УДК 622.24:622.276.04

© Г. Р. Кан, Р. Е. Раш, Ж. Рунье, 2007

ОПЫТ БУРОВЫХ РАБОТ
при освоении месторождения Чайво

В ходе реализации проекта «Сахалин-1» компанией «ЭксонМобил» благодаря использованию самых совершенных технологий достигнуты наиболее высокие в мире показатели при бурении скважин с большим отходом от вертикали (БОВ). Так, скважина Z-11, пробуренная с береговой буровой площадки Чайво, достигла наивысшего в мировой практике показателя по протяженности ствола скважины БОВ, составившей 11282 м. Кроме того, двенадцать скважин, пробуренных на месторождении Чайво с этой же площадки, вошли в число двадцати наиболее протяженных скважин БОВ, когда-либо пробуренных в мировой отраслевой практике.

Гари Р. Кан, старший инженер по бурению
«ЭксонМобил девелопмент компани»

Ричард Е. Раш мл., главный руководитель буровых работ
«ЭксонМобил девелопмент компани»

Желько Рунье, вице-президент
«Эксон Нефтегаз лимитед»

Первая стадия освоения и добычи, осуществляемая в рамках проекта «Сахалин-1», является одним из наиболее амбициозных в мире проектов разработки месторождений нефти и газа. На этой стадии были сооружены береговая буровая площадка, с которой производится бурение скважин БОВ рекордной протяженности с пространственным искривлением ствола (скважины 3D-БОВ), а также морская платформа, с которой производится бурение скважин 3D-БОВ по специальному проекту. На берегу, вблизи буровой площадки, построен модульный комплекс подготовки продукции производительностью по нефти до 34 000 т (250 000 баррелей) в сутки. Береговой комплекс подготовки соединяется с морским терминалом в Де-Кастри 225-километровым нефтепроводом, проложенным по острову Сахалин и пересекающим Татарский пролив. В районе терминала Де-Кастри располагается крупнейший в мире выносной одноточечный причал для круглогодичной отгрузки танкеров при минимальном воздействии на окружающую природную среду. Компания «ЭксонМобил» успешно осуществила этот проект менее чем за пять лет.

Трудности реализации проекта

Работы по проекту «Сахалин-1» проводятся в одном из наиболее географически отдаленных и экологически уязвимых в мире регионов. Субарктический климат северной части Сахалина характеризуется осенними ветрами ураганной силы и паковым льдом толщиной 0,9–1,2 м в зимний период. Этот регион также является одним из наиболее сейсмически активных в мире, с постоянной вероятностью землетрясений. К началу работ по проекту имелась слабо развитая инфраструктура для обеспечения проекта такого масштаба, при этом множество дорог, мостов и других сооружений нуждались в модернизации.

Наземная буровая площадка Чайво и буровая установка «Ястреб»

Кроме того, чтобы убедиться в отсутствии негативного воздействия работ на окружающую природную среду, пришлось выполнить значительный объем экологических исследований.

Успешное бурение и заканчивание особо сложных скважин БОВ потребовало преодоления множества трудностей. Из-за отсутствия на мировом рынке буровых установок, способных эксплуатироваться в таких суровых природно-климатических условиях и обеспечивать бурение скважин мирового класса, были специально спроектированы и построены буровые установки, установленные на береговой буровой площадке и на морской платформе «Орлан».

Наземная буровая установка «Ястреб»

Для бурения скважин БОВ протяженностью свыше 11 км с береговой буровой площадки Чайво потребовалось спроектировать и построить самую мощную в мире наземную буровую установку арктического класса, названную «Ястреб». Оборудование и узлы этой буровой установки были изготовлены и собраны в четырех штатах США и в пяти других странах. Все компоненты установки были доставлены на завод в г. Новая Иберия (шт. Луизиана, США), где были выполнены ее сборка и пусконаладка. По завершении пусконаладки буро-

Буровой модуль установки «Ястреб» (в центре); склад труб площадью 1600 м², а также силовая установка и установка для приготовления бурового раствора передвигаются как одно целое по рельсам на участке протяженностью 100 м для обеспечения высокоэффективных операций бурения

вая установка была разобрана и на трех грузовых судах перевезена на расстояние более 11 000 км для установки на береговой буровой площадке Чайво. После завершения монтажа и подготовки буровой установки к вводу в эксплуатацию, 6 июня 2003 г. была начата бурением первая скважина для закачки бурового шлама.

Буровая установка имеет множество конструктивных особенностей, обеспечивающих безопасность персонала, охрану окружающей природной среды, возможность использования бурильных труб большого наружного диаметра, комбинированной бурильной колонны, составленной из труб различных диаметров, стеллажей значительной вместимости для горизонтальной укладки труб, высокомоментного верхнего привода, а также высокопроизводительных буровых насосов высокого давления. К уникальным особенностям буровой установки «Ястреб» относятся:

- полностью закрытые (с полом) и теплоизолированные рабочие площадки буровой, склада труб и установки приготовления бурового раствора, рассчитанные на эксплуатацию при температуре до –40 °С;
- использование уложенных на складе бурильных и обсадных труб для повышения сейсмической устойчивости буровой установки;
- монтаж буровой установки на рельсах для облегчения ее перемещения от скважины к скважине;
- возможность спуска обсадных труб категории 3, а также бурильных двухтрубок с длиной свечи около 27 м;
- возможность работы с бурильными трубами диаметром 5 7/8″ с замковыми соединениями XT-57 при обеспечении высокого крутящего момента;
- общая эффективная мощность буровой установки составляет 9172 л. с. и обеспечивается четырьмя генераторами Cat 3516B, каждый из которых почти в два раза мощнее большинства генераторов, используемых в составе наземных буровых установок;
- мощность верхнего привода Varco TDS8SA по крутящему моменту составляет 67,8 кН·м при частоте вращения 120 мин$^{-1}$;
- используются четыре буровых насоса National 12-P-160 мощностью каждый 1200 л. с., рассчитанные на давление 51,7 МПа;
- мачтовая вышка высотой 53,3 м массой 680 т способна выдерживать землетрясения;
- имеются системы обеспечения рабочим буровым раствором вместимостью 318 м^3 и резервным буровым раствором вместимостью 318 м^3, а также дополнительные емкости для хранения технологических жидкостей вместимостью 795 м^3;
- наличие вспомогательных и сопутствующих сооружений и объектов, в том числе рабочего поселка на 240 человек, базового резервуарного парка для топлива и углеводородной основы бурового раствора, крытой ремонтной базы, установки для подготовки цемента/бурового раствора, специальной скважины для закачки отходов бурения (ZD-1), мастерских для ремонта/техобслуживания и вертолетной площадки.

Буровая установка морской платформы «Орлан»

Морская буровая платформа «Орлан» представляет собой массивное, устойчивое к воздействию ледовых, волновых и сейсмических нагрузок буровое и эксплуатационное сооружение гравитационного типа, пригодное к круглогодичной эксплуатации в суровых морских условиях. Платформа «Орлан» переоборудована из железобетонной буровой платформы (CIDS), ранее использовавшейся для бурения разведочных скважин на шельфе Аляски (платформа Glomar I в море Бофорта). Платформа оснащена полным комплектом бурового оборудования пятого поколения и имеет конструкцию, рассчитанную на обеспечение морских работ в отдаленных районах с самыми суровыми природно-климатическими условиями. Платформа предназначена для выполнения буровых работ в морских субарктических условиях в диапазоне температур от –35 до +35 °С при всех ожидаемых нагрузках, в том числе обусловленных сильными землетрясениями. После завершения всех работ по подготовке к вводу в эксплуатацию, платформа «Орлан» была окончательно установлена в Охотском море 15 июля 2005 г.

К уникальным особенностям буровой установки платформы «Орлан» относятся:

- полностью закрытые и теплоизолированные рабочие площадки;
- возможность работы с бурильными трубами диаметром 5 7/8″, с замковыми соединениями XT-57 при обеспечении высокого крутящего момента;
- общая эффективная мощность буровой установки 9750 л. с. при мощности лебедки 2000 л. с., мощности каждого из трех буровых насосов 2200 л. с. и мощности верхнего привода 1150 л. с.;
- мощность верхнего привода Hydralift HPS 650E по крутящему моменту 88,1 кН·м при частоте вращения 90 мин$^{-1}$;
- использование трех трехцилиндровых буровых насосов Wirth мощностью 2200 л. с. каждый, рас-

считанных на давление 51,7 МПа;

- сейсмостойкая мачтовая вышка высотой 54 м массой 590 т;
- пол буровой – типа North Sea, с полностью автоматизированным управлением при помощи координатной ручки;
- наличие систем обеспечения рабочим буровым раствором вместимостью 164 м^3 и резервным буровым раствором вместимостью 149 м^3, а также дополнительных емкостей для хранения технологических жидкостей вместимостью 1615 м^3;
- наличие вспомогательных и сопутствующих сооружений и объектов, в том числе жилых помещений на 120 человек, специальной скважины для закачки отходов бурения (OD-1), трех судов (два судна ледокольной поддержки, один ледокол первого ледового класса) и вертолетной площадки.

Платформа «Орлан», подготовленная к бурению и добыче в условиях зимней эксплуатации в Охотском море, является одной из крупнейших в мире платформ, используемых в проектах компании «ЭксонМобил», и оборудована буровой установкой пятого поколения

Конструкции скважин и технологии бурения

По состоянию на июнь 2007 г. с береговой буровой площадки Чайво пробурено 16 скважин, в том числе 13 добывающих, 2 газонагнетательные и одна для закачки шлама. С платформы «Орлан» пробурено 10 скважин, в том числе 7 добывающих, 2 газонагнетательные и одна для закачки шлама. Профили скважин, бурившихся с береговой буровой площадки, обычно включали участки набора кривизны и последующего поддержания постоянного угла отклонения (рис. 1), тогда как скважины, бурившиеся с морской платформы «Орлан», имели трехмерное (3D) искривление траектории (рис. 2).

Конструкции скважин, бурящихся как с береговой площадки, так и с морской платформы, схематически представлены на рис. 3. Как показано на схеме, конструкция скважин, бурящихся с береговой площадки, включает следующие компоненты:

- 30-дюймовое забивное направление до глубины около 100 м;
- колонну (кондуктор) 18 5/8″, спускаемую до глубины около 800 м;
- промежуточную колонну 13 3/8″, спускаемую до отм. около 3300 м;
- промежуточную / эксплуатационную колонну 9 5/8″, башмак которой установлен непосредственно над продуктивным пластом;
- хвостовик 7″× 6 5/8″, установленный в продуктивном пласте.

Рис. 1. Карта-схема расположения береговой буровой площадки и морской платформы «Орлан» с указанием траекторий скважин (вид в плане)

Следует отметить, что спуск обсадных колонн 9 5/8″ во все скважины, бурящиеся с береговой площадки, должен производиться с обеспечением селективной регулируемой плавучести (при расположении секций обсадных труб, заполненных буровым раствором, над секциями, заполненными воздухом), что обусловлено глубиной их спуска и значением их зенитного угла на участках установки.

При бурении с морской платформы «Орлан» используются две различные конструкции скважин (см. рис. 3, *б*). Конструкции первых пяти пробуренных добывающих скважин и двух газонагнетательных скважин были аналогичны тем, которые применялись при бурении скважин с береговой площадки. Опыт, полученный при бурении первых скважин, показал, что для снижения затрат на буровые работы может применяться такая мера, как исключение обсадных колонн 18 5/8″ из конструкции определенных скважин. Решение об исключении этих обсадных колонн из конструкции некоторых скважин

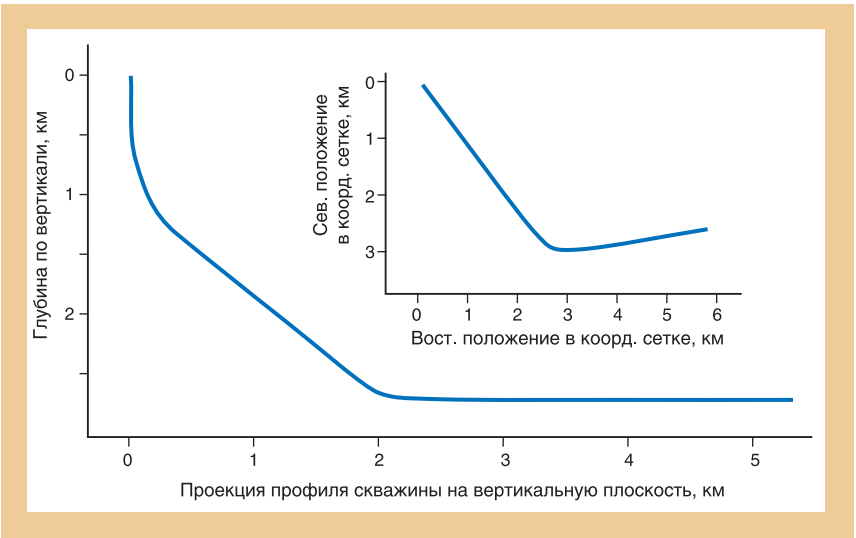

Рис. 2. Типовой профиль добывающей скважины, пробуренной с платформы «Орлан»

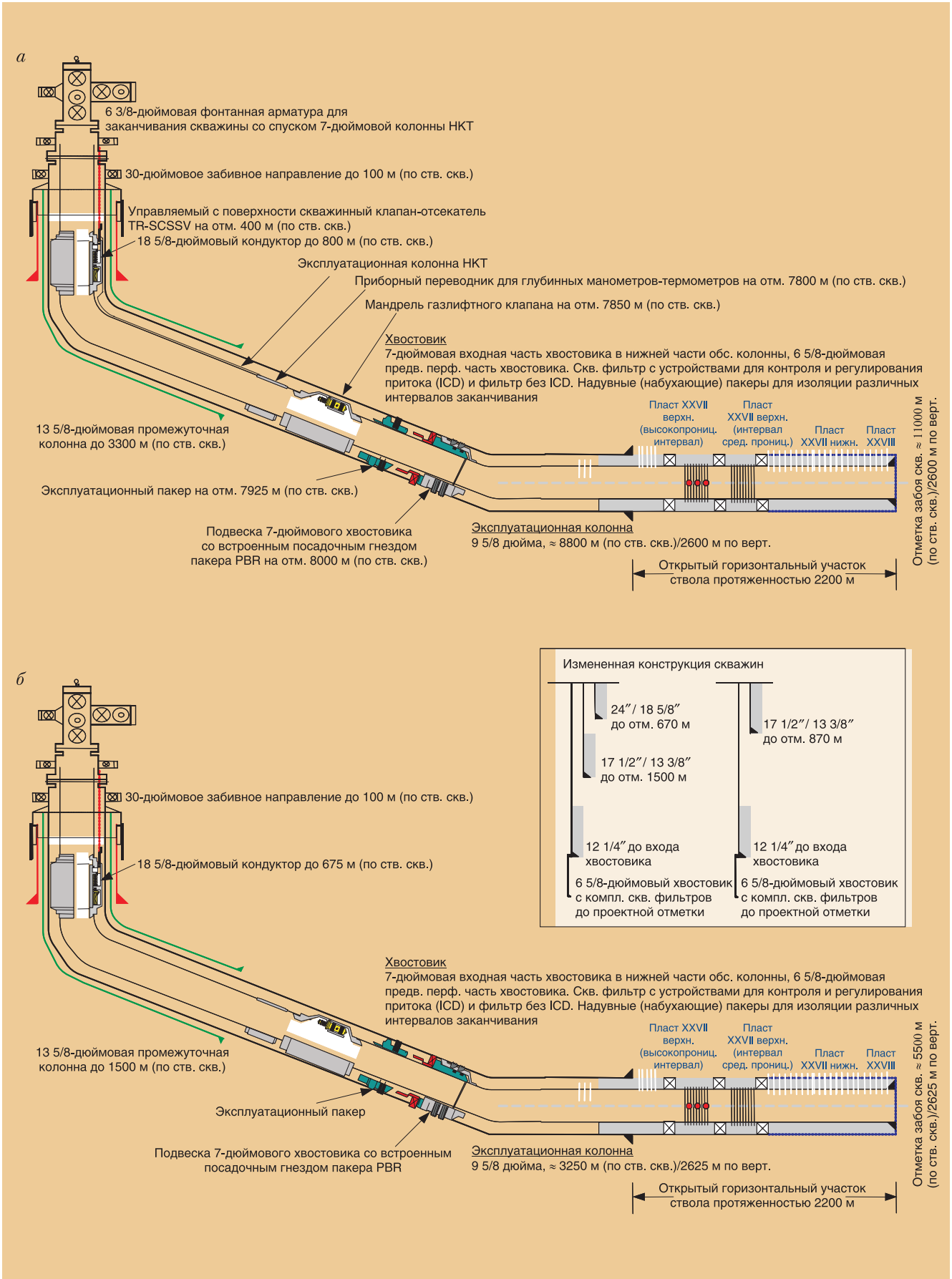

Рис. 3. Типовая конструкция добывающей скважины:
а – бурящейся с береговой площадки; *б* – с морской платформы

было принято на основании результатов моделирования для определения крутящего момента и сил сопротивления при продольном перемещении колонны по стволу скважины. Моделирование показало, что при установке башмака обсадной колонны 13 3/8″ на отметке около 870 м обеспечивается возможность спуска колонны 9 5/8″ на требуемую глубину. С учетом успешного бурения первой скважины, в конструкцию которой были внесены указанные изменения, эта упрощенная конструкция была использована для всех выделенных скважин.

В настоящее время применяются новые усовершенствованные технологические схемы заканчивания всех скважин, бурящихся как с береговой площадки, так и с морской платформы. Как показано на рис. 4, при этом предусматривается комплексное применение заколонных изолирующих пакеров, штуцерных насадок для контроля и регулирования притока, скважинных фильтров для предотвращения выноса песка и предварительно перфорированных хвостовиков. К числу преимуществ этой принципиально новой технологии заканчивания скважин относятся: поддержание равномерно сбалансированного профиля притока по всему интервалу заканчивания скважины за счет ограничения притока из высокопроницаемых интервалов; снижение потенциальной возможности пескопроявлений; обеспечение изоляции пластов-коллекторов различных фациальных типов; сведение к минимуму материальных затрат и риска в результате исключения использования обычной технологии установки хвостовиков с последующим цементированием и связанным с этим проведением перфорационных работ в скважинах.

В процессе разработки месторождения Чайво компанией «ЭксонМобил» был достигнут ряд рекордных показателей, а после заканчивания скважины Z-11, которая бурилась с береговой буровой площадки, компания «ЭксонМобил» достигла наивысшего в мировой практике показателя по протяженности ствола скважины БОВ, которая составила 11282 м. Кроме того, в настоящее время двенадцать скважин, пробуренных с береговой буровой площадки, входят в число двадцати наиболее протяженных скважин БОВ, когда-либо пробуренных в мировой отраслевой практике.

В перечень дополнительных, заслуживающих внимания достижений в области бурения входят:

- спуск обсадной колонны 9 5/8″ при обеспечении селективной регулируемой плавучести с установкой башмака на отметке 9660 м;
- рекордный показатель спуска колонны гибких НКТ – 9328 м;
- рекордный показатель спуска аппаратуры ГДК на кабеле с применением устройства подачи компоновки по стволу скважины – 9775 м;
- рекордный показатель, достигнутый при проведении перфорации со спуском перфоратора на бурильных трубах, – 10970 м;
- успешная установка гидравлических отклонителей на отметке 7898 м на горизонтальном участке скважины БОВ и выполнение зарезки бокового ствола, что более чем на 1500 м глубже по стволу скважины по сравнению с прежним отраслевым достижением.

Рис. 4. Заканчивание скважин, бурящихся с береговой площадки и морской платформы

Успехи, достигнутые при бурении и заканчивании скважин на месторождении Чайво, являются результатом сосредоточения усилий на обеспечении производственной безопасности, безукоризненном выполнении работ и применении двух запатентованных технологических методов бурения. Компания «ЭксонМобил» разработала новый подход, сочетающий глубокое понимание физических механизмов динамики скважинных процессов при бурении скважин с применением методики количественного анализа риска (QRA). Этот подход был использован для оптимизации параметров бурения, а также числа и глубин установки колонн обсадных труб. Основной особенностью метода является использование фундаментальных моделей расчета условий устойчивости ствола скважины (IHQ) для решения ключевых проблем процесса бурения (управление скважиной, обеспечение устойчивости ее ствола, скважинной гидравлики, промывки скважины, бурения в условиях скручивающих и осевых нагрузок, а также при прихвате труб, вызванном перепадом давления). Методика IHQ/QRA сочетает в себе использование основополагающих физических моделей с анализом рисков, позволяя оценить вероятность предотвращения осложнений. За счет оценки такой вероятности на основании множественных осложняющих факторов процесса бурения методика IHQ/QRA позволяет определить как оптимальные параметры бурения, так и общую вероятность успешности бурения.

Другая причина успеха компании «ЭксонМобил» – применение технологии скоростного бурения (FDP). Это – рабочий процесс, направленный на максимальное увеличение механической скорости проходки каждого метра ствола скважины за счет поддержания нагрузки на долото на уровне, максимально приближенном к предельным технологическим возможностям, а также путем постоянных конструктивных усовершенствований с целью повышения порогового значения механической скорости проходки или устранения ограничений для этого технологического показателя. Механическая скорость проходки (ROP) не является параметром, характеризующим только буровое долото. Другими словами, показатель ROP любого долота может быть улучшен за счет устранения факторов, отрицательно влияющих на технические

возможности этого долота. Буровое долото работает в эффективном диапазоне своих показателей, если значение ROP линейно зависит от нагрузки на долото (WOB). Для выбора оптимального соотношения нагрузки на долото и частоты его вращения (RPM) с целью максимального увеличения механической скорости проходки до уровня, почти достигающего предельных технологических возможностей, используется показатель удельных затрат механической энергии (MSE). Дальнейшее совершенствование этого метода потребует проведения работ, направленных на повышение уровня предельных технологических возможностей или увеличение подводимой энергии, если она ограничена связанными с указанным пороговым значением факторами.

Перспективы

Буровые работы на береговой буровой площадке Чайво планируется продолжить до конца 2007 г. или начала 2008 г. Планируется бурение еще одной газонагнетательной скважины и двух-четырех дополнительных нефтедобывающих скважин. Все эти скважины БОВ будут иметь рекордную или близкую к рекордной протяженность ствола. После завершения буровых работ на береговой буровой площадке Чайво буровая установка «Ястреб» будет модернизирована (за счет установки верхнего привода большей мощности и для использования бурильных труб более высокой прочности) и перемещена на расстояние около 12 км к северу для использования при разработке месторождения Одопту. Протяженность стволов скважин на месторождении Одопту будет близка к протяженности скважин, пробуренных на береговой буровой площадке Чайво, однако их вертикальная глубина будет меньше. Предполагается, что буровые работы на платформе «Орлан» продолжатся до III квартала 2008 г., при этом планируется выполнить бурение и заканчивание девяти дополнительных скважин.

Список литературы

Zuskov B. et al. Orlan Drilling Update//8th International Conference and Exhibition for Oil and Gas Resources Development of the Russian Arctic Offshore Conference, September 11–13, 2007, St. Petersburg, Russia.

Dupriest F. E. et al. Maximizing Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy//SPE paper 92194, presented at the 2005 SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, The Netherlands, 23–25 February.

Helmy M.W. et al. Application of New Technology in the Completion of ERD wells, Sakhalin-1 Development//SPE 103587, presented at the 2006 SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition held in Moscow, Russia, 3–6 October 2006.

Viktorin R. A. et al. The Next Generation of Sakhalin Extended Reach Drilling//SPE/IADC 99131, presented at the SPE/IADC Drilling Conference held in Miami Beach, Florida, USA, 21–23 February, 2006.

Sakhalin-1: A New Frontier//Supplement to Oil and Gas Journal Offshore. – PennWell Custom Publishing.

СЕМИНАР MICROMINE В ФГУ ГКЗ

18–22 июня 2007 г. в Москве специалистами фирмы Micromine для сотрудников ФГУ ГКЗ и НП НАЭН проведен семинар по применению горно-геологической информационной системы (ГГИС) Micromine при экспертизе запасов и проектов на разработку месторождений твердых полезных ископаемых.

Практические занятия вели ведущие специалисты фирмы Micromine Д. Пертель (Перт, Австралия), А. Чвиков, И. Апухтина, М. Лесонен (Санкт-Петербург, Россия). Большую организационную помощь в подготовке и проведении семинара оказали И. Свинтицкий, А. Перетятько, О. Нестеров.

Во время семинара заместитель генерального менеджера, руководитель службы горных консультантов фирмы Micromine Дмитрий Пертель от лица своего руководства передал ФГУ ГКЗ и НП НАЭН две сетевые лицензии ГГИС Micromine (на 10 рабочих мест).

В своем заключительном слове на семинаре генеральный директор ФГУ ГКЗ Ю. А. Подтуркин поблагодарил руководителей фирмы Micromine за организацию семинара и отметил актуальность стратегической линии ФГУ ГКЗ по использованию современных технологий при проведении экспертизы запасов и проектов на разработку месторождений полезных ископаемых.