterogeneous Data // Programming and Computer Software. - 2019. - №4. - С. 196-201.

### **Scopus и Web of Science**

4. Zavyalov D.A., Zakharova A.A., Shklyar A.V. Visual assessment methods and data models in the development of hydrocarbon fields // GraphiCon 2017 - 27th International Conference on Computer Graphics and Vision. - Perm: Perm State University and Perm Polytechnic University, 2017. - С. 112-115.

5. Zavyalov D.A. The application of OLAP technology in automated risk assessment system for oil and gas fields // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). IOPscience, 2017.

6. Zakharova A., Vekhter E., Shklyar A., Zavyalov D. Visual Detection of Internal Patterns in the Empirical Data // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. - 2017. - №754. - С. 215-230

7. Zavyalov D., Zakharova A. Multidimensional data analysis based on the integrated oilfield model // GraphiCon 2018 - 28th International Conference on Computer Graphics and Vision. - Tomsk: Tomsk Polytechnic University (TPU) and Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), 2018. - С. 307-310.

8. Zakharova A.A., Nebaba S.G., Zavyalov D.A. The algorithm for the classification of methods for processing multidimensional heterogeneous data in application to designing of oil fields development // Communications in Computer and Information Science. - 2019. - №1083. - С. 162-174.

9. Zavyalov D.A. Improving the accuracy of hydrocarbon reserves estimation based on an integrated approach // 9th International Conference on Computer Graphics, Image Processing and Computer Vision, Visualization Systems and the Virtual Environment GraphiCon'2019. CEUR Workshop Proceedings, 2019. - С. 164-167.

10. Zavyalov D., Nebaba S., Zavyalova K., Zakharova A., Rizen Y. Validation and Completion of Initial Data of Hydrocarbon Reservoirs Development Based on 3D Models // Geosciences. - 2020. - №10.

### **Другие публикации**

11. Завьялов Д.А., Захарова А.А. Пре- и постпроцессинг геологических и гидродинамических моделей месторождений нефти и газа // Проблемы информатики. - 2011. - №5. - С. 94-101.

12. Завьялов Д.А., Захарова А.А. 3D-моделирование водогазового воздействия на нефтяных месторождениях // Проблемы информатики. - 2012. - №5. - С. 69-73.

13. Завьялов Д.А. Оценка рисков разработки месторождений углеводородов // Молодой ученый. - 2015. - №15. - С. 339-342.

14. Завьялов Д.А., Захарова А.А. Уровневое моделирование на основе комплексного подхода // Труды Международной научной конференции Московского физико-технического ИФТИ СРТ2018. - Протвино: АНО "Институт физико-технической информатики", 2018. - С. 172-175.

15. Завьялов Д.А. Комплексная модель, средства визуальной аналитики и программное обеспечение, повышающие эффективность проектирования разработки месторождений углеводородов // Труды международной конференции Московского физико-технического института ИФТИ SCVRT2018. - Протвино: АНО "Институт физико-технической информатики", 2018. - С. 302-306.

### **Свидетельства о регистрации авторского права**

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614136 «J-Function». Дата регистрации 06 августа 2009 г.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616248 «GDM-Tool». Дата регистрации 09 августа 2011 г.

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611924 «Формирование отчетности по результатам геологического и гидродинамического моделирования месторождений (RePort)». Дата регистрации 09 февраля 2015 г.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611730 «Экономическая экспресс-оценка результатов прогнозного моделирования разработки месторождений нефти и газа (Economics)». Дата регистрации 04 февраля 2019 г.

Подписано в печать  
16.03.2020 г. Тираж 100 экз.  
Кол-во стр. 20. Заказ \_\_\_\_\_  
Бумага офсетная. Формат А5. Печать RISO.  
Отпечатано в типографии ООО «СПБ Графикс»  
634034, г. Томск, ул. Советская, 80  
тел. 8 903 954 7361