

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ПРЕДПРИЯТИЕМ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Л.И. Тихомиров, С.А. Земцов, С.В. Волков, М.А. Мещеряков, С.В. Волчков**

Группа компаний ITPS (Information Technology Professional Solutions)

Представлена новая форма оперативного управления производством при помощи комплекса интегрированных решений (интегрированное моделирование, управление потенциалами (поиск потенциалов и оптимизация), интегрированное планирование), реализованных в рамках единой концепции «Интеллектуальное месторождение». Подход включает в себя современные цифровые инструменты и методы, которые существенно отличаются от традиционных практик управления добычей и разработкой месторождений. Реализация данной концепции, построенной на прогнозировании, оценке, оптимизации и планировании мероприятий, дает эффект как на ранних, так и на поздних стадиях разработки месторождений, включая объекты с трудноизвлекаемыми ресурсами и высокой степенью обводнения.

**Ключевые слова:** интегрированное моделирование, инструменты интегрированных решений, интегрированные операции, интегрированное планирование, максимизация добычи, модель ограничений, управление потенциалом, прогнозирование добычи, центр интегрированных операций, машинное обучение, искусственный интеллект.

## THE SMART OILFIELD. AN INTEGRATED APPROACH TO REAL-TIME ENTERPRISE MANAGEMENT BASED ON DIGITAL TOOLS USING MACHINE LEARNING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

**L. Tikhomirov, S. Zemtsov, S. Volkov, M. Mescheriakov, S. Volchkov**

Company group ITPS (Information Technology Professional Solutions)

We introduce a new form of real-time oil production management using a set of integrated solutions (including for integrated modeling, opportunity management (opportunities search and optimization), and integrated planning) implemented as part of the single Smart Oilfield concept. The approach includes modern-day digital tools and methods significantly different from traditional oilfield mining and development practices. The implementation of the concept, built upon event prediction, assessment, and planning, brings positive results both at early and later stages of oilfield development, including for sites with hard-to-recover reserves and high water encroachment.

**Keywords:** integrated modeling, integrated solution tools, integrated operations, integrated planning, mining maximization, restriction model, opportunity management, mining prediction, integrated operations center, machine learning, artificial intelligence.

### Интеллектуальное месторождение и интегрированные решения

Несмотря на то что цифровое месторождение и интегрированные решения – относительно новые понятия, к настоящему времени они уже прочно вошли в обиход специалистов и все чаще используются в обсуждении вопросов повышения эффективности управления добычей углеводородов и разработкой месторождений. Большинство компаний внедряют самые передовые и современные технологии, позволяющие повысить эффективность добычи. На текущем этапе развития такими технологиями, обеспечивающими рост эффективности, в первую очередь в рамках организации оперативного управления, становятся технологии интегрированных решений, объединяемые понятием «Интеллектуальное

месторождение». Среди них ключевыми являются – интегрированное моделирование, управление потенциалами и интегрированное планирование. Современные технологии интегрированных решений, объединяемых категорией «Интеллектуальное месторождение», активно развиваются и, в частности, рассмотрены в работах [1-10]. Взаимосвязанное использование перечисленных компонент в качестве инструментов оперативного управления и составляет основу нового комплексного подхода.

Рассмотрим область применения этого подхода и его ключевые принципы на примере. Допустим, необходимо увеличить добычу нефти на месторождении 3-4 стадии разработки при полной загрузке системы предварительной подготовки нефти и высокой степени

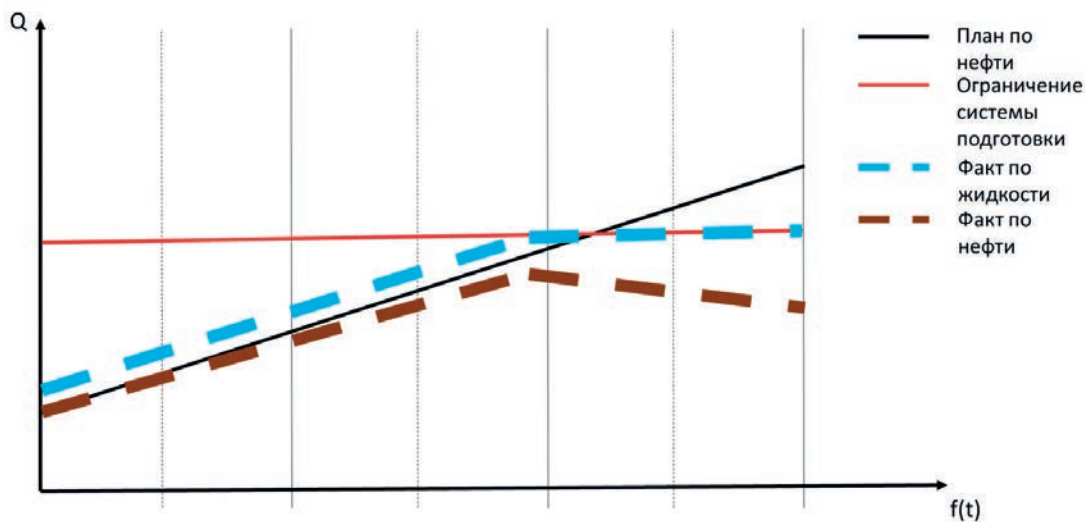


Рис. 1. Снижение добычи в условиях ограничения системы подготовки

обводненности скважин. Простое увеличение добычи жидкости может привести к снижению добычи нефти (Рис. 1). В этом случае необходимо подобрать такой режим работы скважин, чтобы уменьшить отборы из сильно обводненных скважин, учесть взаимовлияние скважин в пластовых условиях, внести корректировки в работу трубопроводов на участках противодавлений.

Чтобы решить эту сложную задачу, мало одного анализа разработки. Необходимо провести полноценное моделирование всех участков производственной системы, состоящей из следующих элементов: пласт, скважины, система сбора, система подготовки, система закачки. Это первый этап интеллектуализации производства. На основании собранных данных вырабатывают концепцию работы с критичными параметрами, цель которой – повышение уровня добычи и снижение операционных затрат.

в оперативном режиме выполнять пересчет моделей и генерировать необходимые управляющие воздействия. Для повышения скорости и качества расчетов целесообразно применение методов машинного обучения и искусственного интеллекта. Это позволит достичь сходимости плановых, прогнозных и фактических показателей добычи.

Чтобы достичь существенного повышения эффективности, необходимо перейти к предиктивному регулированию разработки месторождений на принципах оптимального управления, переработать нормативно-методическую основу анализа разработки и оперативного управления добычей.

Ключевые принципы оптимального управления предлагается формулировать в следующем виде:

- обеспечить создание интегрированной среды управления и принятия оптимальных решений,

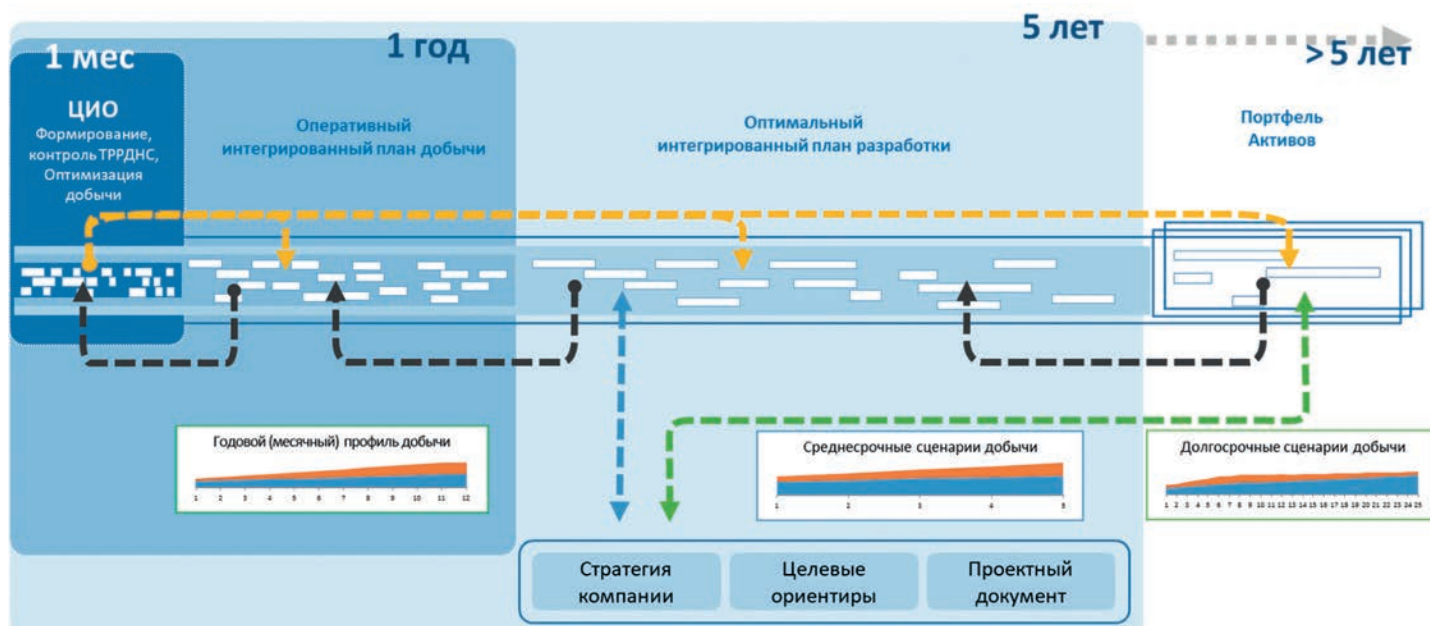


Рис. 2. Схематическое представление оптимального управления

в которой традиционные задачи локальной оптимизации меняются на постановку интегрированной задачи оптимизации, когда поиск наилучших решений осуществляют на общей интегрированной модели, а не в рамках отдельных моделей-компонентов. Очевидно, что глобальный оптимум предпочтительнее результата, определенного на совокупности локальных оптимизационных задач;

- реализовать в управленческих процессах единый функциональный набор интегрированных инструментов и решений: интегрированное моделирование, интегрированное планирование, управление на основе потенциалов (с использованием модели ограничений), поиск оптимальных решений с использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта. Единство решений и инструментов – фундаментальная основа интегрированных операций в этой предметной области, и исключение любой из составляющих будет приводить к существенным потерям в эффективности;
- обеспечить постановку и решение задач оптимального управления в условиях прогнозируемого развития процессов, а не для статистически зафиксированных значений их показателей по данным из ретроспективы.

### Интегрированные операции

Базой для перехода к новой методологии управления могут стать интегрированные операции – решения, совместно принимаемые специалистами разных профилей: планировщиком, технологом, геологом, экономистом и др.

Интегрированные операции являются элементарными действиями специалистов центров интегрированных операций (ЦИО). В компетенцию ЦИО входят бизнес-процессы оперативного управления добычей с использованием интегрированных решений – интегрированное моделирование, интегрированное планирование и управление моделью ограничений. Все процессы тесно взаимодействуют между собой, их применяют на оперативном, среднесрочном и стратегическом горизонтах управления (или планирования) (Рис. 2). При этом любые принимаемые решения синхронизируют на всех горизонтах управления и учитывают в интегрированной модели.

### Интегрированное моделирование

Моделирование является важной частью производственного процесса на предприятиях нефтегазодобычи. Любое месторождение можно условно поделить на составляющие и для каждого элемента создать собственную модель, самостоятельную и независимую, на которой можно производить нужные расчеты. Можно смоделировать какой-то отдельный объект, или ветвь

наземной инфраструктуры, или даже все объекты – и на этом уровне проектировать, прогнозировать, управлять.

Сложность в том, что каждая модель выполняет свой набор задач для какого-то конкретного подразделения предприятия. Моделью пласта занимаются геологи, моделью скважины – департамент добычи, моделью системы сбора – департамент эксплуатации трубопроводов. Соответственно, перед нами возникает задача установить взаимодействие между всеми элементами инфраструктуры и функциональными подразделениями, обеспечив их точной и актуальной информацией.

Решением вопроса является интегрированное моделирование, в процессе которого обеспечивают:

- автоматический сбор и загрузку фактических данных добычи, исследований и проведенных мероприятий на технологических объектах;
- обмен данными между функциональными подразделениями предприятия в режиме реального времени;
- актуализацию интегрированной модели на фактические данные добычи и изменения инфраструктуры и оборудования;
- подбор наиболее эффективных мероприятий по управлению разработкой на оперативном и среднесрочном горизонтах;
- расчет технологических режимов работы скважин и наземного оборудования.

Интегрированное моделирование также позволяет определить рычаги управления, с помощью которых можно гибко влиять на параметры производства для получения целевого результата. Калькуляционное ядро, на котором происходит расчет всех плановых действий, должно обеспечивать взаимодействие модели с ИТ-системами предприятия, анализировать расчеты и формировать отчетность – понятную не только для профильных инженеров, но и для руководства компании.

В качестве инструмента для работы с интегрированными моделями, подбора сценариев и обеспечения групповой работы предлагается использовать российскую цифровую платформу AVIST и модуль AVIST Oil&Gas. Одним из основных методов регулирования разработки являются манипуляции с режимами работы добывающих и нагнетательных скважин, трубопроводов системы сбора и поддержания пластового давления, системы предварительной подготовки нефти и газа. Этот метод лежит в основе прогнозирования добычи в гидродинамических моделях, и адекватная реакция производственной системы на конкретное смоделированное воздействие и есть главный критерий оценки качества модели.

### Интегрированное планирование

В рамках концепции Интеллектуальное месторождение интегрированное планирование является

частью бизнес-модели и увязывается с предиктивным анализом в части учета. Подход позволяет эффективно планировать события, заносить их в расписание и гибко влиять на изменения на всех горизонтах планирования. Это позволяет минимизировать конфликты в действиях различных функциональных подразделений.

Экономический эффект интегрированного планирования складывается из следующих факторов:

- увеличение добычи путем оптимизации (совмещения) оперативных и инвестиционных мероприятий, рассчитанных на интегрированной модели;
- снижение недоборов (прогнозируемых убытков);
- повышение эффективности взаимодействия функциональных подразделений, оптимизация трудозатрат.

В качестве инструмента автоматизации процесса интегрированного планирования предлагается использовать российскую цифровую платформу AVIST и модуль AVIST.Planning. С решениями работают все участники процессов – в том числе владельцы процесса, планировщики интегрированных и производственных планов, а также рядовые пользователи, участвующие в мероприятиях. В рамках решения существует возможность выполнения автоматической оптимизации расписания для каждой конкретной задачи: максимизация добычи на планируемом периоде, минимизация недобора до 3% на величину, снижение пусков-остановок до 20% на величину и т.д.

### Управление потенциалами (моделирование ограничений)

В рамках управления моделью ограничений оценивается и прогнозируется изменение потенциалов производственных объектов и системы в целом для обеспечения плановых производственных показателей:

- на месячном горизонте – для оптимизации технологических режимов работы оборудования;
- на годовом горизонте – для приоритизации проведения и моделирования ГТМ и ОТМ;
- на среднесрочном и стратегическом горизонтах – для инвестиционного планирования реконструкции инфраструктуры и ввода новых объектов.

В качестве инструмента для работы с поиском технологических и производственных потенциалов, а также для выбора оптимизированных решений предлагается использовать российскую цифровую платформу AVIST и модуль AVIST Oil&Gas.

### Единая концепция «Интеллектуальное месторождение»

На данном этапе развития технологий и методик реализация единой концепции «Интеллектуальное ме-

сторождение» предполагает разработку целевой модели бизнес-процессов, консолидацию всей производственной и нормативной информации, а также создание комплексной информационной системы, которая обеспечивает:

- автоматический обмен данными между процессами ЦИО;
- сбор и анализ геолого-геофизических данных, плановых и фактических данных добычи из промысловых и учетных систем;
- автоматическую обработку вновь поступающих данных, включение их в аналитику и прогнозирование;
- формирование отчетности за заданный период.

Такой набор функций может быть реализован только соответствующими цифровыми инструментами. В частности, предлагаемая к использованию в рамках концепции российская цифровая платформа AVIST обеспечивает взаимосвязанную работу модулей интегрированного моделирования, интегрированного планирования и управления потенциалами. Консолидация производственных данных обеспечивает взаимосвязь и учет всех влияющих факторов на объектах. Это важный момент, поскольку попытки увеличить добычу какой-либо скважины без учета влияния других скважин могут привести к снижению добычи на интерферирующих скважинах.

Инструменты и математика платформы AVIST ориентированы на повышение эффективности процесса и максимизацию добычи углеводородов с оптимизацией затрат на ППД при максимально бережном сохранении потенциала пласта.

Использование комплексной информационной системы управления добычей и методологии управления потенциалами с помощью интегрированного моделирования позволяет качественно прогнозировать вероятность интерференции и перетоков в пласте, выявить и учесть взаимовлияние производственных процессов и наладить их оптимальное взаимодействие.

Процесс принятия решений по управлению добычей учитывает следующие основные этапы анализа и расчетов:

- автоматическое поступление геолого-геофизических данных, плановых и фактических данных добычи из промысловых и учетных систем;
- оперативная актуализация интегрированных моделей на фактические данные добычи;
- расчет потенциалов объектов производственной системы;
- оперативная оптимизация технологических режимов добывающих и нагнетательных скважин;
- приоритизация геолого-технологических мероприятий на оперативном горизонте;

- планирование инвестиционных мероприятий на среднесрочном и стратегическом горизонте, для обеспечения необходимых уровней добычи и КИН;
- моделирование и оценка эффективности инвестиционных мероприятий в системах интегрированного моделирования на длительных горизонтах управления;
- оперативная оптимизация интегрированного плана;
- мониторинг исполнения (план/факт) интегрированного плана и оперативное управление добычей.

Если сгруппировать работы перечисленных этапов по горизонтам управления, процесс принятия решений будет выглядеть следующим образом:

- на месячном горизонте выполняют только актуализацию моделей на фактические данные, производят автоматическую оптимизацию мероприятий и расчет технологических режимов;
- на 90-дневном горизонте проводят приоритизацию мероприятий;

- на годовом горизонте выполняют расчет потенциалов, оперативное моделирование, экономическую оценку.

Описанный комплексный подход к управлению добычей эффективен как на ранних, так и на поздних стадиях разработки месторождений, в том числе в условиях эксплуатации низкорентабельных и высокообводненных скважин. Для достижения наибольшей эффективности процессов добычи и разработки наиболее важными условиями являются постоянная координация совместных действий различных специалистов, соблюдение принципов оптимального управления при планировании и прогнозировании ограничений, оперативной оценке и оптимизации мероприятий и технологических режимов работы скважин с использованием интегрированных моделей. Таким образом, предложен новый подход, основанный на принципах оптимального управления в предметной области анализа разработки и оперативного управления добычей. Использование этих принципов при решении прикладных задач позволяет достичь максимальной эффективности.

#### *Литература*

1. T. Rosendahl, V. Hepsø, Integrated Operations in the Oil and Gas Industry: Sustainability and Capability Development, Business Science Reference (an imprint of IGI Global), 2013.
2. Л.И. Тихомиров. Интегрированные операции: от идеи к воплощению. Узбекский журнал нефти и газа, 2016, №5.
3. M. Al-Balushi et al., Real-Time Surveillance: How System Integration Allows One Company to Minimize Deferment, Optimize Production, Maximize Test Unit Capacity, and Track the Operating Envelopes of its Wells, SPE-167857-MS, 2014.
4. W. Palen, A. Goodwin, Increasing Production in a Mature Basin: "The Choke Model", SPE-36848, 1996.
5. O. A. Talabi et al., Integrated Asset Modeling: Modernizing the Perspective for Short-Term Forecasting and Production Enhancements, SPE-182496-MS, 2016.
6. J. P. M. van Vliet and P. T. Male, Well, Reservoir and Facility Management – Process, Practice and Impact, SPE-185880-MS, 2017
7. Huiqiang Shen et al., Design of an Integrated Production Planning System Framework Based on Simulation Using a Production Information Model, Proceedings of the Twenty-seventh (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco, CA, USA, June 25-30, 2017.
8. S. Volkov et al., Optimization of Oil and Gas Production Based on Integrated Planning, SPE-181955-MS, 2016.
9. А.С. Нагимзянова, М.А. Гурьева Инновационные методы оптимизации нефтегазодобычи на основе интегрированного планирования Теория. Практика. Инновации, 2017, сентябрь.

#### *References*

1. T. Rosendahl, V. Hepsø, Integrated Operations in the Oil and Gas Industry: Sustainability and Capability Development, Business Science Reference (an imprint of IGI Global), 2013.
2. L. L. Tikhomirov, Integrated Operations: From Idea to Implementation, Uzbekistan Oil & Gas Journal, 2016, No.5.
3. M. Al-Balushi et al., Real-Time Surveillance: How System Integration Allows One Company to Minimize Deferment, Optimize Production, Maximize Test Unit Capacity, and Track the Operating Envelopes of its Wells, SPE-167857-MS, 2014.
4. W. Palen, A. Goodwin, Increasing Production in a Mature Basin: "The Choke Model", SPE-36848, 1996.
5. O. A. Talabi et al., Integrated Asset Modeling: Modernizing the Perspective for Short-Term Forecasting and Production Enhancements, SPE-182496-MS, 2016.
6. J. P. M. van Vliet and P. T. Male, Well, Reservoir and Facility Management – Process, Practice and Impact, SPE-185880-MS, 2017
7. Huiqiang Shen et al., Design of an Integrated Production Planning System Framework Based on Simulation Using a Production Information Model, Proceedings of the Twenty-seventh (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco, CA, USA, June 25-30, 2017.
8. S. Volkov et al., Optimization of Oil and Gas Production Based on Integrated Planning, SPE-181955-MS, 2016.
9. A. Nagimzianova, M. Gurieva, Innovative Oil and Gas Extraction Optimization Methods Based on Integrated Planning, Theory.Practice.Innovation, September 2017.

10. К.Ф. Тагирова. Повышение эффективности добычи нефти на основе координации управления техническими процессами и объемами // Вестник УГАТУ, №2. Уфа: УГАТУ, 2008.- С.48-52.
11. ГОСТ Р 55414-2013. Требования к техническому проекту разработки. – 2013.
12. РД 153-39.0-110-01. Методические указания по геолого-промысловому анализу разработки нефтяных и газонефтяных месторождений. – 2002.
10. K. Tagirova, Improving Oil Extraction Efficiency Using Process and Volume Management Coordination // Ufa State Aviation Technical University Herald, No. 2. Ufa: USATU, 2008.- P.48-52.
11. GOST R 55414-2013. Specifications for technical project of field development. – 2013.
12. RD 153-39.0-110-01. Methodology guidance on field and geology analysis in oil and gas field development. – 2002.

---

**Леонид Иванович Тихомиров,**

кандидат технических наук,  
руководитель группы компаний ITPS

**Сергей Алексеевич Земцов,** начальник управления

**Сергей Владимирович Волков,** кандидат физико-математических наук, руководитель направления

**Максим Александрович Мещеряков,** старший разработчик

**Сергей Владимирович Волчков,**

кандидат технических наук, доцент, эксперт

**Группа компаний ITPS**

614000, Россия, Пермь, ул. Советская, 51а

**Leonid Tikhomirov,**

candidate of technical sciences,  
ITPS general director

**Sergey Zemtsov,** head of department

**Sergey Volkov,** candidate of physical and mathematical sciences, head of department

**Maxim Meshcheryakov,** senior developer

**Sergey Volchkov,**

candidate of technical sciences, associate professor, expert

**ITPS Group**

51a, Sovetskaya ul., Perm, Russia, 614000