



УДК 519.876.5:532.575.5:552.578.2.061.4:553.981:622.276.

Цифровая платформа для эффективного управления выработкой коллектора

Digital Platform as a Tool for Efficient Reservoir Management

А.Ю. Каташов

alexander.katashov@geosplit.ru

К.Н. Овчинников

kirill.ovchinnikov@geosplit.ru

Д.С. Татаринов

dmitriy.tatarinov@geosplit.ru

Е.А. Малявко

evgeny.malyavko@geosplit.ru

В.Н. Огиенко

valeriy.ogienko@geosplit.ru

/ООО «ГеоСплит», г. Москва

Тел. +7 (495) 280-1-006/

A.Yu. Katashov

K.N. Ovchinnikov

D.S. Tatarinov

E.A. Malyavko

V.N. Ogienko

/«GeoSplit» LLC, Moscow/

В настоящее время для оптимизации технологических процессов при разведке и добыче углеводородов требуется использование единой аналитической платформы на базе методов машинного обучения, позволяющей оперировать данными добычи, ГТМ, промысловыми исследованиями в высокоавтоматизированном режиме. Целью работы является анализ цифровой платформы GEOSPLIT для интерпретации данных в масштабах целого сектора месторождения, выдачи и оценки рекомендаций по регулированию разработки объекта. Уникальной особенностью разрабатываемой платформы является гибридный подход, сочетающий использование массивов фактических внутрискважинных данных, методы машинного обучения, а также подтверждение полученных результатов в гидродинамических симуляторах. Модули платформы имеют гибкую ролевую модель, позволяющую иметь все необходимые данные в цифровом виде, настраивать доступ к ним и контролировать их использование всеми пользователями, что способствует более качественному анализу работы скважины.

Ключевые слова: методы машинного обучения, цифровая платформа, цифровое месторождение, проектирование модульных систем, маркерные исследования скважин.

To date, a unified analytical platform based on machine-learning methods enabling highly-automated operations with logging data, well intervention, and field studies is required to optimize HC exploration and production. The object of this paper was to analyze the digital platform GEOSPLIT for interpreting data across the entire field sector to provide and evaluate field development recommendations. The unique specific feature of the platform is a hybrid approach combining the use of actual downhole data, machine-learning methods and confirmation of the results obtained with hydrodynamic simulators. The platform modules have a flexible role model allowing for field data digitalization, data access configuration for all users resulting in improved reservoir management.

Key words: machine-learning methods, digital platform, digital field, module systems design, tracer-based production logging.

Развитие методов машинного обучения и увеличение объемов данных о нефтегазовых месторождениях делают нефтяную отрасль весьма привлекательным кандидатом для применения технологий анализа этих данных, в том числе предсказательного анализа. В качестве достаточно очевидных приложений методов машинного обучения в совокупности с математической оптимизацией можно выделить следующие:

- методы предсказания нестандартных режимов работы оборудования (anomaly detection) для оптимизации работы буровых установок, насосов, энергетических установок;
- методы распознавания образов (глубокие сверточные нейронные сети) для автоматизации процессов построения геологических моделей с использованием данных различных масштабов;
- измерения (сейсмика, каротаж, керн) и минимизация неопределенностей геологических моделей;
- методы извлечения информации из документов при создании вопросно-ответных систем (электронных советников) для операторов добычи, буровиков, геологов-разработчиков;
- методы уменьшения размерности задач математической физики для создания быстрых систем скрининга вариантов разработки месторождений.

Концепция оптимизации технологических процессов при разведке и добыче углеводородов представляет собой единую аналитическую платформу на базе методов машинного обучения, использующую геолого-гео-

физические входные данные, данные по добыче, телеметрию оборудования и технологических процессов, а также гидродинамическое моделирование. Несмотря на очевидный потенциал технологий предсказательной аналитики, основанной на данных с месторождений, есть несколько факторов, препятствующих повсеместному масштабному внедрению этих технологий. Очевидно, что в индустрии существует проблема ограниченной доступности данных. Системы сбора и хранения данных не охватывают все месторождения в достаточной мере, поскольку повсеместная установка датчиков и отладка IT-систем – дорогостоящее и трудоемкое мероприятие, которое должно быть оправдано последующей выгодой.

Некоторое время назад благодаря применению технологии динамического маркерного мониторинга (**рис. 1**) был совершен качественный рывок в области исследования горизонтальных скважин. Со временем вместе с ростом количества исследуемых скважин в России и за рубежом количество данных, требующих обработки и хранения, и учитываемых геолого-технических факторов выросло в десятки раз. К 2020 г. появилась необходимость создания цифровой платформы, позволяющей оперировать данными добычи, ГТМ, энергетики пласта, взаимного влияния скважин, компенсации отборов, промысловыми исследованиями в высокоавтоматизированном режиме.

На сегодняшний день технология исследования горизонтальных скважин GEOSPLIT представляет собой сплав следующих составляющих:

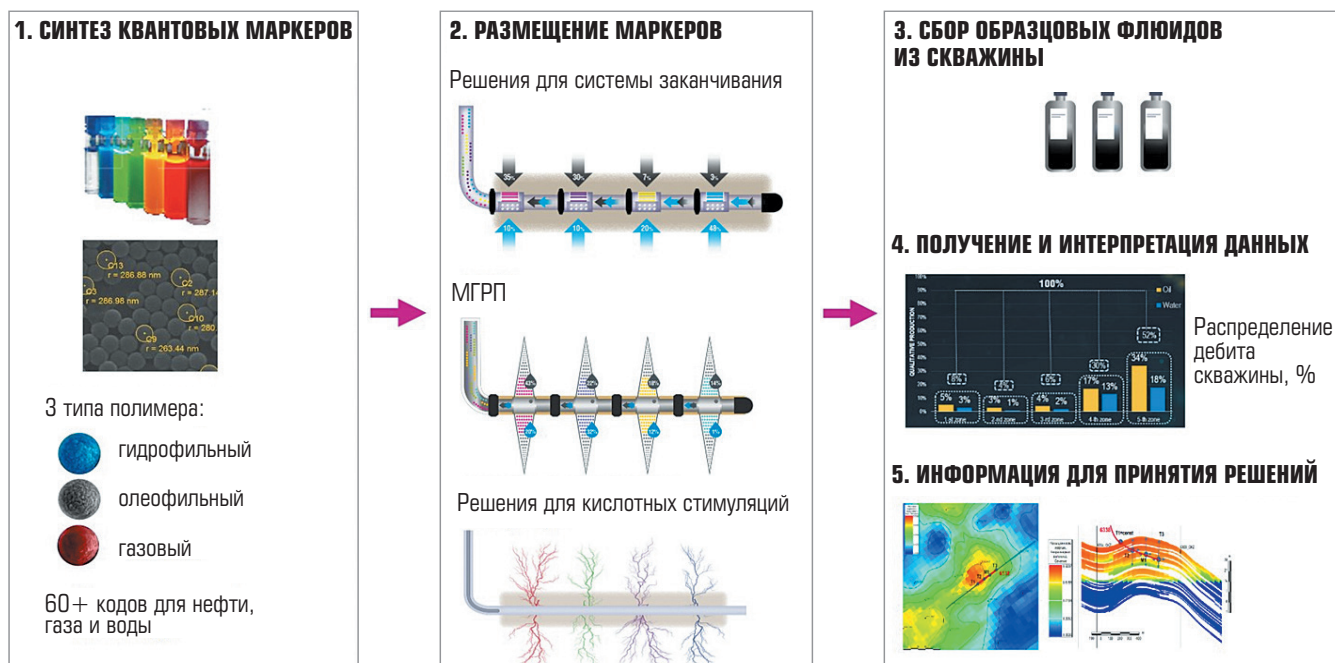


Рис. 1. Общий цикл технологии GEOSPLIT

- высокомолекулярной химии, с помощью которой изготавливаются индикаторы профиля притока с селективностью по фазам флюида;

- технологичного оборудования для идентификации индикаторов в пробах пластового флюида;

- программного обеспечения на основе машинного обучения для подсчета индикаторов профиля притока в пробах пластового флюида;

- цифровой платформы для интерпретации данных в масштабах целого сектора месторождения с целью выдачи и оценки рекомендаций по регулированию разработки объекта.

Цифровое месторождение подразумевает использование инструментария для моделирования каждого из элементов интегрированных моделей в связке «пласт – скважина – наземная инфраструктура – объекты переработки». Если «наземную инфраструктуру» можно оборудовать датчиками для обеспечения многопараметрического потока данных в реальном времени, то система «пласт – скважина» зачастую недостижима. В настоящее время в процессах среднесрочного прогнозирования преимущественно используются упрощенные модели пласта, основанные на статистической оценке темпов снижения дебитов. Для краткосрочного (посуточного) планирования добычи нефти применение такой методики не позволяет учитывать интерференцию скважин и значительные изменения в процессе добычи, что существенно увеличивает погрешность расчетов и прогнозирования. Это особенно актуально при применении подхода к прогнозу «от достигнутого», где индикаторами являются текущие показатели разработки «от потенциала», который базируется на суммарном потенциале всех частей интегрированной модели с отслеживанием степени недостижения потенциала. При определении потенциала моделируются предельно допустимые сценарии реализации программы геолого-технических мероприятий (ГТМ), изменения режимов эксплуатации скважин, графики ввода новых скважин и др. Подобное напряженное состояние системы невозможно корректно описать текущими темпами снижения дебитов, так как в системе происходят критические изменения. Для оптимизации темпов снижения дебитов нет фактической информации о работе системы в новых условиях. В связи с этим возникла необходимость создания модели пласта для посуточного прогнозирования дебитов в каждой скважине, учитывающей указанные особенности и ограничения. Большинство возникающих инженерных задач нельзя решить эффективно с использованием исключительно алгоритмов машинного обучения или физико-математических алгоритмов. Решение задач с применением только одного подхода весьма проблематично, поскольку требуется описание всех процессов системы с построением полной физико-математической модели (что не всегда реализуемо) или допускается возможность наличия вероятностных решений и значительной погрешности

(только машинное обучение). Для детализации полученных результатов необходимо объединение физико-математической модели и моделей машинного обучения.

Уникальной особенностью разрабатываемой цифровой платформы GEOSPLIT является гибридный подход, сочетающий следующие элементы:

- использование массивов фактических внутрискважинных данных, полученных посредством применения методов динамического мониторинга профиля притока горизонтального ствола (маркерная, трассерная диагностика или оптоволоконные системы) для оперативной проверки той или иной гипотезы по влиянию факторов на работу скважины;

- применение методов машинного обучения, позволяющих выбирать наиболее реалистичные и рациональные прогнозные сценарии и физико-математическую модель процессов, протекающих в пласте, для минимизации погрешностей расчета, которые возникают из-за невозможности глубокой детализации базовой модели с использованием неявных зависимостей из модели машинного обучения, корректирующих основной прогноз;

- подтверждение полученных результатов в традиционных гидродинамических симуляторах, привычных для специалистов по разработке месторождений, с целью сведения с сейсмическими данными, построения геологических моделей, совместного расчета гидродинамики и геомеханики, моделирования PVT-свойств сетей сбора.

Схематическое изображение цифровой платформы GEOSPLIT представлено на **рис. 2**.

Цифровая платформа обеспечивает структурированное хранение геолого-технических данных, использование данных динамических промысловых исследований в стохастическом и традиционном геолого-гидродинамическом моделировании. При этом применяемые в цифровой платформе GEOSPLIT стохастические модели CRM и традиционное моделирование могут использоваться одиночно или комбинированно по отношению к одному и тому же объекту разработки, создавая целое портфолио инструментов для решения задач регулирования разработки месторождения. Архитектура цифровой платформы GEOSPLIT представлена на **рис. 3**.

На сегодняшний день в промышленную эксплуатацию введены все внутренние модули: ВІ, ЕЦД и СУП. Модули ЛКЗ, GeoExpert и GeoOpt находятся в стадии тестирования. **Модуль «Единый центр данных» (рис. 4)** предназначен для удобного иерархического хранения документации по скважине, ее технических параметров, характеристик, ввода исходных данных, их визуализации и формирования отчетной информации. Система является платформой для дальнейшего развития комплекса информационно-аналитической отчетности и, помимо автоматизации ввода, хранения, проверки непротиворечивости и визуализации данных

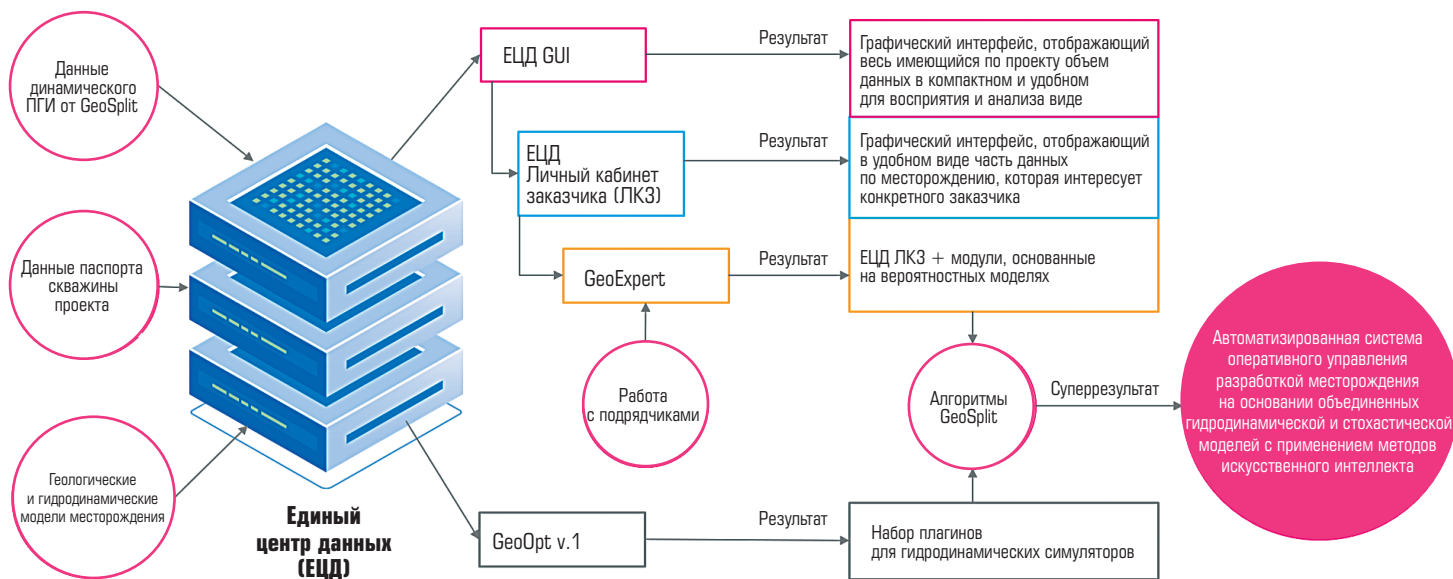


Рис. 2. Схематическое изображение цифровой платформы GEOSPLIT

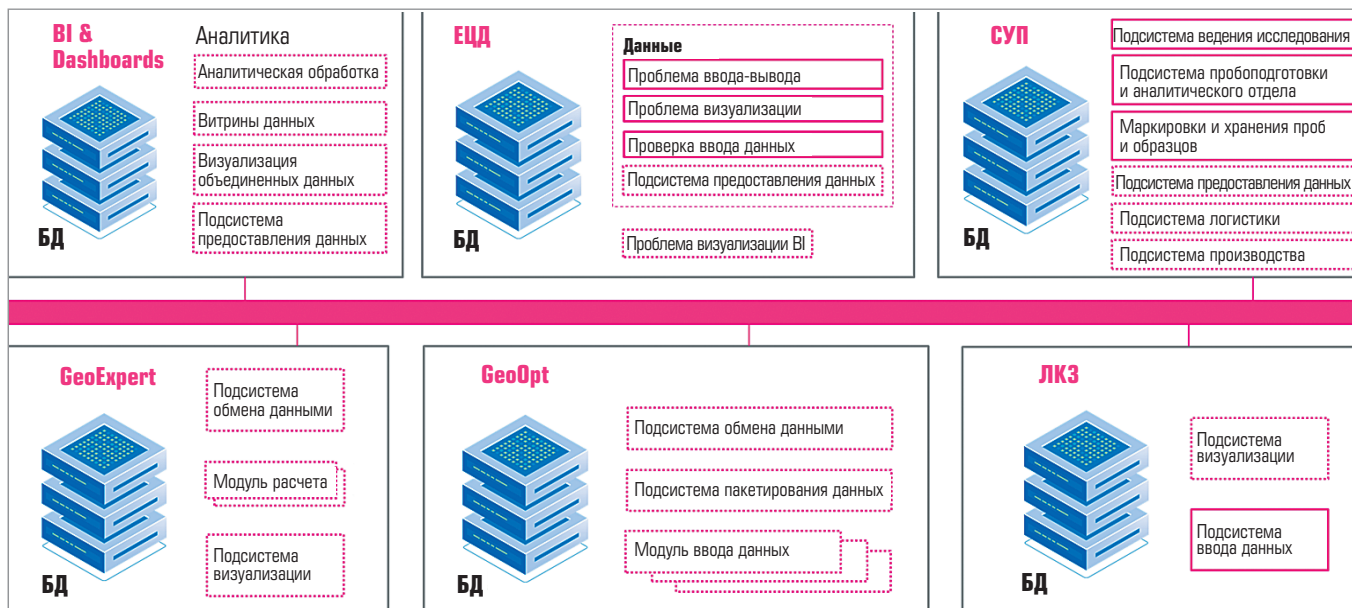


Рис. 3. Архитектура цифровой платформы GEOSPLIT

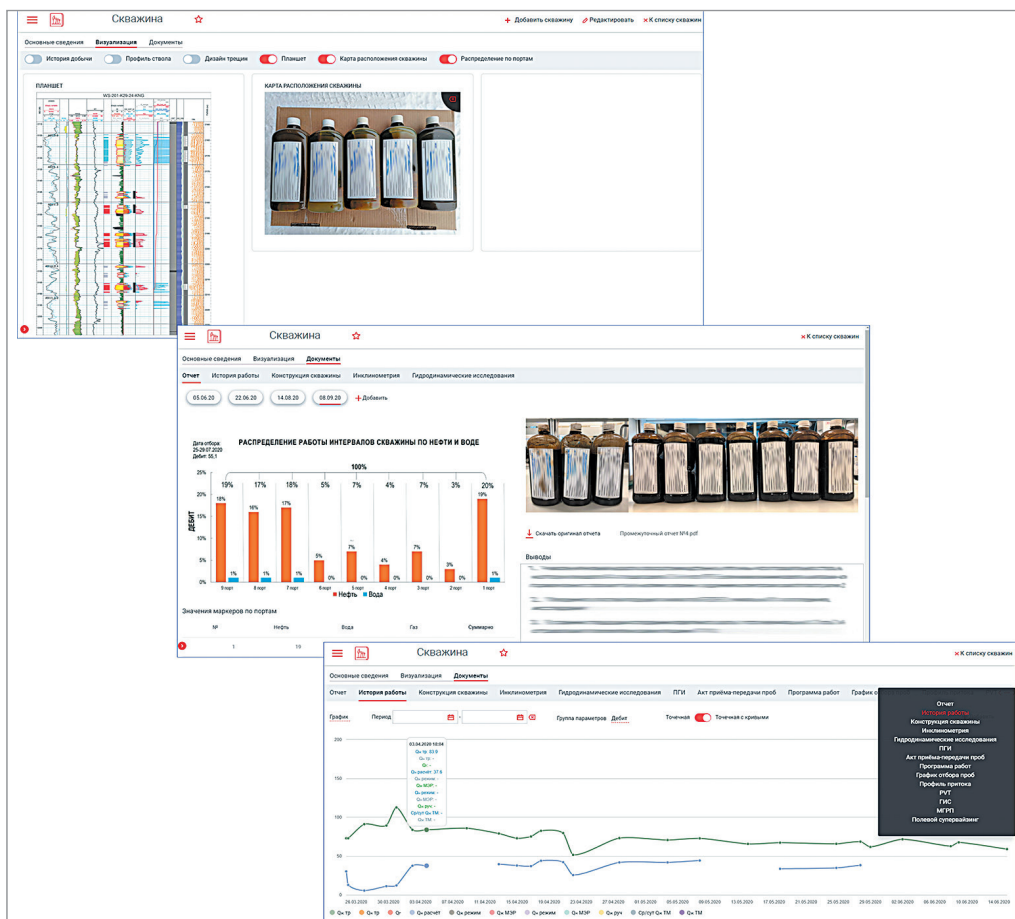


Рис. 4. Визуализация модуля «Единый центр данных»

по объекту, может формировать наборы данных в машиночитаемом виде для передачи как в другие модули самой цифровой платформы, так и в другие информационные системы. ЕЦД обеспечивает управление жизненным циклом хранения данных и нормативно-справочной информацией, формирует иерархию документации, предоставляет данные для других систем.

Модуль «Личный кабинет заказчика» (ЛКЗ) – система представления информации по проектам исследования скважин для внешних пользователей (рис. 5). Модуль решает задачи повышения информированности внешнего пользователя, интерактивной подачи информации, привлекательности конечных данных. Благодаря использованию модуля пользователи получают информацию по объектам исследования, состояниям и статусам, а также имеют доступ к отчетным материалам и комплексам визуализации данных.

Источниками данных выступают системы учета проектов (СУП) и единого центра данных (ЕЦД). После сбора данных ВІ производит их обработку, обогащение, формирование витрин для дальнейшего преобразования и формирования 2D- и 3D-графиков.

Модуль «Система управления проектами» (СУП) – система для учета информации по проектам исследо-

вания скважин, которые проводятся по технологии GEOSPLIT (рис. 6). Пользователями данного модуля являются сотрудники компании. Система предназначена для решения задачи прозрачной реализации проектной деятельности по исследованиям, планированию, формированию календарей, ведению отчетности по полевым операциям, маркировке и отбору проб с их последующей доставкой и лабораторным анализом. Данный модуль позволяет разделить объемы работ менеджеров, супервайзеров и лаборатории, при этом уведомляя пользователя о текущих этапах и статусах всех основных технологических операций.

Связка модулей GeoExpert и GeoOpt представляет собой гибридную модель, использующую упрощенную физическую модель пласта и алгоритм машинного обучения, настроенный на уточнение результатов, прогнозируемых физической моделью. В качестве физической модели выступает capacitance resistance model (CRM, или материальный баланс), а в качестве модели машинного обучения – алгоритмы Random Forest и более продвинутые Long short-term memory (LSTM), которые приспособлены к обучению на задачах классификации, обработки и прогнозирования собранного в разные моменты времени статистического материала

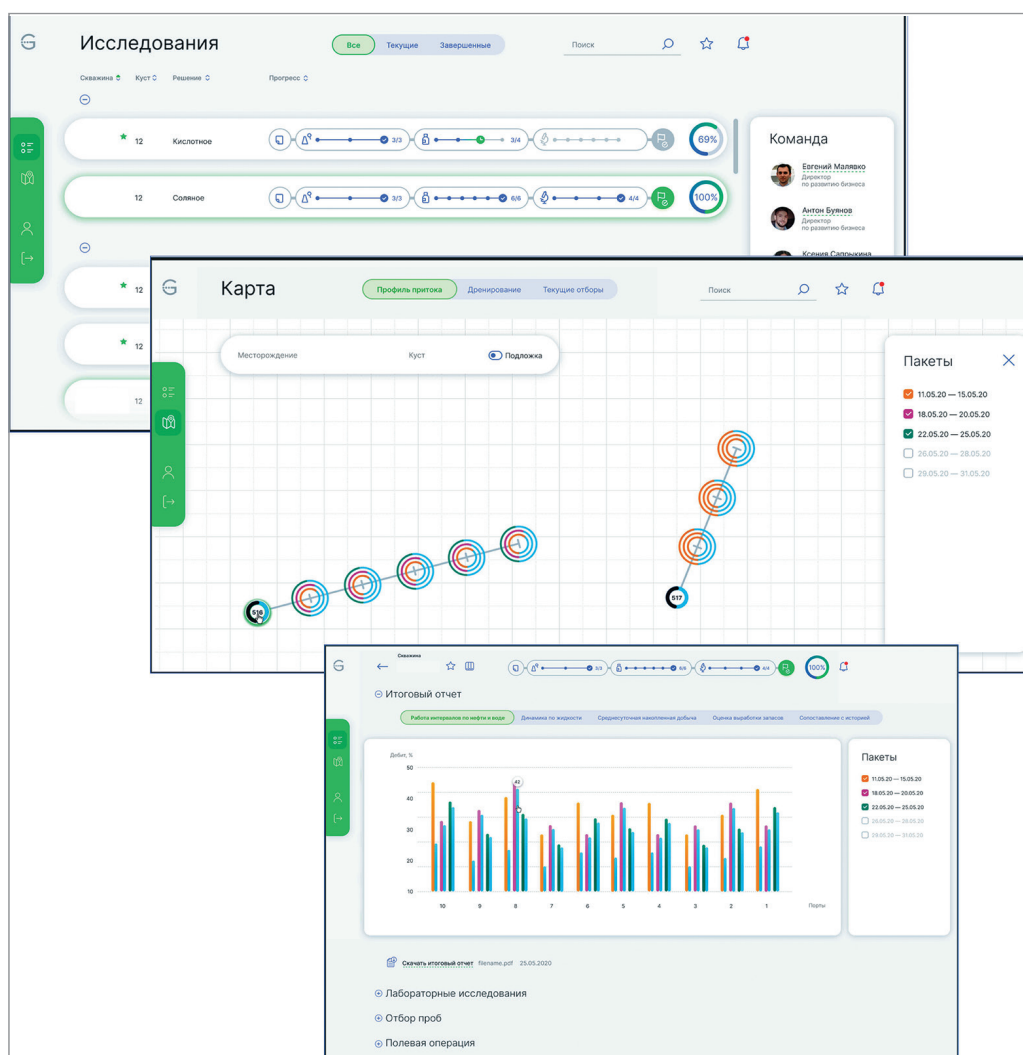


Рис. 5.
Визуализация модуля
«Личный кабинет
заказчика»

о значении параметров работы системы «скважина – пласт». Анализируя большие данные о разработке различных месторождений, алгоритмы машинного обучения находят скрытые взаимосвязи между разными параметрами разрабатываемого месторождения (например, взаимодействие сетки скважин, текущего пластового давления в конкретной скважине и скин-фактора) и на основании этих взаимосвязей выдают коэффициент гидропроводности между нагнетательной и добывающей скважинами. Эти взаимосвязи с высоким процентом вероятности справедливы и для новых, только внедряющихся в разработку месторождений.

Верхнеуровневое описание алгоритма работы продукта приводится ниже:

- эффективная обработка и оценка больших массивов фактических внутрискважинных данных динамического мониторинга профиля притока (по сути – химический ПГИ с высокой частотой исследований);
- генерация гипотез интерпретации того или иного профиля в автоматическом режиме;

- проверка гипотез с помощью различных модулей, использующих различные «датасеты» прямых и косвенных взаимосвязей между факторами;

- генерация и ТЭО возможных мероприятий по увеличению выработки коллектора в масштабе от 1 до 100 скважин;

- оперативная проверка предлагаемых решений в традиционных 3D-симуляторах с помощью наборов plug-in;

- выполнение рекомендаций и повторение цикла с целью удержания достигнутых результатов для поддержания эффективного процесса выработки коллектора.

Основной задачей реализации концепций «интеллектуального» месторождения является совершенствование инструментов оперативного контроля фонда скважин, способствующих улучшению решению целого ряда прикладных задач по регулированию разработки месторождения от оптимизации системы поддержания пластового давления (ППД) до идентификации автоГРП, при котором часто возникает необходимость

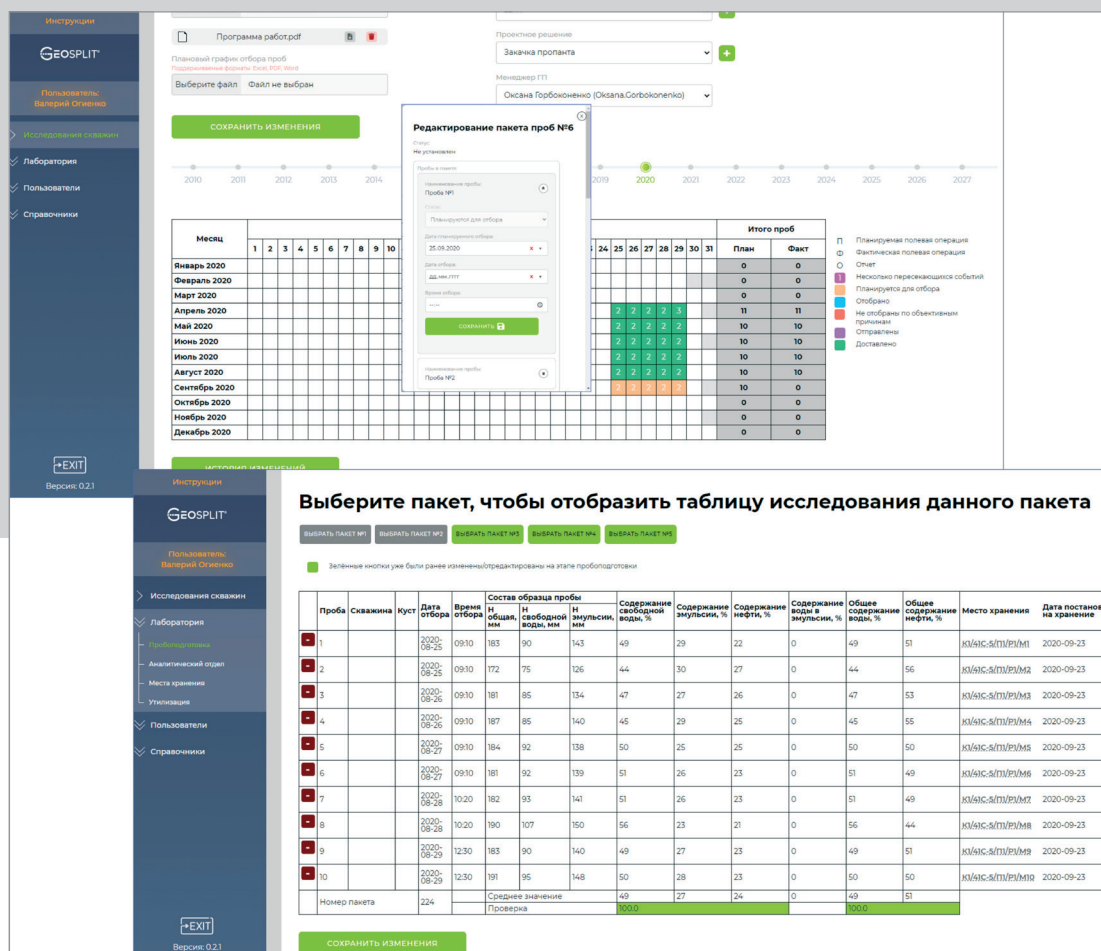


Рис. 6. Визуализация модуля «Система управления проектами»

оценки гидродинамической связи между скважинами. Гидродинамические симуляторы требуют большого количества временных и вычислительных ресурсов для оценки необходимых параметров, в отличие от полуаналитических моделей, позволяющих произвести вычисления достаточно быстро.

Относительная простота модели CRM дает возможность оценивать физико-технические параметры, описывающие процесс притока пластовых флюидов к скважинам, при минимальном количестве вычислительных ресурсов и небольшом объеме исходных данных (дебит жидкости, забойное давление, приемистость нагнетательных скважин, координаты скважин, фильтрационно-емкостные свойства пласта). С другой стороны,

модели имеют существенные ограничения по применению, затрудняющие их использование при работе с реальными данными, особенно без учета специфики разработки объектов горизонтальными скважинами в добывающем и нагнетательном фондах.

Данная платформа предоставляет компании-недропользователю всю необходимую информацию в цифровом виде, обеспечивает удобную для пользователя работу с этими данными и позволяет не только существенно ускорить получение рекомендаций экспертов на основе исследований скважин, но и значительно улучшить качество принимаемых решений, а следовательно – повысить эффективность добычи и разработки месторождений.

Литература

1. Козлова Д., Пигарев Д. Интеллектуальная добыча. Почему России необходимо изменить подход к государственному стимулированию отрасли // Neftegaz.RU, ВыГОН Консалтинг. – 2020. – № 7.
2. An Integrated Approach to Efficient Development of Fields using Intelligent Horizontal Wells Production Logging Technology / D. Shestakov; M. Galiyev, LUKOIL, K. Ovchinnikov; E. Malyavko // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2019. – № 6.

3. Повышение эффективности разработки месторождений с помощью технологий Big Data / А. Каташов, А. Гурьянов, В. Киселев, К. Овчинников, Ю. Котенев // Недропользование XXI век. – 2019.
4. SPE-196862-MS. Big Data in Field Development Projects. GEOSPLIT LLC, 2019.
5. SPE-196829-MS. Comparison of various tracer-based production logging technologies application results in one well. GEOSPLIT LLC, 2018.