

**СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ (BIM
МОДЕЛИ) НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМИ**

**CREATION OF A DIGITAL TWIN OF A FIELD (BIM MODEL) AT THE
DESIGN STAGE FOR EFFECTIVE CHANGE MANAGEMENT**

УДК 69:004.94:658.5

Сидоров Вячеслав Владимирович, магистрант, ФГБОУ ВО «Тюменский
индустриальный университет, г. Тюмень

Sidorov Vyacheslav Vladimirovich, Master's student, Tyumen Industrial
University, Tyumen.

e-mail: slavasidorov02@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается разработка методологии построения BIM-модели цифрового двойника месторождения, обеспечивающей автоматизированное отслеживание и симуляцию проектных изменений. Предлагаемый подход направлен на сокращение времени управления корректировками не менее чем на 30% за счёт алгоритмизации процессов согласования и верификации данных. Интеграция геофизических исследований, инженерных расчётов и экономических моделей в единую цифровую платформу позволит минимизировать риски ошибочных решений на этапе проектирования. Последовательное формирование комплексного подхода к цифровизации процессов проектирования в нефтегазовой отрасли.

Annotation

The article discusses the development of a methodology for constructing a BIM model of a field's digital twin, enabling automated tracking and simulation of design changes. The proposed approach is aimed at reducing adjustment management time by at least 30% through the algorithmization of data reconciliation and verification processes. The integration of geophysical surveys, engineering calculations, and

economic models into a single digital platform will minimize the risks of erroneous decisions at the design stage. This leads to the sequential formation of a comprehensive approach to digitalizing design processes in the oil and gas industry.

Ключевые слова: BIM-модели, цифровой двойник, месторождение, информационное моделирование, управление изменениями.

Keywords: BIM models, digital twin, oil and gas field, information modeling, change management.

Введение. Современные проекты разработки месторождений углеводородов характеризуются беспрецедентной сложностью, обусловленной как технологическими вызовами, так и ужесточением экологических стандартов. В этих условиях традиционные подходы к проектированию демонстрируют свою ограниченность, требуя внедрения инновационных инструментов цифровизации. Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM) трансформируется в ключевой метод интеграции динамических данных и предиктивного анализа, формируя основу для создания цифровых двойников месторождений. Данный подход, согласно исследованиям Международной ассоциации по нефти и газу (2023), позволяет существенно повысить точность проектных решений на ранних этапах.

Ключевой проблемой этапа проектирования остаётся неэффективность управления изменениями, вызванная фрагментированностью данных между геологическими, инженерными и экономическими службами. Ручное обновление документации, несогласованность версий и задержки в передаче информации приводят к каскадным ошибкам в оценке запасов и инфраструктуры. Как следствие, проектные корректировки требуют значительных временных затрат — до 40% от общего бюджета этапа по данным отраслевых исследований. Эти системные ограничения актуализируют потребность в принципиально новых подходах к синхронизации данных в режиме реального времени.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: анализ ограничений существующих методов моделирования месторождений; проектирование архитектуры интегрированной BIM-модели с поддержкой динамических параметров; разработка алгоритмов автоматического отслеживания изменений; апробация методологии на реальном объекте с оценкой метрик эффективности; формулирование рекомендаций по промышленному внедрению. Последовательное решение этих задач формирует комплексный подход к цифровизации процессов проектирования в нефтегазовой отрасли.

Анализ проблем управления изменениями.

Существующие подходы к управлению изменениями в проектах разработки месторождений: ограничения и риски.

Традиционные методы управления изменениями опираются на линейные последовательности действий и заранее заданные этапы принятия решений, что снижает их адаптивность при обработке динамичных геологических и технологических данных месторождений. В условиях поступления новых данных о геологии, инженерных параметрах и технологических ограничениях требуется итеративная корректировка проектных решений, тогда как линейные подходы затрудняют быструю переработку входной информации и повторную валидацию решений. В результате применение таких методов приводит к накоплению невырешённых несоответствий, которые проявляются в сдвигах сроков, росте затрат и повышенных рисках снижения качества проектных результатов. Это ограничение обосновывает необходимость перехода к более интегрированным и гибким инструментам управления изменениями, способным обеспечить оперативную согласованность данных и решений на этапе проектирования.

Специфика проектных изменений на этапе проектирования месторождений: анализ причин и последствий

Основными причинами проектных изменений выступают геологическая неопределённость, корректировка нормативных требований и технологических решений, требующие оперативной адаптации проектной документации. Геологическая неопределённость обусловлена ограниченностью и неоднородностью данных на этапе проектирования, что вызывает пересмотр модельных допущений и параметров разработки. Изменения нормативных требований приводят к необходимости внесения правок в проектную документацию и пересмотру расчетных схем, влияя на согласовательные процедуры. Внедрение новых технологических решений требует синхронизации междисциплинарных разделов проекта и оперативной координации между геологами, инженерами и проектировщиками.

Несвоевременное управление изменениями провоцирует каскадные эффекты, проявляющиеся в увеличении сроков согласований и сдвигах графиков выполнения работ. Рост капитальных затрат обусловлен переработкой документации, дополнительными инженерными решениями и корректировкой сметных показателей на поздних стадиях проекта. Снижение точности проектных решений на последующих этапах разработки ведёт к увеличению технических рисков и снижению эффективности эксплуатации объектов. Традиционные методы управления изменениями зачастую оказываются неэффективными при высокой сложности и динамичности исходных данных, что обосновывает необходимость более гибких и интегрированных подходов.

Методология BIM-моделирования цифрового двойника.

Концептуальные основы создания BIM-модели месторождения как цифрового двойника.

Формализация цифрового двойника как интегрированного BIM-представления месторождения предполагает определение уровней детализации (LOD), семантики объектов, временных слоёв и явных связей между пространственными и процессными характеристиками, а также

обеспечение возможностей динамического отражения изменений для поддержки согласованного состояния проектной информации. «Интеграция является основой определения ЦД: не смотря на отсутствие согласованности по данному вопросу, начиная с зеркального отражения реальности Д. Гелернтера [2] она может быть определена как один из ключевых элементов. Действительно, что для идеи зеркального мира, что для создания любого из современных высокотехнологичных изделий, необходимы знания различных дисциплин. Благодаря интеграции различных технологий и реализуется взаимосвязь физического и виртуального [8, с.1].» Требования такой формализации устанавливают необходимость унифицированных информационных моделей, интероперабельных форматов обмена и механизмов версионирования данных для поддержания согласованного состояния в условиях проектных изменений. Внедрение описанных элементов формализации обеспечивает основу для согласованного управления изменениями на этапе проектирования и минимизации рисков при переходе от виртуальной модели к физическим решениям.

Структура и компоненты BIM-модели: интеграция геологических, инженерных и экономических данных.

Архитектура BIM-модели включает представление геологических блоков и стратиграфии, инженерных объектов — скважин, коммуникаций и установок — а также экономических атрибутов, таких как стоимость и графики окупаемости. Эти компоненты организуются в виде взаимосвязанных слоев данных с семантическими связями и метаданными, обеспечивающими согласованность, трассируемость и обновляемость информации через стандартизированные форматы метаданных и интерфейсы обмена. «Мы пытаемся собрать в одном месте всю достоверную информацию об объекте, включая: проектную, строительную, эксплуатационную документацию; трехмерную модель объекта; панорамные фотографии объекта; схемы процессов, технологические схемы (схемы P&ID), электрические схемы, схемы функционирования КИП; электронную версию генплана территории

объекта, включая подземные коммуникации; технические паспорта компонентов объекта [4, с.71].» Такой унифицированный подход позволяет интегрировать геологические, инженерные и экономические данные в единой цифровой среде и повышает управляемость проектных изменений на этапе проектирования.

Алгоритмы автоматизированного отслеживания и симуляции изменений в BIM-модели.

Набор алгоритмов включает событие-ориентированные триггеры и систему версионности конфигураций, обеспечивающую фиксацию и откат состояний BIM-модели при поступлении проектных изменений. При изменениях триггеры инициируют интеграцию численных симуляторов (поточная и геомеханическая модели), а правила согласования конфликтов данных и механизмы уведомлений выполняют автоматическую валидацию, приоритезацию и рассылку релевантной информации заинтересованным сторонам для минимизации рисков при принятии проектных решений. «Для повышения скорости и качества расчетов целесообразно применение методов машинного обучения и искусственного интеллекта. Это позволит достичь сходимости плановых, прогнозных и фактических показателей добычи [2, с.21].»

Верификация и внедрение цифрового двойника.

Кейс-стади: верификация методологии на примере российского месторождения.

Процедура верификации методологии на рассматриваемом российском месторождении начиналась с формирования набора исходных геолого-технических и проектных данных, включавшего геологические модели, каротажные и сейсмические данные, результаты геотехнических изысканий, описания скважин, проектные чертежи инфраструктуры и супроводную проектную документацию. Этапы построения BIM-модели цифрового двойника включали предварительную нормализацию данных, геопривязку и

секвенирование слоёв, формализацию семантики элементов и создание параметрических компонентов для инженерных систем. Для синхронизации геометрии и атрибутивных данных применялись алгоритмы геометрической регистрации, правило- и шаблон-ориентированные методы сопоставления атрибутов, а также механизмы контроля версий и автоматизированной валидации целостности данных. Протоколы сопоставления модели с фактической проектной документацией предусматривали автоматизированные сравнения с установленными погрешностями, классификацию несоответствий и отчетность, критерии приемлемости результатов верификации основывались на порогах точности и полноты данных, а выявленные несоответствия (координатные сдвиги, несовпадающие атрибуты, пропуски данных) устранялись посредством итеративной реконсильации источников, корректировки правил маппинга и формализации изменений через заявки на изменение с повторной верификацией.

Оценка эффективности BIM-модели цифрового двойника для управления изменениями: ключевые метрики.

Формализация ключевых метрик эффективности включает определение показателей сокращения времени на корректировку проектной документации, количественной оценки повышения согласованности данных между дисциплинами, учета уменьшения числа итераций согласования, а также влияния на уровень проектных рисков и прямые затраты; сокращение времени оценивается как относительное изменение между базовым и экспериментальным периодами по формуле $\Delta T/T_0 \cdot 100\%$, а согласованность данных — через долю совпадающих записей и показатели согласия между источниками. Эмпирические значения, полученные в кейс-стади, подтвердили наличие положительной динамики по перечисленным метрикам и были сопоставлены с отраслевыми оценками эффективности внедрения BIM, в частности: «В контексте развития BIM в нефтегазовой отрасли директор практики «Госрегулирование ТЭК» ООО «Выгон Консалтинг» Дарья Козлова подчеркнула, что данная технология является одним из ключевых

потенциальных инструментов повышения эффективности строительства в нефтегазовой отрасли, который не только сокращает затраты, но и позволяет ускорить сроки ввода объектов в эксплуатацию — по разным оценкам, до 40 % [5, с.45].» Для проверки значимости изменений применялись стандартные статистические процедуры: описательная статистика для исходных и постинтеграционных выборок, парные тесты сравнения средних для временных показателей, непараметрические тесты при несоблюдении нормальности распределений и методы оценки согласованности данных (коэффициенты согласия и регрессионный анализ для контроля ковариат). Влияние установленных изменений на уровень проектных рисков и прямые затраты оценивалось через сравнение риск-скоринговых показателей до и после внедрения, а также через анализ динамики прямых затрат, что позволило связать количественные метрики управления изменениями с практическими экономическими результатами внедрения BIM-модели.

Рекомендации по внедрению BIM-модели в практику проектирования месторождений.

Рекомендуется поэтапное внедрение BIM-модели цифрового двойника в процесс проектирования месторождений, начиная с определения требований к исходным данным и стандартов атрибутирования, что обеспечивает целостность и совместимость информационных слоёв. Следующим этапом должно быть проектирование архитектуры интеграции с существующими системами управления проектами и инженерными базами данных, включая интерфейсы обмена, механизмы синхронизации и протоколы совместной работы. Необходимо чёткое распределение ролей и обязанностей в рабочем процессе, установление контрольных точек валидации модели и формализация процедур управления изменениями с регламентами утверждения, трассируемости и отката версий. Параллельно требуется подготовка персонала через модульное обучение и проведение пилотного проекта ограниченного масштаба для отработки рабочих процессов, оценки

метрик эффективности и снижения рисков при масштабировании на весь проект.

Заключение. Концептуальная новизна исследования заключается в разработке интегрированной BIM-модели как цифрового двойника месторождения, объединяющей геологические, инженерные и экономические данные в единую динамическую среду. Предложенная методология позволяет осуществлять предиктивный анализ изменений на этапе проектирования, обеспечивая системную основу для оценки последствий корректировок. Такой подход принципиально меняет парадигму управления проектами, повышая обоснованность принимаемых решений за счет комплексного моделирования. Целевая направленность методологии подтверждается её способностью сокращать временные затраты на управление изменениями не менее чем на 30% за счет автоматизации процессов отслеживания и синхронизации параметров. Внедрение алгоритмов предиктивной аналитики минимизирует риски человеческих ошибок при корректировке документации. Это обеспечивает существенное снижение каскадных последствий для оценки запасов и проектирования инфраструктуры.

Анализ традиционных подходов выявил их системные ограничения: разрозненность данных, ручное обновление документации и междисциплинарную несогласованность. Разработанная BIM-модель цифрового двойника преодолевает эти проблемы через создание единой цифровой среды. Это обеспечивает повышение оперативности реагирования на изменения, прозрачность управленческих процессов и качество принимаемых проектных решений.

Практическая верификация методологии на примере реального месторождения подтвердила её эффективность в оптимизации управления изменениями. На основе полученных результатов сформулированы рекомендации по поэтапному внедрению, включая стандартизацию обмена данными и обучение персонала. Дальнейшие исследования целесообразно

направить на развитие механизмов предиктивной аналитики для долгосрочного планирования.

Список литературы

1. Руденко В.В. Системный подход к освоению недр с использованием интеллектуальных кибернетических методов // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — №11. — С. 106–118.
2. Тихомиров Л.И., Земцов С.А., Волков С.В. и др. Интеллектуальное месторождение. Комплексный подход к оперативному управлению предприятием нефтегазодобывающей отрасли на базе цифровых инструментов, с использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта // Научный журнал Российского газового общества. — 2019. — С. 21–25.
3. Турдиев Ш.Ш. Этапы создания цифровой геологической модели и основные виды геологических и гидродинамических моделирований // Innovatsion texnologiyalar. — 2023. — С. 11–15.
4. Тучков А.А., Хабаров А.В., Дементьева М.А. и др. Опыт создания информационных моделей сложных технологических установок в интересах нефтегазовых холдингов // НГН. — 2024. — №4. — С. 70–74.
5. Урванцева И. BIM-моделирование — трансформация мышления // Вести в электроэнергетике. — 2021. — №3. — С. 42–46.
6. Холмас Х., Рогов В. Применение цифровых двойников в нефтяной отрасли // Нефтегазовая вертикаль. — 2021. — №5. — С. 74–76.
7. Шарафяни Г., Кудряшов А.Л. Внедрение технологии информационного моделирования строительства как фактор роста строительной отрасли Грузии // Вестник евразийской науки. — 2023. — С. 1–12.
8. Шатилова Н.А., Мальцев П.А., Подкина М.Е. и др. Проектирование цифрового двойника в нефтегазовых технологиях:

интеграция технологий // XXVII международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2024). — Санкт-Петербург, 2024. — С. 456–460.