

Применение информационных технологий в нефтедобывающей промышленности

С. А. Исламова, email: saniya.islamowa@yandex.ru

В. В. Мокшин, email: vladimir.mokshin@gmail.com

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева. Казанский авиационный институт

***Аннотация.** В целях решения проблемы ухудшения качества ресурсной базы нефтедобывающей промышленности было решено использовать умные месторождения и различные способы контроля и анализа работы буровых установок и скважин. Благодаря разнообразию таких технологий для выполнения разноплановых задач, появилась возможность их объединения и максимальной автоматизации процесса. Эта и другие технические нововведения помогают облегчить работу нефтяников и увеличить добычу нефтегазовых ресурсов.*

***Ключевые слова:** информационные технологии, динамограммы, нефтедобывающая промышленность, математические модели, автоматизация, интегрированное моделирование, симулятор.*

Введение

На данный момент одной из отраслей, существенно влияющих на развитие экономики в России, является нефтедобывающая промышленность. Многие российские нефтяные компании активно проявляют интерес к цифровым технологиям и стремятся в максимальной степени автоматизировать внутренние процессы. Внедрение новых технологий может позволить компаниям повысить коэффициент подтверждаемости извлекаемых запасов нефти посредством увеличения точности моделирования и прогнозирования, а приятным дополнением к этому будет ускоренный процесс адаптации технологий и снижение их стоимости.

В современных условиях цифровая деятельность для отечественных компаний становится одним из наиболее важных направлений повышения экономической безопасности, в связи с чем и возникает необходимость всестороннего анализа цифровой активности, как государства, так и бизнес структур.

В качестве примера использования цифровых технологий можно привести возможность построения модели предсказания для параметров

работы скважин. Чтобы принимать решения в процессе разработки месторождения, нужна целостная модель всего месторождения – пример такой модели представлен на рис.1.

Всё начинается с сейсмической модели, она отображает под землей трехмерные поверхности – специфические слои, от которых хорошо отражаются сейсмические волны. Результатом исследования становится каротаж ГИС, то есть кривая определённой физической величины, измеренная с определённым шагом вдоль всего ствола скважины. Сейсмическая модель не позволяет точно определить, какой слой, на какой глубине расположен, но она показывает характер распространения и изгиба всех сразу слоёв, характер напластования.

На этапе дискретизации получается геологическая модель – трёхмерный изогнутый параллелепипед, разбитый на ячейки, который описывает структуру месторождения и несколько трёхмерных массивов свойств в этих ячейках. И наконец, на уровне экономической модели, экономисту предстоит рассчитать суммарный NPV от готового проекта разработки месторождения.

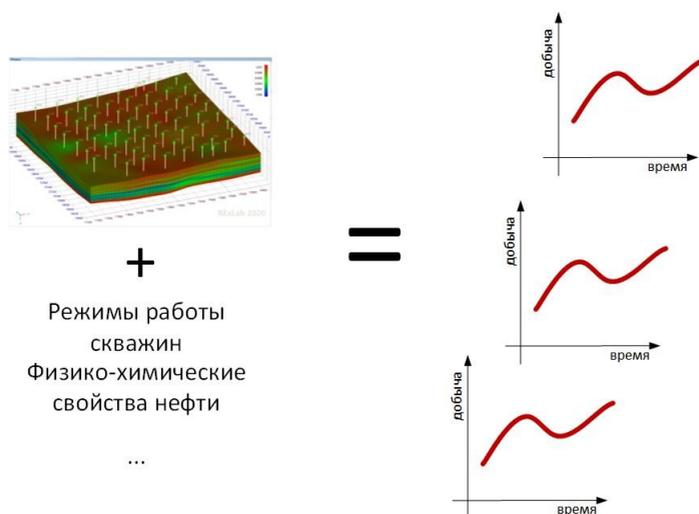


Рис. 1. Модель предсказания параметров работы скважины

2. Динамограммы

Динамометрирование, или построение устьевой (наземной) динамограммы является одним из самых эффективных способов контроля состояния штанговых глубинных насосов. Динамограмма показывает корреляцию нагрузки в точке подвеса штанг от положения

полированного штока – она отражает наиболее точную картину о состоянии глубинного оборудования, оценивает реальный дебит установки и анализирует, правильно ли выбран режим эксплуатации скважины.

Для построения динамограммы необходима информация о нагрузке скважины и перемещении стока – для получения такой информации используется датчик усилия, состоящий из упругого элемента в виде полого цилиндра и транзисторов, закрытых защитным кожухом.

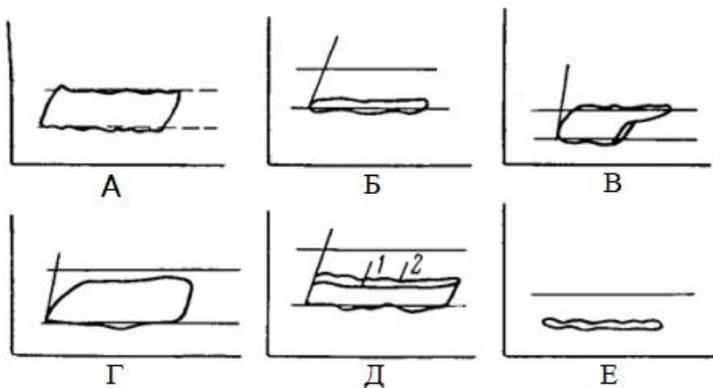
Все данные передаются по цифровым протоколам и линиям связи, минимально подверженным помехам. Далее специальное устройство формирует перечень динамограмм, анализирует их и отображает обобщенную информацию о состоянии оборудования и режиме работы.

При прорисовке динамограммы, соответствующей нормальной работе насоса – получается форма параллелограмма. Она будет построена только в том случае, когда насос полностью герметичен и исправен, цилиндр насоса полностью заполнен несжимаемой жидкостью, погружение насоса под динамический уровень равно нулю, в насосной установке не возникают динамические нагрузки, коэффициент наполнения насоса равен единице. Процесс разгрузки и нагрузки штанг изображается наклонными линиями. Горизонтальные линии отражают статическую нагрузку у точки подвеса при ходе вверх и вниз. Если бы при работе станка-качалки на происходило растяжения и сжатия штанг подвеса насоса, тогда теоретическая динамограмма имела бы вид прямоугольника.

Практическая динамограмма работы штангового насоса имеет значительные отличия от теоретической – так происходит из-за воздействия колебательных процессов и сил инерции в колонне штанг. В результате этого динамограмма оказывается сдвинута на определенный угол по часовой стрелке, и продольные колебания в колонне штанг провоцируют волнообразные изменения нагрузки на устьевой шток.

Практическая диаграмма указывает минимальную и максимальную нагрузки, позволяет определить длину хода штока, выявить повреждения и неполадки в работе установки штангового глубинного насоса и установить динамические процессы в колонне штанг. В процессе работы насосной установки возникают различные ошибки, которые приводят к спаду коэффициента подачи насоса и утечкам жидкости в насосе – вследствие этого нарушается нормальный процесс приложения нагрузки на устьевой сток. Каждый сбой в работе насоса характеризуется уникальной формой динамограммы, по которой можно определить характер нарушения без подъема насоса на поверхность.

На рис. 2 показаны некоторые типовые практические динамограммы, отражающие различные режимы работы насоса.



А – нормальная работа глубинного насоса, Б – выход из строя угла нагнетательного клапана, В – попадание газа в насос, Г – пропуски жидкости при ходе плунжера вверх, Д – утечка жидкости из труб, Е – обрыв или отвинчивание штанг

Рис. 2. Типовые практические динамограммы

3. Технология интегрированного моделирования

Процесс создания единой математической модели месторождения или интегрированное моделирование используется для максимально точного расчета параметров флюида по его движению до точки сдачи продукции. Интегрированная модель месторождения служит для оптимизации работы система, с учетом компонентного взаимодействия друг на друга – она состоит из связанных моделей скважин, пласта и подробной модели поверхностного обустройства.

Суть интегрированной модели формата «пласт, скважина, сеть сбора» заключается в объединении отдельных математических моделей, состоящих из разных методик описания течения флюида, с разными уравнениями и способами их решения. Многие программные инструменты для формирования интегрированной модели используют очевидную связь, при которой осуществляется последовательное решение уравнений модели пласта и сети сбора для сбалансированного результата.

В ходе процесса программа-интегратор предоставляет граничные условия из гидродинамической модели в модели скважин и сети сбора, а

модель сети выполняет расчет на основе полученных данных. Если полученные результаты не выходят за рамки ранее обозначенных ограничений и полностью удовлетворяют заданному критерию точности – то модели пласта и сети сбора считаются уравновешенными и расчет интегрированной модели переходит на следующий временной шаг.

В результате расчета добычи и режима работы скважины с учетом действия ограничений со стороны пласта и сети сбора продукции повышается точность прогнозирования.

В настоящее время для проектирования разработки месторождения применяется трехмерное гидродинамическое моделирование – оно учитывает сложное геологическое строение месторождения при расчетах физических процессов.

Схема разработанной интегрированной модели представлена на рис. 3. Для экономии ресурсов и ускорения работы все расчеты модели выполняются на удаленном сетевом кластере. В качестве связующего звена между элементами интегрированной модели используется пакет для расчета интегрированных моделей Resolve компании PetroleumExperts.

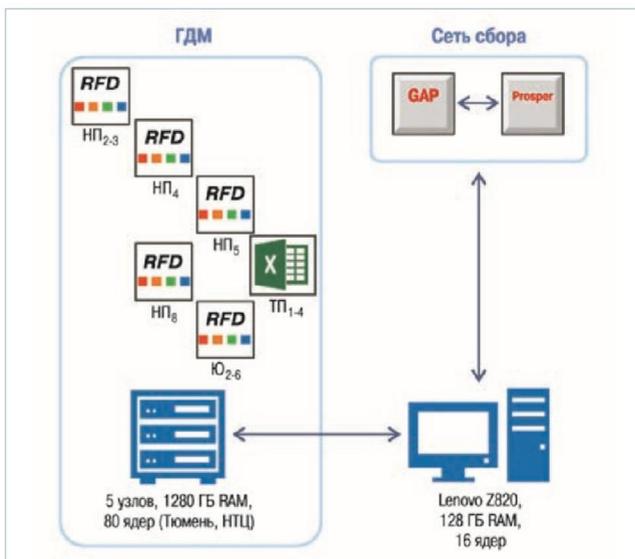


Рис. 3. Схема разработанной интегрированной модели

Программа-интегратор производит расчеты с применением определенных стратегий, позволяет установить режим контроля добычи

скважиной, регулировать конфигурацию сети сбора и параметров субъектов (диаметр штуцера, давление на входе в системе сбора продукции, параметры работы глубиннонасосного и наземного оборудования и др.).

На первом этапе происходит сравнение расчета интегрированной модели с результатами расчетов гидродинамических моделей, выполненных с учетом тех же условий и выявляются факторы, влияющие на отклонение добычи. Как видно из рис. 4, введение дополнительных условий уже на начальном этапе расчетов интегрированной модели приводит к изменению профиля добычи нефти на 5 %.

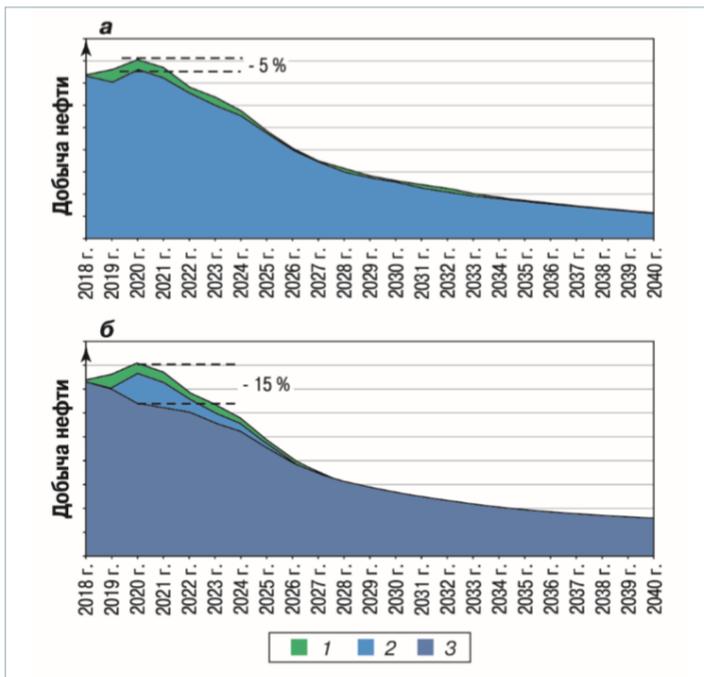


Рис. 4. График изменения профиля добычи нефти

4. Симулятор разрыва гидропласты

Гидравлический разрыв пласты (ГРП) – одна из важнейших операций, проводимых на скважинах. Принцип гидроразрыва пласты заключается в следующем: в скважину закачивают специальную жидкость под большим давлением, в следствие чего разрывается пласт,

раздвигая слои породы. Далее, вместе с жидкостью, начинается подаваться пропант, он заполняет пласт и образуется проницаемая область, соединенная со скважиной.

Низкопроницаемые месторождения бесполезно бурить обычными скважинами: проницаемость мала, и к маленькому стволу скважины нефть поступает очень медленно и в малом количестве. ГРП образует обширную трещину с большой площадью стенок, тщательно соединенную со скважиной. Чтобы повторно увеличить площадь, с которой собирается нефть, скважины бурят горизонтально, и проводят ГРП несколько раз – в разных местах горизонтального ствола.

Чтобы избежать неверного направления трещин, застревания пропанта на входе в трещину, потери контакта между пропантом и стволом скважины – используется моделирование ГРП. Данный процесс выполняется посредством использования специализированного программного обеспечения под названием «симулятор ГРП», который использует численную физико-математическую модель развития трещины. Пример такой модели изображен на рис. 5.

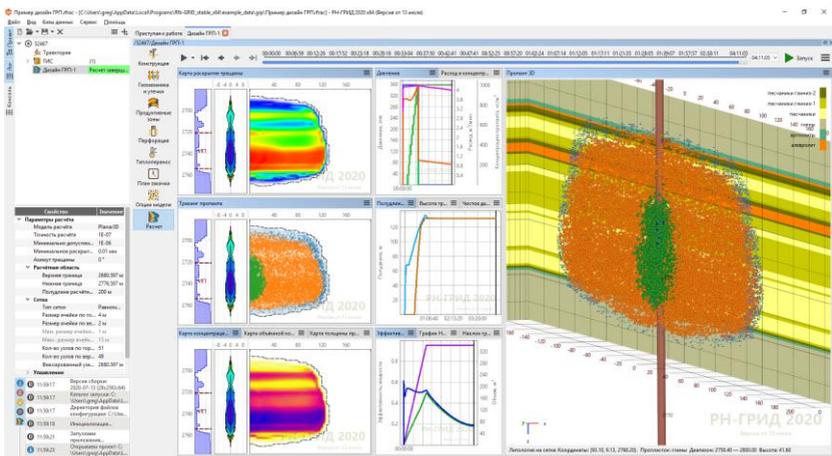


Рис. 5. Физико-математическая модель развития трещины

5. Графики

Все аппаратное обеспечение, используемое во время операции с гибкой трубой или операции гидроразрыва пласты наполнено датчиками. Все полученные с них данные записываются в базу данных или специальный файл. После окончания выполнения операций файл с данными импортируется и анализируется инженерами – именно по

полученным схемам, графикам и диаграммам определяются ошибки и неполадки в работе скважин.

Например, посмотрев график, изображенный на рис. 6. инженер может выделить следующие процессы: в точке 1 началась закачка, и забойное давление (давление внизу скважины) начинает резко расти с точки 2 до точки 3, пока, наконец, при давлении 380 атмосфер не открывается трещина гидроразрыва. При этом, давление внизу у скважины так и останется практически постоянным, пока трещина будет расти вплоть до точки 11. Когда трещина открывается при 380 атмосферах, на поверхности манометр показывает более 500 атмосфер в точке 4. Давление в трещине остаётся почти постоянным, а на поверхности показания манометра падают из точки 4 в точку 5.

Для более подробной картины инженер измерит наклон линии от точки 4 к точке 5, и получит таким образом отношение коэффициентов трения у жидкости, которая была в скважине и которая туда поступает. В точке 6 начинает подаваться пропант, а в точке 7 начинают падать показания манометра на поверхности – это столб жидкости в скважине из-за пропанта становится тяжелее. В точке 8 до точки 9 в скважину добавили понизитель трения, чтобы пропант не слишком сильно тормозился о стенки трубы. В точке 10 перестали подавать пропант, он перестал под своим весом «проваливаться» в скважину, и поэтому сильнее приходится давлением его продавливать в трещину, устьевое давление возрастает до точки 11.

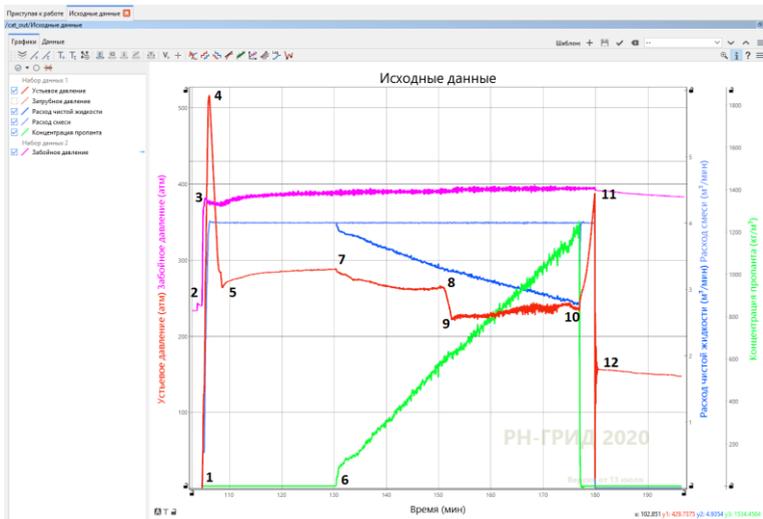


Рис. 6. Записанная операция гидроразрыва пласта

Все эти графики позволяют инженеру выстроить детальную картину процессов, происходящих на глубине и качественно оценить множественные показатели.

Заключение

В данной статье были рассмотрены различные информационные технологии, позволяющие мировым нефтяным компаниям моделировать процессы работы установок, находить и анализировать ошибки в работе удаленно. Благодаря использованию таких технологий появляется возможность увеличивать коэффициент подтверждения рентабельности извлекаемых запасов нефти.

Список литературы

- Мокшин, В. В. Метод формирования модели анализа сложной система / В. В. Мокшин, И. М. Якимов // Информационные технологии. – 2011. – №5. – С. 46-51.
- Власов, А. И. Обзор технологий: от цифрового к интеллектуальному месторождению / А. И. Власов, А. Ф. Можиль // PRONEFTЬ. Профессионально о нефти. – 2018. – № 3(9). – С. 68-74.
- Рекурсивно-регрессионная модель самоорганизация моделей анализа и контроля сложных систем / В. В. Мокшин [и др.] // Нелинейный мир. – 2009. – Т. 7. – № 1. – С. 66-76.

5. IT в нефтегазовой промышленности / Жаров А.Д. [и др.] // Проблемы науки. – 2018. – № 1(25). – С. 27-29.

6. Engineering Россия [Электронный ресурс] : «Умные» технологии в нефтегазовой отрасли. – Режим доступа : <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/umny-e-tehnologii-v-neftegazovoj-otrasli/>

7. DisserCat – электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс] : Диагностики и контроль состояния скважинной штанговой насосной установки на основе динамометрирования и нейросетевых технологий. – Режим доступа : <https://www.dissercat.com/content/diagnostika-i-kontrol-sostoyaniya-skvazhinnoi-shtangovoi-nasosnoi-ustanovki-na-osnove-dinamo/read>

8. DisserCat – электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс] : Устойчивость и колебания буровых установок. – Режим доступа : <https://www.dissercat.com/content/ustoichivost-i-kolebaniya-burovykh-ustanovok/read>

9. DisserCat – электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс] : Информационно-измерительная система динамометрирования скважин, оборудованных штанговыми глубинными насосами. – Режим доступа : <https://www.dissercat.com/content/informatsionno-izmeritelnaya-sistema-dinamometrirovaniya-skvazhin-oborudovannykh-shtangovymi/read>