

открытая профессиональная полемика

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ПЕРЕДОВОЙ ОПЫТ в области инжиниринга бурения



И.Н. Ляпин К.Р. Давлетов А.А. Паторов М.В. Леонтьев А.В. Ситников



В.Н. Ульянов С.Н. Конев А.А. Арутюнян А.Р. Нургалеев Н.К. Каюров Д.Ю. Зубков Д.А. Удальцов



Б.А. Мартынов Т.А. Финк П.А. Грошева М.С. Жарков Ю.Н. Мойса Е.Ф. Филиппов Л.Е. Ленченкова

- **И.Н. ЛЯПИН**, начальник отдела технологий бурения ООО «СамараниПинефть»
- **К.Р. ДАВЛЕТОВ**, начальник управления эффективности реализации проектов по строительству скважин ООО «СамараниПинефть»
- **А.А. ПАТОРОВ**, главный специалист отдела анализа эффективности ООО «СамараниПинефть»
- **М.В. ЛЕОНТЬЕВ**, заместитель главного инженера проекта ООО «СамараниПинефть»
- **А.В. СИТНИКОВ**, инженер отдела анализа эффективности ООО «СамараниПинефть»
- **В.Н. УЛЬЯНОВ**, генеральный директор ООО «Новосибирский научно-технический центр»
- **С.Н. КОНЕВ**, к.г.-м.н., генеральный директор ООО «ОЙЛПРОМСЕРВИС»
- **А.А. АРУТЮНЯН**, заместитель генерального директора по производству ООО «ОЙЛПРОМСЕРВИС»
- **А.Р. НУРГАЛЕЕВ**, начальник отдела инжиниринга ООО «ТМК-Премимум Сервис»
- **Н.К. КАЮРОВ**, главный геолог ООО НППГА «Луч»
- **Д.Ю. ЗУБКОВ**, главный технолог компании «ТаграС-РемСервис» Нефтесервисного Холдинга «ТаграС»
- **Д.А. УДАЛЬЦОВ**, главный эксперт отдела технологий и инжиниринга строительства скважин ООО «РН-ЦЭПИР»
- **Б.А. МАРТЫНОВ**, к.т.н., заместитель генерального директора ООО «НПК «Спецбурматериалы»
- **Т.А. ФИНК**, главный технолог ООО «Современные сервисные решения» (ГК «Миррико»)»
- **П.А. ГРОШЕВА**, руководитель по развитию бизнеса и маркетингу ООО НПП «БурениеСпецСервис»
- **М.С. ЖАРКОВ**, генеральный директор ООО «КСА ДОЙТАГ Раша»
- **Ю.Н. МОЙСА**, к.х.н., директор ООО «НПО «Химбурнефть»
- **Е.Ф. ФИЛИППОВ**, к.т.н., заместитель директора по научной работе ООО «НПО «Химбурнефть»
- **Л.Е. ЛЕНЧЕНКОВА**, д.т.н., проф. УГНТУ

Инжиниринг в бурении – наиболее динамично развивающееся направление в общей сфере нефтегазовых сервисных услуг. Усложнение условий бурения стимулирует поиск, разработку и внедрение новых технологий в этой области. Но зачастую эффективные решения и ценный опыт не находят должного применения на практике. Разработки талантливых инженеров, изобретателей, рационализаторов могут оказаться невостребованными и незаслуженно забытыми. Чтобы повлиять на сложившуюся ситуацию, редакция научно-технического журнала «Нефть. Газ. Новации» регулярно предоставляет страницы своего издания для продвижения перспективных идей, новых решений и передового опыта. Проект «Открытая профессиональная полемика» носит долгосрочный характер. Это

площадка для постоянного заочного бизнес-общения, где можно сформулировать производственную проблему и найти рекомендации по применению эффективных технологических решений.

В рамках подготовки сегодняшней полемики мы привлекли в качестве экспертов специалистов из ведущих нефтегазовых компаний «Роснефть», «Лукойл», «Газпром нефть», «Сургутнефтегаз», «Татнефть», «КазМунайГаз», «Белоруснефть» и других организаций. На основе мнения экспертов сформированы наиболее актуальные темы, которые представляют для специалистов особый интерес. К участию в полемике были приглашены те, кто готов представить свои инновационные разработки, передовой опыт, новые решения для оптимизации процесса бурения.

Начнем, пожалуй, с того, о чем в отраслевом сообществе говорят уже давно как о насущной необходимости, – с вопроса о разработке национальных стандартов в области строительства и реконструкции скважин. Инициировали обсуждение данной темы специалисты Управления технологий и инжиниринга строительства скважин ООО «РН-ЦЭПиТР». Однако особую важность проблем, связанных с законодательной базой, регламентирующей вопросы технического регулирования, отметили все без исключения.

По мнению начальника отдела технологий бурения ООО «СамараНИПИнефть» **И.Н. ЛЯПИНА**, несбалансированность и рассогласования в области технического регулирования и стандартизации нефтегазовой сферы строительства и реконструкции скважин – своего рода препятствие на пути к оптимизации проектирования – этапа, предшествующего успешному старту буровых работ:

– Обеспечить качество проектной документации (ПД) на строительство нефтяных и газовых скважин возможно через **изменение требований к макету ПД** с учетом развития новых технологий в бурении. Специалистами ООО «СамараНИПИнефть» разработан **проект предварительного национального стандарта** «Нефтяная и газовая промышленность. Строительство скважин на суше. Макет проектной документации. Общие положения». Разработанный документ **не имеет аналогов** среди международных и региональных стандартов. Новый разработанный макет ПД отвечает современным условиям строительства скважин и содержит подробную расчетную часть, анализ рисков, а также другую актуальную информацию, необходимую, в том числе, для формирования рабочих программ бурения скважин и бурения сложных высокотехнологичных скважин. При этом из макета

исключена устаревшая и неактуальная информация. Это позволит перераспределить трудозатраты проектировщиков и за счет переориентации интеллектуальных ресурсов корпоративных НИПИ повысить эффективность их деятельности.

Коренные преобразования в области оптимизации проектной деятельности специалисты связывают с внедрением цифровых решений. Ценным опытом цифровизации проектирования поделился генеральный директор ООО «Новосибирский научно-технический центр» В.Н. УЛЬЯНОВ:

– Стандартные решения в проектировании строительства скважин основаны на индивидуальном подходе к каждой скважине, что обуславливает необходимость проведения уточняющих расчетов и увеличивает сроки проектирования. **Новейшая методика проектирования строительства скважин** подразумевает его **автоматизацию путем интегрирования разрозненных данных** и проведения **автоматических расчетов на каждом этапе** с их последовательным уточнением.

Каким требованиям должны соответствовать новейшие IT-инструменты проектирования строительства скважин? Современные **требования к инструментам проектирования** подразумевают в первую очередь снижение операционного участия инженера и увеличения его роли как аналитика. Такое перераспределение функций связано с дисбалансом, возникающим из-за постоянного роста информационного потока в проектной деятельности. С учетом современных требований проектирования сотрудниками ООО «ННТЦ» были разработаны платформы DARCУ и IIFA, где совмещены инструменты детального проектирования скважины и автоматизированного мультискважинного анализа. Такой подход позволяет ускорить

проектирование на активе и при этом параллельно проводить детальное моделирование объектов при их высокой сложности.

Современные системы должны совмещать в себе свойства всех типов систем поддержки работы инженеров и менеджмента для разноуровневого принятия решений. Но при этом важно создавать удобные и гибкие инструменты для инженеров, ускорять сроки выполнения работ за счет подключения серверных мощностей. В программном комплексе DARCУ реализована разветвленная система расчетов, позволяющая подключать любого типа расчетные алгоритмы, проводить расчеты и обеспечивать их визуализацию для целей бурения, обсадки и цементирования скважин при интегрировании с данными петрофизики, геонавигации и геомеханики.

Грамотный подход к **внедрению цифровых технологий в сфере проектирования строительства скважин** с учетом вышеперечисленных требований открывает перед проектировщиками и буровиками многообещающие перспективы. Примером может служить применение трехмерного геологического моделирования при планировании кустового бурения. На созданной нами гидродинамической модели в платформе IIFA реализован **модуль интегрированного планирования**, позволяющий оптимально расставлять планируемые скважины с различным закачиванием с учетом ограничений. На заданной гидродинамической модели производится расчет профиля добычи планируемых скважин с учетом различных геолого-технологических мероприятий; рассчитываются ключевые показатели эффективности – NPV, PI, MIRR, DPP исходя из глубины бурения, длины ствола, длительности работ и прочих факторов. Трехмерное геологическое моделирование позволяет предотвратить самопересечения, осуществлять подбор оптимальной траектории без осложнений, связанных с обрушением ствола скважины, поглощением бурового раствора в интервале продуктивного пласта, газонефтеводопроявлениями.

Важно учитывать также и то, что для автоматического проектирования бурения необходима интегрированная среда, связанная онтологической моделью, где будут учтены все ограничения, допущения и сценарии развития актива. В рамках такой структуры данных реализован **многопараметрический симулятор для автоматизированной расстановки кустов скважин**, определения геологических целей и расчета первичной траектории и паука скважин. При этом осуществляется учет существующей инфраструктуры и земельно-правовых ограничений, учет трехмерных геологических моделей, экономических моделей с поддержкой различных сценариев. Таким образом, применение симулятора для оптимального расположения скважин дает возможность сократить ряд рисков и ускорить проведение экономической оценки оптимального расположения скважин, принимая во внимание изменения прогнозируемого дебита нефти, длин скважин, особенности ландшафта, достаточность источников электроснабжения, пропускную способность нефти и га-

зосборной сети. Оптимальные варианты, предложенные программой, позволяют инженерам выполнять максимально детализированную аналитику, заведомо отсекая менее приемлемые варианты.

Без продуманной интегрированной модели данных и процессов не могут быть реализованы и **«цифровые двойники»**. Например, в фреймворке IIFA реализована онтологическая модель процессов и данных, позволяющая оперировать геологическими (в том числе трехмерными) и инфраструктурными объектами в разные моменты времени существования актива. Совместно с микросервисной архитектурой это позволяет расширять возможности «цифрового двойника» и адаптировать его под конкретные геолого-технологические условия. Гибкость системы является технологической необходимостью в условиях геологического и инфраструктурного разнообразия, а также технологической и экономической изменчивости. Кроме того, аналитика на оцифрованных технологических процессах позволяет предотвращать аварийные и потенциально аварийные ситуации, сокращать затраты непроизводительного времени, проводить сопоставление строительства скважин различных типов. Для внедрения «цифрового двойника» на предприятии необходима его интеграция с множеством разноплановых источников данных. Качество входных данных заказчика, их валидация, а также корректность интеграции внутренних систем вносят ограничения при реализации проекта.

В настоящее время наша компания работает над совершенствованием модуля DARCУ, который позволяет автоматически распознавать керновые материалы и выдавать результаты глубины, геомеханические параметры, фильтрационно-емкостные свойства. Данный подход позволяет ускорить распознавание материала и облегчает работу с базой данных, полученных при исследовании керна. В программном модуле DARCУ разрабатывается **модуль для расчета нагрузок** на бурильную колонну, веса на крюке и моментов вращения колонны при спуско-подъемных операциях и бурении. Программный продукт обеспечивает подбор оптимального строения компоновки низа буровой колонны с учетом петрофизических свойств геологического разреза. Расчет производится на основании детерминистических методов с выделением технологических процессов.

Отмечу также, что наличие интегрированной системы и баз данных позволяет проводить бенчмаркинг для сопоставления скорости проходки, определять стоимость метра бурения и выявлять лучшие практики внутри компании.

Информационное обеспечение в ходе проектирования строительства скважин имеет колоссальное значение. Подчеркивая важность проблематики управления информацией в процессах строительства скважин, А.П. ШТЫФЕЛЬ, заместитель генерального директора по бурению ООО «РИТЭК» – компании, имеющей заслуженную репутацию инновационного научно-технического

полигона ПАО «ЛУКОЙЛ» – отметил: «Эта тема особенно интересна, так как влияет на весь цикл строительства скважины – от проектирования до оценки эффективности».

Об одной из составляющих управления информационными потоками в процессах строительства скважин – технологии big data – идет речь в решении, представленном инженером 2 категории отдела анализа эффективности ООО «СамараНИПИнефть» А.В. СИТНИКОВЫМ:

– Для достижения максимальной результативности при планировании строительства скважин и последующей их эксплуатации требуется **проведение анализа большого объема данных**. В том числе необходимо учитывать опыт прошлых лет и наработанную базу, что зачастую является весьма сложной задачей для ручного анализа, так как подразумевается обработка многих числовых параметров. Конечно, специалистами в ручном/полуавтоматическом режиме достаточно успешно реализуются поставленные цели, однако при таком подходе не исключен так называемый «человеческий фактор», да и вообще учет всех факторов, влияющих на процесс, не представляется возможным.

С поставленной задачей отлично справляется «машина». При грамотном подходе к проектированию аналитической системы в точности прогнозирования можно достичь фантастических результатов и свести к минимуму ошибки. Да, вероятность ошибки все же остается, но система самообучаема. К тому же учитывать все параметры зачастую просто бессмысленно, поэтому в ходе анализа отбрасываются некоторые из них, не влияющие на процесс. Основные плюсы данного подхода заключаются в **охвате большого массива данных, минимизации трудозатрат сотрудников и исключении «человеческого фактора»**.

Сотрудники Специализированного института по технологии бурения в области строительства и реконструкции скважин ООО «СамараНИПИнефть» (СИТ БУРЕНИЕ) активно развивают данное направление. Основной задачей для достижения максимальной точности является подбор оптимального алгоритма. На текущем этапе определены три основных варианта. Проводится всесторонняя оценка и анализ их эффективности, скорость «работы» и определение показателя «средней ошибки». За основу будет выбран оптимальный алгоритм, лучше остальных решающий задачи прогнозирования и удовлетворяющий всем поставленным требованиям.

Эффективное управление данными заложено сегодня в основу успешного управления процессами строительства скважин. По мнению представителей ООО «ОйлПРОМСЕРВИС» С.Н. КОНЕВА и А.А. АРУТЮНЯНА, уровень информационного обеспечения при строительстве скважин играет важную роль в управлении процессом бурения:

– Процесс строительства скважин – это сложный многоэтапный и длительный технологический процесс с боль-

шим количеством внешних трудно учитываемых, зачастую взаимосвязанных, влияющих друг на друга факторов.

За более чем столетнюю практику строительства скважин все процессы, протекающие в них, изучены и детерминированы. Способы воздействия на эти процессы детально разработаны, выявлены режимные параметры отдельных операций строительства скважин, обеспечивающие успешность и эффективность достижения целей работ в конкретных условиях. Определены общепринятые характеристики отдельных операций и процесса в целом, по которым оценивается эффективность работ.

Управление процессом строительства скважин заключается в правильности выбора значений режимно-технологических параметров выполнения операций в зависимости от текущих условий, в контроле за их поддержанием исполнителями и в анализе характеристик, отображающих достигнутые результаты работ. Поэтому эффективность управления строительством скважин во многом зависит от уровня его **информационного обеспечения**, который определяется точностью, достоверностью и полнотой информации о текущих значениях режимно-технологических параметров, корректностью результатов ее обработки (значений расчетных параметров и характеристик работ) и оперативностью доступа ко всей информации руководителей и исполнителей работ.

Высокую точность измерения значений всех режимно-технологических параметров бурения, оперативность их поступления в единый банк данных, получение в режиме реального времени достоверных результатов обработки этих данных и легкость доступа к ним удаленных пользователей обеспечивает цифровая **Информационно-аналитическая система контроля управления процессом строительства скважин ГЕОТЕК (ИАС ГЕОТЕК)**. В нее входят устанавливаемый на буровой аппаратно-программный комплекс по сбору, обработке и анализу данных о процессе строительства скважин ГЕОТЕК, программный комплекс хранения, обработки и анализа данных и система приема – передачи информации.

Формирование ИАС ГЕОТЕК из станции ГТИ осуществлялось более двадцати лет в соответствии с пожеланиями заказчиков по совершенствованию информационного обеспечения процесса строительства скважин, которые таким образом являются соавторами этой системы. В настоящее время в ней производятся все известные в мировой практике инженерно-технические расчеты и статистические определения. Создан в 2009 году и постоянно совершенствуется эффективный инструмент применения ИАС ГЕОТЕК – удаленный центр мониторинга бурения скважин. Это подразделение подрядчика по ГТИ, работающее в офисе заказчика в круглосуточном режиме и решающее в оперативном порядке все вопросы, возникающие при использовании ИАС ГЕОТЕК для управления процессом строительства скважин.

При разработке и совершенствовании ИАС ГЕОТЕК основное внимание уделялось автоматизации процессов получения и обработки данных для решения одной

из основных задач информационного обеспечения технологических процессов – оперативности получения значений расчетных параметров и характеристик работ.

Работает ИАС ГЕОТЕК в рамках договоров подряда на **Геолого-технологические исследования скважин** (ГТИ) и на оказание услуги **«Мониторинг бурения скважин»**. Объем выполняемых работ отражен в аналитическом разделе технических заданий (ТЗ) договоров подряда. **На скважине** он включает в себя:

- автоматический самоанализ системы измерения значений технологических параметров бурения в виде телеметрии ее датчиков и устройств;

- получение данных MWD/LWD в формате WITS;

- формирование электронного журнала процесса бурения с данными автоматического подразделения процесса строительства скважин на отдельные операции, определение их длительности и средних значений технологических параметров;

- получение информации о текущих параметрах бурового раствора в формате подрядчика;

- автоматическое формирование на основе электронного журнала отчетной документации оператора ГТИ (суточный и рейсовый отчет, баланс времени, средние технологические параметры по рейсам, график строительства скважины);

- автоматическое получение из центра мониторинга бурения скважин РТК в цифровом виде;

- получение журнала отклонений от РТК, формируемого путем автоматического сравнения реальных данных с параметрами проекта на скважину и вносимыми в него изменениями;

- формирование данных видеонаблюдения в виде изображений, привязанных к временным изменениям технологических параметров бурения;

- получение журнала отклонений от нормативов, формируемого на основе автоматического сравнения длительности операций с их нормативными значениями;

- автоматическое формирование по окончании долбления автоматически сформированной карточки отработки долота;

- автоматическое вычисление гидравлических характеристик промывки скважины и работы долота, эффективных реологических параметров бурового раствора;

- автоматическое определение и протоколирование проявлений/поглощений;

- автоматическое выявление и протоколирование затажек/посадок;

- автоматическое формирование журнала осложнений.

В центре мониторинга бурения объем выполняемых работ предусматривает:

- обеспечение формирования на основе получаемой со скважин информации единого банка данных строительства и видеонаблюдения скважин;

- постоянное отображение на дисплеях всей поступающей со скважин информации (в том числе онлайн-параметров бурения и результатов работы аналитического сервиса на скважине), данных видеонаблюдения и результатов работы аналитического центра мониторинга бурения;

- формирование проекта на скважину в цифровом виде, его хранение и передача на скважину;

- автоматическая сигнализация об отклонениях от РТК;

- автоматический контроль в режиме реального времени информации о креплении пробуренных интервалов, определенных заказчиком;

- автоматическое определение баланса времени выполнения отдельных операций процесса строительства скважин за определенный период по скважине, группе скважин, месторождению, подрядчикам по бурению, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

- автоматическое определение текущих нормативных значений длительности отдельных операций процесса строительства скважин за определенный период по скважине, группе скважин, месторождению, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

- автоматическое определение и протоколирование отклонений времени на выполнение отдельных операций процесса строительства скважин от их нормативного значения за определенный период по видам операций, скважине, группе скважин, месторождению, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

- автоматический расчет параметров, характеризующих степень достигнутой эффективности работы долот за определенный период по скважине, группе скважин, месторождению, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

- автоматический расчет параметров, характеризующих степень оптимизации процесса строительства за определенный период по скважине, группе скважин, месторождению, группе месторождений, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

- графическое и табличное отображение изменения параметров раствора и расхода химреагентов;

- отображение данных о запуске и свойствах пачек бурового раствора (ВУС);

- отображение осложнений в виде карты осложнений по видам осложнений за определенный период по скважине, группе скважин, месторождению, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

- автоматический расчет стоимости строительства скважины и ее сравнение с плановой по скважине, группе скважин, месторождению, подрядчикам по отдельным видам работ, в целом по объектам заказчика;

■ обеспечение бесперебойного обращения удаленных пользователей – специалистов блока бурения заказчика к информации единого банка данных строительства скважин и видеонаблюдения за процессом;

С работой ИАС ГЕОТЕК можно ознакомиться в блоках бурения АО «Оренбургнефть», АО «Самаранефтегаз» и АО «Татнефть» или непосредственно в ООО «ОЙЛПРОМСЕРВИС».

Информационные системы, в которых производятся инженерные расчеты при строительстве скважин, – тема, которая вызывает особый интерес у специалистов в области инжиниринга бурения. Неслучайно начальник отдела бурения института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» Ф.Ф. АХМАДИШИН акцентировал внимание именно на этой теме, обозначив сразу несколько вопросов: «Инструкции и методики по расчетам – кто возьмется обновлять? Импортные и отечественные продукты: в чью пользу сделать выбор?» Выбор действительно есть, и, прямо скажем, отечественные продукты не уступают импортным, а в чем-то и превосходят их. О своем инновационном решении рассказывает начальник отдела инжиниринга ООО «ТМК-Премиум Сервис» А.Р. НУРГАЛЕЕВ:

– На сегодняшний день программные продукты для инженерных расчетов при бурении скважин характеризуются все большей востребованностью. В первую очередь это связано с поиском нестандартных решений при строительстве сложных скважин и добыче трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), а также с решением задач по снижению стоимости строительства скважин путем их оптимизации и унификации. Наиболее популярными программными продуктами являются импортные ПО, такие как Landmark, Drillbench, Maurer Engineering и др., применяемые в общемировой практике и охватывающие широкий спектр решаемых в нефтегазовой отрасли задач. Однако вследствие их высокой стоимости российские нефтегазовые и сервисные компании стремятся выбрать отечественный продукт.

Несмотря на то, что на рынке существует достаточное количество инженерных программных продуктов, применяемых в бурении, нет универсального продукта, который бы позволял решать целый комплекс задач, включая нетривиальные задачи при строительстве скважин:

■ расчет накопленной усталости в технологии бурения обсадной колонной;

■ расчет колонны на прочность в зонах многолетнемерзлых пород;

■ строительство горизонтальных скважин с большими отходами;

■ построение областей допустимых нагрузок для наклонно направленных и горизонтальных скважин при одновременном действии: осевой нагрузки – изгиба –

крутящего момента, осевой нагрузки – изгиба – дифференциальных давлений;

■ применение технологии «плавающего хвостовика (Floated Liner)».

Это обуславливает целесообразность разработки и создания новых расчетных модулей, востребованных в нефтегазовом секторе. Обладая компетенциями в области механики, математического моделирования, а также опытом работы в нефтегазовом секторе, специалисты ПАО «ТМК» задались целью создать собственный программный продукт для инженерных расчетов с учетом последних разработок в области буровой механики и руководящих документов РФ. В результате разработан программный комплекс ExpertProDrilling (см. рисунок), позволяющий проводить расчеты напряженно-деформированного состояния колонны при бурении, СПО и аварийных работах в скважинах произвольного профиля, в том числе наклонно направленного и горизонтального стволов. В программный комплекс интегрированы актуальные каталоги трубной продукции нефтяного сортамента, а также инструменты для построения профиля скважины, конструкции скважины, областей допустимых нагрузок (с учетом профиля скважины). Дополнительно добавлен инструмент для работы с каталогами, в котором реализованы алгоритмы по критериям выбора резьбовых соединений и оптимального типоразмера в зависимости от заданных параметров скважинных условий.

На сегодняшний день завершены работы по сопоставлению результатов расчетов ExpertProDrilling с зарубежными аналогами и полевыми данными, в ходе которых показаны их высокая сходимость и практическая применимость.

Разработка собственных методик расчета на основе нормативных документов API, ISO и ГОСТ позволяет нам применять индивидуальный подход к каждому заказчику, а компетенции в области математического моделирования помогают в создании программного кода для визуализации входных и выходных параметров. За многолетний период работы ПАО «ТМК» выстроило и закрепило тесные и доверительные отношения со многими нефтегазовыми компаниями, специалисты которых принимали участие в разработке данного программного комплекса. Мы готовы принимать участие в сложных, амбициозных проектах, в т.ч. путем создания востребованного в отрасли софта, а также оказывать квалифицированную техническую поддержку пользователям, в связи с чем предлагаем воспользоваться пилотной версией ПО ExpertProDrilling для оценки ее функционала и практической применимости при решении ваших задач.

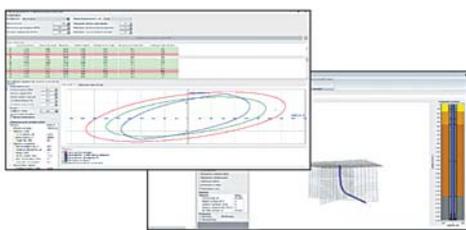
Без применения информационных систем невозможно управление процессом бурения, но существует и другой инструментарий, позволяющий управлять этим процессом. Новые разработки для получения точных

Инженерный софт ТМК

ExpertProDrilling – программный комплекс, разработанный в ТМК и позволяющий выполнить расчет напряженно-деформированного состояния колонны в скважинах произвольного профиля с визуализацией данных и интерпретацией результатов.

Преимущества

- Полностью российская разработка
- Квалифицированная техническая поддержка на всех этапах проектирования и проведения расчетов
- Индивидуальный подход к каждому заказчику
- Возможность дополнять и добавлять другие решатели инженерных задач в ПО по мере необходимости



Функционал

- Инструменты для технических расчетов
 - Комбинированные осевая и крутящие нагрузки при СПО, бурении, проработке, технологических операциях, аварийных ситуациях в любой точке и на заданной глубине
 - Доведение колонны до проектной глубины
 - Действие комбинированных нагрузок: напряжения по фон Мизесу
 - Области допустимых нагрузок для ликвидации и освобождения колонны от прихватов, залипаний и посадок
 - Коэффициенты запаса прочности
 - Усовершенствования для будущих скважин
- Актуальные библиотеки трубной продукции
 - Локализованный каталог ТМК
 - Алгоритм выбора типоразмера
 - Алгоритм выбора соединения
 - Анализ выбранного типоразмера (построение областей допустимых нагрузок)
- Работа с проектами
 - Выбор и сравнение нескольких компоновок в проекте оптимизации
 - Выбор и сравнение нескольких эксплуатационных режимов в проекте
 - Сравнение и интерпретация результатов. Обоснованность выбора колонны
 - Анализ неудачного проектирования
 - Генерация отчета

Программный продукт ExpertProDrilling

оперативных данных при помощи инновационного высокотехнологичного оборудования, применяемого в телеметрических системах каротажа, представил Н.К. КАЮРОВ, главный геолог ООО НППГА «Луч»:

– Оперативное и качественное **управление наклонно направленным бурением**, в осуществлении которого принимает участие ООО НППГА «Луч», требует использования инновационного и высокотехнологичного оборудования каротажа в процессе бурения, адаптированного под геологические цели и технологические особенности бурения скважин. Это включает в себя улучшение качества данных, увеличение информационного потока и интерпретационной базы как геофизических, так и технологических параметров. В таких условиях необходимо использование гибкой системы с возможностью расширения или оптимизации оборудования, применяемого в конкретных геологических или технологических условиях. Одной из таких систем является **система каротажа в процессе бурения ЛУЧ-М**, состоящая из модулей каротажа и измерений, которые можно компоновать в зависимости от поставленных задач. Для оперативного сопровождения зарезки боковых стволов высокую эффективность показали наддолотные модули с измерением геофизических (гамма-картаж и сопротивление), инклинометрических (зенитный угол) и технологических (моменты и нагрузки

на долоте) данных, минимально необходимых для успешной проводки скважин в непосредственной близости к долоту. Для оперативного управления бурением горизонтальных скважин предназначен также комплекс ВИКПБ с измерением ЭЦП, азимутального гамма-каротажа и удельного электрического сопротивления. Геонавигация осуществляется благодаря расширенному спектру азимутальных исследований, в том числе азимутальных измерений плотности и сопротивления (электрический сканер).

Развитие систем каротажа в процессе бурения невозможно без **систем телеметрии** высокой производительности, передающих весь спектр измеряемых данных, особенно при бурении скважин с применением азимутальных методов и картографов границ. На сегодняшний день компания «Луч» проводит исследования, имеющие целью ускорение передачи данных по гидравлическому каналу связи до физических 6 бит/сек с использованием пульсаторов высокой скорости и современной наземной аппаратуры регистрации. Помимо этого развиваются и другие каналы связи, в том числе электромагнитный с увеличением глубинности исследований до 3000 м по глубине ствола, а также осуществляется совместное применение гидравлического и электромагнитного каналов связи для обеспечения повышенной скорости передачи данных.

Автоматизированные системы, используемые для управления процессом бурения, с успехом применяются не только для измерения данных при зарезке боковых стволов, но и для решения проблем предупреждения осложнений. Главный геолог ООО НППГА «Луч» Н.К. КАЮРОВ рассказал также о технологических решениях для прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций на буровых:

– Основой для автоматизированных систем **предотвращения осложнений** является качественный и современный комплекс **геолого-технологического контроля**, который основан не только на классическом наборе датчиков и измерителей, но и на **расширенном наборе оборудования**, такого как шламовые весы и системы контроля притока поглощения (высокоточная расходометрия). Такие системы позволяют в полной мере объединить результаты моделирования с фактическими показаниями на буровой, в автоматическом режиме определять моменты, предшествующие осложнениям или авариям, и проводить опережающие действия по их недопущению. Это дополняет ставший уже классическим сервис по геомеханическому сопровождению и моделированию гидравлики в процессе бурения. Совместно с симулятором нестационарного течения шламовые весы позволяют корректировать программу промывки, что особенно актуально при бурении горизонтальных скважин.

Новым витком в развитии геолого-технологического контроля является использование **машинного обучения для предотвращения аварийных ситуаций**. Благодаря накоплению огромной базы фактических данных стало возможным в полной мере использовать современные алгоритмы. Наиболее успешно себя показали оптимизационные алгоритмы, направленные на дополнение и ускорение методов классического моделирования. С успехом применяются также методы нечеткой логики, позволяющие в процессе сопровождения бурения находить тренды негативного развития событий и опережающим образом реагировать на изменение ситуации. Но при использовании машинного обучения, как показала практика, требуется расширенный спектр исследований, гарантирующий высокое качество измерений и метрологического обеспечения работ. Для проактивного обнаружения осложнений также необходимы высокочастотные измерения параметров. В практическом применении машинное обучение в комплексе с геолого-технологическим контролем сделало возможным выявление осложнений прохождения инструмента на ранних стадиях их возникновения, проблем с очисткой ствола, близкорасположенных зон аномально высоких пластовых давлений.

Могу также добавить, что ООО НППГА «Луч» располагает необходимым арсеналом решений для прогнозирования и предупреждения полных и **катастрофических поглощений** бурового раствора с использованием автоматизированных систем. Бурение в условиях с узким «коридором буримости» горных пород всегда несет опас-

ность возникновения поглощений разного характера. Это свойственно как для бурения в сложных геологических условиях (карбонатно-галогенные разрезы, АНПД, глубокие скважины), так и при бурении боковых стволов с пониженным при разработке давлением. Для обеспечения контроля поглощений на раннем этапе, контроля баланса бурового раствора и его динамики нами внедрены расходомеры высокой точности на входе и выходе из скважины. Совместно с точным измерением плотности бурового раствора возможно управление циркуляционной плотностью бурового раствора и предотвращение поглощений и автогидро разрыва.

Значимые работы по предотвращению аварийных ситуаций на буровой ведутся в компании «ТаграС-РемСервис». В разработках ее специалистов применяются инструменты, аналогов которым нет в России. Доклад с рассказом об этих инновациях, представленный главным технологом компании «ТаграС-РемСервис» Д.Ю. ЗУБКОВЫМ, высоко оценили участники десятой научно-практической конференции «Инжиниринг строительства и реконструкции скважин», признав его лучшим в номинации «Цифровая платформа»:

– С 2019 года компания «ТаграС-РемСервис» накопила ценный опыт по использованию динамического цифрового двойника, а именно – **цифровой платформы ЭКО для контроля бурения**. За счет этого нам удается частично **предотвращать возникновение сложных ситуаций на ранней стадии**. С помощью платформы ЭКО нам удалось в едином цифровом пространстве спроектировать, сопровождать и автоматизировать процесс строительства скважин, объединив при этом всех его участников.

Все параметры процесса бурения передаются на веб-сайт ЕСО (здесь находится Центр управления бурением, заказчик, сервисные подрядчики), на который можно зайти с любого браузера и с любого девайса (компьютер, планшет, телефон).

Уникальным подспорьем для нас стал динамический **цифровой двойник пробуриваемой скважины (аналогов нет в России)**, помогающий предотвратить аварии, браки в работе. Каким образом? Эта модель в режиме реального времени с учетом данных датчиков, установленных на буровой, и ряда исходных физико-математических данных производит в динамике расчет параметров бурения на текущую глубину. Мы устанавливаем технологические пределы на все режимы бурения, такие как нагрузка, расход промывочной жидкости, давление, обороты ротора и прочее. Это позволяет бурильщику и всем участникам процесса оперативно оценивать ситуацию, видеть первичные отклонения, менять технологические режимы и незамедлительно предотвращать осложнения, к примеру, связанные с незапланированными притоками флюида, осыпями, обвалами и поглощениями промывочной жидкости. То есть мы действуем на упреждение аварий, осложнений на ранней стадии!

Функционал динамического цифрового двойника позволяет нам также оперативно и эффективно оценивать риски внутрискважинных осложнений и принимать меры для их предотвращения. А благодаря тому, что цифровой двойник ежесекундно рассчитывает усталостные нагрузки по всей длине скважины, мы получаем оперативную информацию о возможных рисках выхода из строя бурильного инструмента. За счет контроля процесса бурения с использованием динамического цифрового двойника нам удалось **сократить аварии, браки, осложнения на 25 %**. Исключили количество скрытых НПВ до 90 % при автоматическом определении операций. Начали управлять «серыми зонами» по разработанным КПЭ при бурении, промывках, наращиваниях, СПО (оптимизация продолжительности технических операций достигла 30 %).

Проблему совершенствования программного обеспечения для борьбы с осложнениями при бурении обозначили в числе приоритетных сотрудники ООО «РН-БашНИПнефть». Опыт разработки методики исследования различных видов кольматантов, методики оценки воздействия подобранных кольматантов, результаты апробации новых технологий ликвидации поглощений, без сомнения, интересуют специалистов и других компаний. Передовым опытом в решении проблем повышения эффективности технологий предотвращения и ликвидации осложнений поделился главный эксперт отдела технологий и инжиниринга строительства скважин ООО «РН-ЦЭПиТР» Д.А. УДАЛЬЦОВ:

– Одно из самых распространенных осложнений при бурении – **поглощение промывочной жидкости**. На поглощение и его ликвидацию в компании ПАО «НК «Роснефть» приходится не менее 80 % всего непроизводительного времени, относящегося к геологическим осложнениям. Специалисты ООО «РН-Центр экспертной поддержки и технического развития» располагают внушительным арсеналом технологических решений, направленных на увеличение эффективности работ по ликвидации поглощений. В большинстве проектов, где существует высокий риск поглощений, используются пять технологий:

- бурение с поглощением;
- использование кольматационных составов;
- применение специальных технологий (сшитые, быстротвердеющие, объемные составы, специальная техника и др.);
- использование тампонажных составов;
- применение оборудования для локального крепления скважин (ОЛКС).

Среди перечисленных технологий 60–80 % из числа операций занимает применение кольматационных составов (КС). По этой причине оптимизация технологии КС является первоочередной задачей в области ликвидации поглощений.

Стратегия ООО «РН-ЦЭПиТР» в области ликвидации поглощений **базируется на комплексном подходе** к решению данной проблемы. Он включает в себя системную работу по увеличению эффективности КС; разработку и внедрение специализированных информационных систем; разработку и внедрение новых требований к качеству исходных материалов и составов на их основе; лабораторное тестирование КС на закупоривающую способность; внедрение специализированного сервиса ликвидации поглощений для ряда проектов с целью применения специальных технологий; разработку типовых алгоритмов выбора эффективной технологии ликвидации поглощений для разных условий; повышение квалификации сотрудников компании и персонала подрядных организаций в области ликвидации поглощений.

В соответствии с указанными стратегическими направлениями определены ключевые цели ООО «РН-ЦЭПиТР» в области технологии ликвидации поглощений: сбор и анализ полевой информации, проведение лабораторного тестирования, контроль качества материалов и работ, повышение квалификации персонала, внедрение новых информационных систем, о которых скажу чуть подробнее. ПАО «НК «Роснефть» совместно с корпоративными НИПИ запланирована разработка нескольких информационных систем, внедрение которых позволит увеличить эффективность работ в области ликвидации поглощений:

- система сбора данных и анализа результатов применения кольматационных, специальных и тампонажных составов для ликвидации поглощений;
- прогнозирование вероятности поглощений и затрат на их ликвидацию;
- инженерные расчеты в области ликвидации поглощений.

Путем достижения перечисленных целей создается **основа для сокращения затрат на ликвидацию поглощений**. Только комплексный подход позволяет соединить между собой практику и теорию ликвидации поглощений и добиться прогресса в этой области.

О применении комплексного подхода при выборе методов и средств по предотвращению и ликвидации поглощений рассказывает и Б.А. МАРТЫНОВ, к.т.н., заместитель генерального директора ООО «НПК «Спецбурматериалы» – компании, которая также эффективно работает над решением проблемы ликвидации поглощений:

– В настоящее время проблемы, связанные с ликвидацией поглощений промывочных жидкостей при бурении и ремонте скважин, остаются очень актуальными. Несмотря на появление множества материалов, реагентов и технических устройств, а также вспомогательных программных комплексов выбор технологии, как правило, остается за инженером.

Рассматривая задачу **подбора кольматантов**, мы, на мой взгляд, несколько сужаем проблематику.

Методы оценки эффективности кольматантов уже давно существуют: это программные решения иностранных сервисных компаний, такие как OptiBridgetm, Bridgewisettm Calculator, а также отечественных разработчиков MarCS Engineer® и других. Но данные программы не позволяют осуществлять выбор эффективной технологии ликвидации осложнения, особенно в условиях высокоинтенсивных и катастрофических поглощений.

На самом деле проблема стоит намного шире – **эффективность технологии ликвидации осложнения** зависит от многих факторов.

В первую очередь это **корректность исходных данных** для оценки сложившейся ситуации. Зачастую при возникновении осложнения дополнительные геофизические исследования не проводятся из-за экономии средств и времени, что существенно снижает информативность условий осложнения и приводит к ошибочным решениям при выборе средств и методов ликвидации поглощений, особенно в сложных разрезах, с минимальной базой наработки по данному месторождению. При наличии положительной статистики по ликвидации осложнений при бурении в аналогичных интервалах одного разреза можно исключить проведение дополнительных исследований и приступить к выполнению работ исходя из полученного опыта. В других случаях это недопустимо.

Следующим важным этапом подбора эффективной технологии является **выбор средств и методов борьбы с осложнением**. И здесь у нас не так много возможностей и программных средств для корректного моделирования и расчета дизайна технологии ликвидации поглощения. На этом этапе очень важно определить оптимальное количество материалов и реагентов для проведения работ, а также учесть технологические свойства составов при затворении, закачке и размещении в интервале поглощающего пласта. В лучшем случае на этом этапе используются специализированные модули или программы типа LCPRO (Pegasus Vertex). Но чаще применяются собственные наработки гидравлических расчетов в Excel для определения рекомендуемых объемов и режимов закачки, а также продавки тампонажных материалов и составов. Разработка отечественного программного продукта для выбора эффективной технологии ликвидации осложнения – это одна из важнейших задач, стоящая перед специалистами нашей отрасли. Данная программа обязательно должна содержать модуль подбора кольматантов и наполнителей, а также модуль обработки и анализа статистики по проводимым операциям и оценки их эффективности.

Не менее важным этапом является проведение работ по ликвидации осложнения с использованием запроктированных материалов, а также стандартных средств и оборудования, специальных комплексов машин и технических средств. На наш взгляд, проведе-

нием и сопровождением данного вида работ должны заниматься отдельные сервисные подразделения и компании, обладающие требуемыми компетенциями и опытом, так как во многом от слаженности и согласованности действий исполнителей зависит успешность реализуемой технологии.

В настоящее время оказание подобных услуг по инженерному сопровождению и поставке материалов для ликвидации осложнений при бурении и ремонте скважин осуществляется, например, на базе ООО «ПолиЭко» (г. Владимир). Специалисты данного подразделения готовы провести оценку условий и состояния осложнения на момент обращения заказчика с использованием специального программного обеспечения, разработать дизайн технологии ликвидации поглощения, а также оперативно выехать на объект для инженерного сопровождения работ по приготовлению и закачке специальных составов в зону осложнения. По результатам проведенных работ должен быть подготовлен краткий отчет с оценкой успешности выполненной операции и обязательным указанием возникших отклонений.

В целом анализ работ по ликвидации осложнений должен выполняться систематически, что позволит создать базу как положительных, так и отрицательных практик, которая обеспечит повышение эффективности принятия решений и позволит сократить расходы времени и средств на ликвидацию поглощений промысловых жидкостей при строительстве и ремонте скважин.

Успешному решению проблем, связанных с ликвидацией осложнений при бурении, также способствуют эффективные разработки, предложенные главным технологом ООО «Современные сервисные решения» (ГК «Миррико») Т.А. ФИНКОМ:

– Для правильного подбора эффективной технологии ликвидации поглощений наша команда изучает **реестр осложнений на скважине**: проводит анализ поглощающего пласта, оценивает механическую скорость до начала и в интервале поглощения, приемистость скважины при различной производительности буровых насосов, интенсивность поглощения при вскрытии пласта (максимальная и установившаяся), оценивает ранее применяемые на месторождении способы ликвидации поглощений и их эффективность (цементные мосты, различные наполнители и т.д.). Анализируя данную информацию, наши специалисты делают выводы о наиболее эффективных технологиях. Для катастрофических поглощений без выхода циркуляции это, как правило, технологии Quick-Stone или Cave-Block.

Бесспорно, лучше предупреждать осложнение, чем ликвидировать его. Но что делать, если поглощающий пласт уже вскрыт? «Основная проблема при вскрытии поглощающего пласта – отсутствие четкой схемы принятия решений», – считает руководитель

по развитию бизнеса и маркетингу ООО НПП «БурениеСпецСервис» П.А. ГРОШЕВА:

– Когда поглощающий пласт уже вскрыт, самое плохое, что можно сделать, – начать перебирать все методы от самого доступного до наиболее затратного. **Уходят время и деньги, а результата нет.** Необходимо, чтобы схема принятия решений для каждого конкретного сценария была утверждена всеми сторонами до забуривания скважины.

Имея обширный опыт работы с различными технологиями по ликвидации поглощений, мы используем отработанный **алгоритм выбора комплекса мероприятий по работе с поглощающим пластом** в зависимости от категории вскрытой зоны поглощения и проходимого интервала, содержащего эту зону.

Можно выделить три основных интервала бурения: бурение под кондуктор ($\varnothing_{\text{ствола}} = 393,7$ мм), бурение под техническую колонну ($\varnothing_{\text{ствола}} = 295,3$ мм) и бурение под эксплуатационную колонну ($\varnothing_{\text{ствола}} = 215,9$ мм). Каждый интервал имеет свои геологические условия и требует выполнения конкретных задач. При бурении интервалов под эксплуатационную колонну необходимо использовать комплекс мероприятий по работе с поглощением, который обеспечит качественную изоляцию поглощающих пластов и цементирование скважины, а также сохранит коллекторские свойства продуктивных пластов. Бурение под кондукторы и технические колонны не имеет таких жестких задач ввиду отсутствия продуктивных пластов. При выборе комплекса мероприятий по работе с поглощениями в этих интервалах мы руководствуемся целями по минимизации затрат и сроков бурения для заказчика.

Основываясь на исследованиях ВНИИБТ, **зоны поглощения** также можно разделить на три основные категории. Каждой категории соответствует совокупность внешних признаков и результатов гидродинамических исследований. Так, например, для I категории поглощений характерна неполная, неустойчивая циркуляция с интенсивностью поглощения до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$. Ключевым параметром в определении категории поглощения являются показания динамического и статического уровней. При поглощениях I категории показания динамического уровня в среднем превышают статический более чем на 50 м. При поглощениях II категории циркуляция бурового раствора полностью отсутствует, возможны ее кратковременные восстановления с частичным выходом бурового раствора. II категория поглощений сопровождается резким увеличением механической скорости бурения, увеличением диаметра ствола и наличием каверн. Интенсивность поглощения – от 30 до $120 \text{ м}^3/\text{ч}$. Динамический уровень превышает статический на 10–50 м. III категория характеризуется внезапным полным прекращением циркуляции бурового раствора, возможны затяжки и прихваты бурового инструмента. Также наблюдаются увеличение диаметра ствола скважины, наличие каверн и провалов бурового инструмента на 0,5–7 м. Интенсивность погло-

щения – более $120 \text{ м}^3/\text{ч}$. Динамический уровень превышает статический не более чем на 10 м.

В зависимости от категории вскрытой зоны поглощения и проходимого интервала мы выбираем соответствующий комплекс мероприятий.

Так, при работе с I категорией поглощений при бурении под кондуктор и техническую колонну наибольшую эффективность показало **применение комбинаций различных наполнителей к буровому раствору**. Для прохождения зон поглощений II и III категорий в этих же интервалах мы активно используем технологию **азрации бурового раствора** с применением установки газожидкостного смешивания (ГЖС). Данный метод обеспечивает процесс бурения скважины без остановок на набор воды, что значительно сокращает производственные и временные затраты, связанные с ликвидацией поглощения. Применение установки ГЖС позволяет азрировать промывочную жидкость, понижая ее плотность до $0,3 \text{ г/см}^3$, обеспечивает стабильный выход циркуляции с показателем 50–100 % при поглощении с коэффициентом аномальности поглощающих пластов 0,3–1,0 и очищает ствол скважины от выбуренной и обвальная породы. Данная технология подразумевает прохождение поглощающего пласта без проведения изоляционных работ. Заливка колонны осуществляется в два этапа – прямая и обратная.

Наличие продуктивных пластов при бурении под эксплуатационную колонну в ряде случаев исключает возможность применения технологии азрации бурового раствора. При работе с поглощениями I категории в данном интервале составляется **полный комплекс мероприятий** от прогнозирования и применения предупредительных мер, направленных на снижение риска поглощения, до использования кольматирующих, экранирующих и укрепляющих наполнителей для укрепления стенок скважины и изоляции зон поглощения путем прокачки пачек. Поглощения II и III категории в данном интервале требуют рассмотрения комплекса мероприятий по ликвидации последствий поглощений, направленного на восстановление циркуляции и контроля над скважиной. Выбор метода зависит от свойств геологической формации, взаимного расположения поглощающих и продуктивных пластов в интервале и давления в них. Как правило, используется комбинация следующих методов: бурение на растворе с комбинацией наполнителей; бурение зон поглощения на гидрозатворе с последующим их перекрытием ОЛКС; бурение с управляемым давлением; спуск обсадной колонны во время бурения (хвостовики).

Одним из основных критериев оценки эффективности мероприятий по ликвидации поглощений можно считать их способность максимально экономить

временные и финансовые ресурсы при бурении. Вопросы, касающиеся способов экономии ресурсов и сокращения затрат на строительство скважин, по мнению заместителя генерального директора по бурению ООО «РИТЭК» А.П. ШТЫФЕЛЯ, также входят в число приоритетных. Особый интерес в этой области представляют решения с подтвержденным экономическим эффектом, к которым смело можно причислить инструмент анализа эффективности проводимых работ с функцией контроля непродуктивного использования рабочего времени, представленный специалистами ООО «СамараНИПИнефть» – начальником управления эффективностью реализации проектов по строительству скважин К.Р. ДАВЛЕТОВЫМ и главным специалистом отдела анализа эффективности А.А. ПАТОРОВЫМ:

– В ПАО «НК «Роснефть» реализован проект по контролю эффективности проводимых работ в модуле «Норматив» на базе ИС «Бурение» с возможностью охвата дочерних предприятий НК «Роснефть. Данный инструмент направлен на выявление потенциала эффективности проводимых работ имеющимися ресурсами без привлечения дорогостоящего оборудования на основе анализа статистических данных о ходе строительства скважин (станции ГТИ) за счет оптимизации работы буровых бригад и повышения эффективности использования бурового оборудования.

Эффективное интегрированное планирование, по мнению заместителя главного инженера проекта ООО «СамараНИПИнефть» М.В. ЛЕОНТЬЕВА, позволяет добиться реального эффекта в области снижения себестоимости строительства нефтяных и газовых скважин:

– Прогнозирование стоимости строительства скважин играет важную роль в формировании капитальных затрат на реализацию инвестиционных проектов компаний-недропользователей. В условиях высокой волатильности цен на нефть повышение точности прогнозирования капитальных затрат является важнейшим требованием к эффективности реализации проектов. Специализированный институт по технологии бурения в области строительства и реконструкции скважин занимается **оценкой стоимости строительства скважин** перспективных активов ПАО «НК «Роснефть». Имеющиеся договорные условия, успешные оптимизационные технологические решения на стадии планирования и реализации, а также взаимодействие с поставщиками услуг позволяют с достаточной точностью произвести оценку стоимости строительства скважин.

Ощутимых результатов по сокращению затрат можно добиться путем оптимизации выстраивания логистических цепочек, в этом – суть еще одного предложения технологического департамента ООО «Современные

сервисные решения» (ГК «Миррико»), представленного Т.А. ФИНКОМ:

– Данная задача реализована в нашей компании посредством информационной системы MPS (Mirrico Planning Systems) и онлайн-платформы Chemexsol (Chemexsol.ru). Схема работы MPS разработана для формирования планируемой поставки. В программный комплекс вводятся данные с ковра бурения (ориентировочные даты работ, ориентировочный объем и тип продукта) и на основании представленной информации система анализирует остатки по складам и формирует заявку на поставку необходимого объема сырья для производства требуемого количества продукта. Chemexsol – платформа для сделок в области химических решений с возможностью в режиме онлайн подобрать товар и разместить заказ на его производство и поставку.

Таким образом, алгоритм **минимизирует логистические и производственные затраты** и формирует лучшие предложения на продукты по цене и сроку поставки.

Весьма ценный опыт сокращения сроков строительства скважин и оптимизации затрат предлагает М.С. ЖАРКОВ, генеральный директор российского филиала ведущей международной буровой компании на рынке наземного и морского бурения – ООО «КСА ДОЙТАГ Раша»:

– На сегодняшний день КСА Дойтаг, как один из крупнейших мировых буровых подрядчиков на российском рынке, ежегодно бурит более 700 тысяч метров эксплуатационных и разведочных скважин, оказывает комплекс нефтесервисных услуг, которые включают в себя: услуги бурения по суточной ставке собственными установками и установками заказчика, комплексные услуги по бурению, включая предоставление всех сервисных услуг (под ключ), а также сервис по вышкомонтажным работам, по забивке направлений, спуску обсадных колонн, предоставляет в аренду бурильный инструмент и оборудование для проведения ловильных работ.

Для нашей компании **сокращение сроков строительства скважин и оптимизация затрат** – ключевые вопросы, так как компании – операторы добычи углеводородов обращают на них особенно пристальное внимание. Существенно улучшить показатели строительства скважин позволяет проект по забивке направлений, который уже много лет развивается в компании за счет новых подходов к организации работ и вовлечения всех участников процесса в систему непрерывных улучшений.

Впервые применение технологии забивки направлений было зарегистрировано в СССР в середине 70-х годов XX века на месторождениях южной части Уральского региона. Это было обусловлено тем, что геологический разрез той части месторождений был представлен более мягкими породами, а также отсутствовал слой многолетнемерзлых пород. Однако из-за отсутствия на тот

момент более совершенного оборудования этот метод не получил дальнейшего развития. Мы стали одной из первых компаний, которая вернула данную технологию на рынок буровых услуг, усовершенствовав подход и технологию работ. В январе 2003 года до начала ведения буровых работ на кусте № 50 Спорышевского месторождения (ЯНАО) был проведен первый комплекс работ по забивке направлений для ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», после чего к использованию этого метода обратились и другие заказчики, такие как ООО «РН-Уватнефтегаз», Салым Петролеум Девелопмент Н.В., ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» и другие. С 2007 по 2020 год компанией ООО «КСА ДОЙТАГ Раша» было забито порядка 3 396 направлений, или 118 068 м.

В чем суть технологии? **Забивка направлений** (пайлинг) предусматривает погружение трубы диаметром от 530 до 630 мм (по запросу заказчика возможны и меньшие диаметры) в грунт специальным молотом. Глубина погружения зависит от геологических условий конкретной местности и глубины залегания твердых грунтов. Забивка направления прекращается, когда количество ударов сваебойного молота достигает 300 ударов на 1 метр погружения трубы в грунт, что означает достижение основанием трубы плотных пород. Работы выполняются полностью автономно на кустах до проведения вышкомонтажных работ. Буровая установка монтируется уже на забитые направления.

Таким образом, мы помогаем компании-оператору сократить около суток на бурение скважины и отказаться от следующих этапов: сборка КНБК, бурение направления, спуск обсадной колонны, цементирование, ожидание затвердевания цемента.

Данная технология обладает рядом преимуществ в сравнении с бурением направления с буровой установки:

- полностью исключены осложнения при бурении (осыпи и обвалы стенок, размыв устья, кавернообразование и т.д.);

- при забивке направления не требуется его цементирование;

- заказчик не несет расходов на буровую установку и буровую бригаду;

- технологическая операция по спуску и цементажу направления исключается из цикла строительства скважины, что ведет к сокращению сроков ее строительства и запуску в эксплуатацию на одни сутки ранее. На куст, состоящий, например, из 20 скважин, ускорение составит уже 20 суток;

- по окончании спуска и цементирования кондуктора разрешается разгружать его вес на направление и, не дожидаясь окончания сроков затвердевания цемента, приступать к монтажу блока ПВО, так как вероятность просадки колонны минимальна;

- экономия средств (из расчета забивки на кустовых площадках) составляет 60–70% по сравнению с бурением, спуском колонны и цементированием направления;

- забитые направления на кусте не дают возможности буровому подрядчику отклониться от оси движения БУ, что, в свою очередь, исключает риск смещения устьев будущих скважин от проекта.

Таким образом, мы разделяем стремление наших заказчиков **сократить продолжительность цикла бурения и стоимость скважин**, более быстро ввести их в эксплуатацию и, в конечном итоге, получить более высокую отдачу на каждый вложенный рубль.

«Тема оптимизации затрат на строительство скважины многогранна, – резюмирует главный технолог ООО «Современные сервисные решения» (ГК «Миррико») Т.А. ФИНК, – и достигаются эти цели различными путями»:

– Например, оптимизированный дизайн скважины и уменьшение количества колонн обеспечивают хорошее снижение металлоемкости и скорости сдачи объекта. Обычно применяют дорогостоящие растворы на углеводородной основе (несмотря на дороговизну, их использование экономически оправдано). Однако в ХМАО скважины двухколонной конструкции мы бурим на растворе на водной основе, заменив РУО без потери качества строительства (этот опыт подтвержден не одним десятком успешно пробуренных скважин). Ингибирующих свойств разработанного раствора хватает, чтобы пробурить скважину с номинальным диаметром ствола и обеспечить его устойчивость в различных аварийных ситуациях – например, при падении плотности раствора из-за газовой пачки.

Есть ряд сложностей, которых мы избегаем различными путями. Например, бурение неустойчивых аргиллитов при использовании типовых ингибирующих растворов сопровождается сложностями с обеспечением устойчивости ствола скважины. Решение данного вопроса за счет увеличения удельного веса приводит к дополнительным поглощениям, дифференциальным прихватам.

Мы успешно справляемся с такими проблемами благодаря **использованию высокоингибирующих систем** (где нет необходимости завывать плотность бурового раствора) либо эффективных смазывающих материалов, широкой линейки средств по борьбе с поглощениями. Затрагивая тему смазывающих материалов для сложных условий со значительными нагрузками, следует отметить, что типовые смазки не могут обеспечить хорошее смазывающее покрытие на металле; в таких случаях мы применяем Биолуб Green. Дополнительный плюс Биолуб Green – отсутствие в составе фракции парафинов С1-С10, что может быть полезно в ряде геологических исследований. Лабораторные исследования и практика показывают снижение коэффициента трения в несколько раз при вводе 1% Биолуб Green в сравнении с 5–6% базовых смазок.

В некоторых локациях особенности разреза обуславливают интенсивные поглощения без выхода циркуляции, на борьбу с которыми уходит много

времени (вплоть до нескольких недель), даже если применять практически бесплатные наполнители типа опила. Ряд наших технологий (Cave-Block, Quick-Stone) положительно зарекомендовал себя при быстрой **ликвидации катастрофических поглощений**. Технология Quick-Stone успешно конкурирует с цементным мостом за счет высокой проникающей способности, возможности запрограммировать время начала перехода системы из жидкого состояния (по текучести, как вода) в не прокачиваемое за несколько минут. При этом полученный мост можно разбуривать уже через несколько часов. С учетом возможности установки состава через PBL (или напрямую через телесистему) это дает возможность экономить время для глубоких скважин – такой опыт у ГК «Миррико» есть как на российских, так и на зарубежных скважинах. Данный раствор, в отличие от цементов, является кислоторастворимым и применяется в продуктивных пластах.

Наш ассортимент позволяет адаптировать промышленные жидкости практически к любым специфическим требованиям заказчика: высокоингибирующие растворы – заменители РУО, растворы на углеводородной основе и их рециклинг, растворы на водной основе с плотностью менее 1,00 г/см³ для бурения пластов с аномально низкими пластовыми давлениями, высокоплотные растворы с низким содержанием твердой фазы, растворы с устойчивостью к высоким температурам и содержанию сероводорода, брейкерные системы, системы первичного вскрытия пласта.

В нашей компании есть широкий набор для **моделирования различных условий**, в которых может оказаться буровой раствор: это и термостатирование, тестирование реологических и фильтрационных параметров в различных термобарических условиях, разные методики оценки ингибирующей способности буровых растворов, моделирование их загрязнения выбуренной породой, цементом, ангидритом, пластовой водой, нефтью, моделирование углекислотной и сероводородной агрессии.

В контексте обсуждения проблем, возникающих при совершенствовании составов буровых растворов, безусловного внимания заслуживает инновационное решение, предложенное Е.Ф. ФИЛИППОВЫМ, к.т.н., заместителем директора по научной работе (ООО «НПО «Химбурнефть»):

– Наше инновационное решение состоит в разработке критериев управления физико-химической и геомеханической устойчивостью глинистых отложений большой мощности и применения специальных типов буровых растворов, ингибирующих и консолидирующих неустойчивые породы.

Критерии, сформулированные на основе фундаментальных исследований и РД, выполненных институтом ВНИИКРнефть, дополняют **методы контроля параме-**

тров буровых растворов и апробированы на различных месторождениях РФ.

В настоящее время традиционно применяемые комплексы контролируемых параметров и свойств буровых растворов являются неполными, а результаты их измерений содержат существенные погрешности. Это служит одной из **причин непроизводительных затрат времени и материальных потерь** при бурении скважин.

Для безаварийного вскрытия высококоллоидальных глинистых разрезов необходимо использовать ингибирующие буровые растворы, обеспечивающие минимум гидратационного разупрочнения глинистых минералов. В качестве критерия ингибирующей активности буровых растворов широкое промышленное подтверждение получил **показатель увлажняющей способности** (По, см/час) по РД 39-00147001-773-2004. В этой связи предлагается поставка сервисным компаниям специального оборудования для изготовления эталонных образцов и полное методическое обеспечение практического использования показателя увлажняющей способности для регламентирования компонентного состава, показателей свойств и технологии применения высокоингибирующих буровых растворов.

В интервалах, сложенных тектонически нарушенными, трещиноватыми или слабосвязанными фрагментами пород, практически сразу отмечаются признаки неустойчивости стенок скважины. Применение в таких случаях ингибирующих, антидиспергирующих, гидрофобизирующих буровых растворов, а также простое повышение плотности только усугубляют осложнения.

Предотвращение осложнений в таких зонах обеспечивается использованием принципиально новых, консолидирующих систем промывки скважины. Исходя из геомеханических особенностей вскрываемых пород в буровом растворе формируют специальные консолидирующие (крепящие) свойства, оцениваемые по показателю предельной прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$, г/см²). Предлагается методическое обеспечение **оценки критерия предельной прочности на сжатие** ($\sigma_{сж}$, г/см²) для регламентирования компонентного состава, показателей свойств и технологии применения консолидирующих систем буровых растворов.

Существенной характеристикой бурового раствора, отвечающего современным требованиям бурения, является степень его экологической безопасности. Такой характеристикой обладают технологические жидкости, о которых рассказал директор ООО «НПО «Химбурнефть», к.х.н. Ю.Н. МОЙСА. В настоящее время компания проводит большую работу по совершенствованию термостойких систем буровых растворов для глубокого бурения. Примечательно, что в исследованиях по заявленной теме принимают активное участие представители высшей школы – Куб ГТУ:

– ООО «НПО «Химбурнефть» совместно с кафедрой «Нефтегазовое дело» КубГТУ проводят работу

по совершенствованию термостойких систем буровых растворов для глубокого бурения на основе применения наномодифицированных полимергуматных химреагентов стабилизирующего, разжижающего и кольматационно-ингибирующего действия на отечественном сырье для бурения и ремонтно-изоляционных работ на нефтяных, геологоразведочных и газовых скважинах Северо-Кавказского региона НК «Роснефть».

С целью создания серии экологически безопасных систем буровых растворов с термостойкостью до плюс 200 °С для бурения и ремонта нефтегазовых и разведочных скважин разработаны и применяются термостойкие химреагенты 5-го поколения:

- понизитель вязкости (разжижитель – низкотоксичный регулятор вязкости) буровых растворов марки «ЭКО-ВИС» («ECO-VIS»);

- высокотермосолестойкий понизитель фильтрации (водоотдачи) – регулятор потери фильтрата бурового раствора марки «ЭКО-ФИЛ» («ECO-FIL»);

- полимерный ингибитор сланцев, глин и глинистых минералов марки «ЭКО-СТАБ» («ECO-STAB»).

Термостойкость бурового раствора повышается за счет устойчивости полициклических молекулярных структур ядер наномодифицированных гуминовых соединений. Использование **не загрязняющих продуктивный пласт экологически безопасных буровых растворов** обеспечивает снижение, а в некоторых случаях – даже полное исключение техногенной нагрузки на гидросферу и литосферу района бурения и эксплуатации скважин.

Термостойкие буровые растворы, о которых идет речь, могут быть применены при строительстве скважин на газ и нефть в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся минерализацией, низкими и высокими температурами, аномально высокими и низкими пластовыми давлениями, что требует утяжеления и облегчения промывочных растворов при проведении ремонтно-восстановительных работ в зоне продуктивного пласта месторождений нефти и газа в Северо-Кавказском регионе, Волгоградской области, Астрахани, Оренбуржье, Урало-Поволжье, Западной и Восточной Сибири, на Сахалине, Крайнем Севере и при бурении на шельфе России, а также в ЕАЭС – странах Таможенного союза: Белоруссии, Казахстана, Армении, Киргизии, республиках Азербайджан, Таджикистан и Туркмения.

Универсальность представленной работы базируется на правильном и грамотном сочетании (оптимизации) предложенных трех типов термостойких химреагентов для решения задачи обеспечения проводки скважины термостойкой системой бурового раствора в конкретных горно-геологических условиях.

В ходе исследований установлено, что комплексное использование при строительстве нефтегазовых скважин термостойких химреагентов «ЭКО-ВИС», «ЭКО-ФИЛ» и «ЭКО-СТАБ» в различных системах буровых растворов **способно обеспечить уменьшение эксплуатационных затрат на 30–45 %** при бурении скважин за счет снижения

дополнительного расхода химреагентов при поддержании регламентируемых параметров бурового раствора.

Дальнейшее исследование предполагает проведение дополнительных расчетов, а также подтверждение в промысловых условиях сокращения осложнений при бурении в неустойчивых глинистых и аргиллитовых отложениях и повышения дебитов при бурении в продуктивных пластах в сравнении с бурением скважин с применением зарубежных аналогов – Resinex, K-17, K-160, входящих в состав современных систем термостойких буровых растворов (K-Mag-Sistem, Duratherm M.-I. Drilling Fluids Co, США).

Еще одна злободневная и архиважная тема из перечня, сформированного нашими экспертами, касается вопроса модернизации подходов к профессиональной подготовке персонала в области строительства и реконструкции скважин (в колледжах и вузах). Именно эту тему вынес на обсуждение директор по развитию функции «Бурение и внутрискважинные работы» блока экспертизы и функционального развития ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ НТЦ» В.В. КОРЯБКИН.

Трудовые ресурсы – незаменимая часть любого производства. Нефтегазовый рынок предъявляет жесткие требования к специалистам, заставляя их постоянно улучшать свои теоретические знания, шлифовать уже полученные навыки. Чем выше профессиональный уровень сотрудников компании, тем эффективнее работает вся организационная структура. Качественная подготовка кадров должна осуществляться со студенческой скамьи. Озабоченность проблемами, существующими в обучении студентов современным технологиям, а также навыкам буровых и ремонтных работ, высказала Л.Е. ЛЕНЧЕНКОВА, д.т.н., проф. УГНТУ, но при этом она предложила достаточно эффективный подход, позволяющий в процессе решения конкретных производственных задач нефтегазовых компаний получать нашим выпускникам необходимые знания и навыки:

– Да, проблема подготовки кадров для нужд нефтедобычи по бакалаврским и магистерским программам по направлению «Нефтегазовое дело» в высшей школе стоит очень остро. Мы, безусловно, пытаемся ее решать по мере возможности. Надеемся, что опыт нашей кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений» позволит приблизиться к ее решению. Для современных нефтегазовых компаний нужны выпускники, обладающие компетенциями в области строительства скважин и нефтедобычи, с разносторонними знаниями методов и технологий повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти. Для достижения этих целей необходимо наличие на кафедре специального лабораторного оборудования и программного обеспечения по моделированию технологических процессов.

Мы на кафедре пошли по пути консолидации со специалистами и учеными высокого уровня, обладающими данными компетенциями и способными помочь нам в решении поставленных задач. Так, на кафедре

РНГМ УГНТУ в 2018 году была открыта базовая кафедра при Уфимском научно-техническом центре. Нам было известно о серьезном научно-производственном потенциале центра, сотрудниками которого являются широко известные в нефтегазовом сообществе ученые-практики: член-корреспондент РАН, к.х.н. Телин Алексей Герольдович, кандидаты технических наук Стрижнев Владимир Алексеевич и Рагулин Виктор Владимирович и другие замечательные специалисты, чьи имена и заслуги перед отраслью известны не только в России, но и за ее пределами. Сотрудники базовой кафедры участвуют в подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров и магистерских диссертаций, организуют практику для студентов. На базе ООО «Уфимский НТЦ» выполняются экспериментальные исследования. Работа ведется в самых разных направлениях, особое внимание уделяется борьбе с осложнениями, возникающими как при строительстве, так и при эксплуатации скважин, в частности, связанных с ликвидацией катастрофических поглощений в процессе бурения. Как известно, мероприятия по ликвидации таких поглощений приводят к огромным финансовым затратам. Хочу особо отметить, что на сегодняшний день отсутствуют проверенные утвержденные методики, методические пособия по данной тематике, нет лабораторного оборудования и программных продуктов. Сервисные фирмы, участвуя в тендерах, не раскрывают свои ноу-хау, а нефтяные компании, кроме стремления снизить цену, ни в чем не заинтересованы. Понятно, что для ликвидации поглощений нужны тампонажные материалы, содержащие полимерную основу и дисперсный кольматант. Причем наиболее перспективными выглядят кольматанты растительного происхождения.

Нами уже в течение двух лет на кафедре РНГМ совместно с базовой кафедрой при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного гранта проводятся экспериментальные исследования по обоснованию **технологии РИР на основе органоминерального комплекса**. Несомненно актуальность данных составов, прослеживается связь с практическими задачами нефтедобычи и строительства скважин, например, использование их при ликвидации поглощений в процессе бурения скважин, ликвидации заколонных перетоков и т.д.

Думаю, что такой подход не только позволит решать конкретные производственные задачи нефтегазовых компаний, но и обеспечит выпускникам кафедры РНГМ получение тех знаний, которые помогут им стать специалистами, обладающими современными компетенциями,

благодаря которым они смогут легко адаптироваться в избранной сфере деятельности и вырасти до высококвалифицированных специалистов.

В связи с возрастающей сложностью строительства нефтяных и газовых скважин повышаются требования к качеству теоретической и практической подготовки инженерно-технического персонала, что, по мнению главного технолога ООО «Современные сервисные решения» (ГК «Миррико») Т.А. ФИНКА, влечет за собой необходимость постоянного повышения квалификации кадров. Спикер рассказал о деятельности образовательного центра по подготовке специалистов в области буровых растворов, созданного на базе ГК «Миррико»:

– В нашем учебном центре мы реализуем самые современные концепции и подходы к обучению инженерного персонала. В рамках модернизации системы образования и подготовки кадров мы используем следующие инструменты: взаимодействие с вузами, многоступенчатый отбор кандидатов, тестирование на этапах отбора и обучения, актуальные учебно-методические материалы с привязкой к реальным условиям бурения, практические кейсы, стажировку у опытных наставников с многоуровневой системой контроля прогресса развития сотрудника, обучение работе в программах, связанных с гидравлическими расчетами в бурении и заполнением суточных документов. Лабораторный практикум выполняется полностью на том оборудовании, с которым сотрудники столкнутся на реальных объектах работы.

Таким образом, подготовка персонала по буровым растворам в нашем учебном центре соответствует высоким требованиям нефтегазовой отрасли.

В процессе подготовки данных материалов наши эксперты проанализировали представленную информацию о новых решениях и передовом опыте. Более того, между экспертами и участниками полемики завязалась переписка, в которой нашлось место конструктивным вопросам, консультациям, взаимным компетентным разъяснениям. Надеемся, этот опыт будет полезен в дальнейшем всем участникам открытой профессиональной полемики, по результатам которой был инициирован обмен контактами, а также запрошена дополнительная информация о разработках.

Со своей стороны мы готовы оказать всяческое содействие в установлении долгосрочных связей между заказчиками и подрядчиками, между теми, кто разрабатывает эффективные технологии, и теми, кто заинтересован в их применении.