**БУРЕНИЕ МНОГОСТВОЛЬНЫХ СКВАЖИН
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ RAPID****MULTI-LATERAL WELLS DRILLING USING RAPID TECHNOLOGY****Е.Л. Гусейнова**
Elena L. GuseynovaУфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Октябрьский,
Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University, Branch,
Oktyabrsky, Russian Federation**Э.М. Гусейнов**
Eldar M. GuseynovООО «РН-Ванкор»,
г. Красноярск,
Российская ФедерацияLLC RN-Vankor,
Krasnoyarsk, Russian Federation

В статье рассматриваются вопросы, связанные с бурением многоствольных горизонтальных скважин. Представлена краткая история развития многоствольного бурения. Приводится история развития классификации Technology Advancement — Multi-Laterals (TAML), начало которой было положено Эриком Диггином на Международном форуме «Technology Advancement — Multi-Laterals» в марте 1997 г. Представлена классификация уровней сложности TAML, включающая шесть уровней. Приводятся отличительные особенности каждого из шести уровней сложности бурения многоствольных скважин. В статье дается краткое описание развития технологии многоствольного бурения. Приводятся данные о первых пробуренных скважинах, соответствующих различным уровням сложности. Описываются обеспечивающие надежность и прочность сочленения марки RAPID. Рассматриваются и описываются преимущества сочленений Rapid Tie Back, Rapid Access, Rapid Connect, Rapid Exclude и Rapid X. Отличительной особенностью сочленения марки Rapid Tie Back является наличие изготовленных в заводских условиях вырезов в обсадной колонне. При использовании сочленения Rapid Access предусматривается вырезание ориентированных боковых окон в обсадной колонне при монтаже сочленений с боковыми стволами с использованием патрубка со специальным пазом. Сочленения марок Rapid Connect и Rapid Exclude позволяют проводить избирательный ввод в основной и боковой стволы. Сочленение марки Rapid X отличается наличием непрерывного фиксирующего рельса. Приводятся конструктивные требования и особенности применения соединения. Описываются преимущества применения сочленения Rapid X. В статье представлены типовые конструкции многозабойных скважин. Также представлена авторская конструкция многозабойной скважины, строительство которой предусматривает использование коннектора Rapid X. Рассматриваются преимущества многоствольного бурения.

The article deals with the issues associated with drilling multi-lateral horizontal wells. A short history of development of multi-lateral drilling is presented. The history of the development of the Technology Advancement — Multi-Laterals (TAML) classification, which was initiated by Eric Diggin at the International Forum «Technology Advancement — Multi-Laterals» in March 1997, is presented. The classification of TAML complexity levels is presented, which includes six levels. The distinctive features of each of the six levels of drilling complexity of multi-lateral wells are given. The article gives a brief description of the development of multi-lateral drilling technology. Data on the first drilled wells correspond-

Ключевые словамногоствольное бурение,
многоствольная скважина,
классификации TAML,
Rapid Tie Back, Rapid Access,
Rapid Connect,
Rapid Exclude, Rapid X**Key words**multi-lateral drilling,
multi-lateral well,
TAML classification,
Rapid Tie Back, Rapid Access,
Rapid Connect,
Rapid Exclude, Rapid X

ing to different levels of complexity are given. There described the reliability and strength of the articulation of the RAPID brand. The advantages of the Rapid Tie Back, Rapid Access, Rapid Connect, Rapid Exclude and Rapid X joints are discussed and described. A distinctive feature of the Rapid Tie Back joint is the availability of factory-made cutouts in the casing. When using the Rapid Access joint, it is planned to cut the oriented side windows in the casing when mounting joints with lateral trunks using a branch pipe with a special groove. The junctions of the Rapid Connect and Rapid Exclude grades allow selective entry into the main and side trunks. The articulation of the brand Rapid X is distinguished by the presence of a continuous fixing rail. The design requirements and application specifics are given. The advantages of using the Rapid X junction are described. The article presents typical designs of multi-hole wells. The authors' design of a multihole well is also presented, the construction of which provides for the use of the Rapid X connector. The advantages of multi-lateral drilling are considered.

Доля России в мировой добыче нефти с 2000 по 2015 гг. возросла с 8,9% до 12,4%. Сегодня Россия наравне с Саудовской Аравией и США определяет динамику цен на нефтяном рынке. Россия является главным поставщиком нефтепродуктов и нефти на европейский рынок, при этом происходит наращивание поставок нефти в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. В 2016 г. Россия установила новый рекорд добычи — было добыто 547 млн т нефти и газоконденсата, превысивший уровень добычи в 2015 г. на 1,3%. Самый высокий уровень добычи нефти отмечается в компании Роснефть [1].

При этом применение технологии бурения многоствольных скважин является перспективным. Технология бурения многоствольных скважин не является новой, но также ее нельзя считать достаточно зрелой и разработанной в нефтяной промышленности. В мире сейчас насчитываются тысячи скважин, построенных с применением данной технологии. Сегодня технология многоствольного бурения скважин применяется практически повсеместно, а дальнейшее ее развитие является перспективным [2].

Несмотря на то, что технология строительства многоствольных скважин была впервые запатентована в США в 1929 г., данный метод бурения скважин продолжает развиваться до настоящего времени. Впервые успешное применение технологии многоствольного бурения скважин было осуществлено в Башкирии в 1953 г. [3].

Преимуществами такого способа бурения являются: повышенный коэффициент охвата пласта, снижение общих затрат на бурение и заканчивание скважин, увеличение продук-

тивности, обеспечение более эффективного притока нефти, обеспечение повышения коэффициента извлечения нефти. Объемы добычи нефти в мире значительно увеличиваются за счет строительства многоствольных скважин. Иногда наблюдается отсутствие технической возможности бурения новых скважин с поверхности, либо осуществление нового проекта требует слишком высоких экономических затрат.

Многоствольная скважина, пробуренная в удачном месте, может оказаться гораздо эффективнее нескольких скважин, построенных с использованием традиционных технологий. Поскольку в этом случае повышается эффективность работы, происходит сокращение затрат на строительство, увеличивается объем поступающей из пласта нефти. Грамотное применение технологии многоствольного бурения позволяет более качественно проводить разработку месторождений.

Бурение многоствольных скважин может быть эффективным для разработки месторождений с истощенными запасами или при эксплуатации пластов с низким пластовым давлением [4].

Начало развития терминологии и классификации многоствольного бурения было положено в 1997 г. [5]. В марте 1997 г. Эриком Диггином (представитель компании Шелл) было предложено созвать международный форум, который был назван «Technology Advancement — Multi-Laterals (TAML)». Форум является некоммерческой организацией. На нем участники — эксперты ведущих мировых нефтяных компаний (BP, Statoil, Norsk Hydro, Esso UK, Mobil, Exxon, Phillips, Texaco, Total, Maersk, Chevron, Shell International E&P, Shell Oil and Shell UK Expro)

обменялись накопленным опытом бурения горизонтально-разветвленных скважин, а также разработали унифицированный подход и определили дальнейшее направление развития технологии бурения многоствольных скважин.

В 1998 г. была разработана и опубликована единая международная классификация по сложности и функциональности многоствольных скважин (The TAML Classification System) в рамках Joint Industry Project (JIP).

В Калгари в ноябре 2002 г. была организована встреча членов TAML, на ней были откорректированы цели организации, которая была преобразована в некоммерческую на основе членства, а также появилась возможность вступления новых участников. Классификация была изменена с учетом новейших разработок в области данной технологии.

В англоязычных публикациях широко используется термин Multi-Lateral Technology, который распространяется на всю совокупность применяемых технологий бурения различных видов многоствольных скважин. На русском языке в публикациях для описания различных видов скважин и боковых стволов используются разные термины.

Сегодня, согласно принятой классификации Technology Advancement — Multi-Laterals (TAML), различают 6 уровней сложности бурения многоствольных скважин. Уровни сложности возрастают в соответствии с возрастанием номера уровня [6].

Первый уровень сложности характеризуется бурением основного ствола с боковыми ответвлениями без крепления обсадными трубами. В этом случае свойства горных пород имеют большое значение, так как от них зависят прочность сочленения и изоляция пластов.

При втором уровне сложности основной ствол обсаживается и цементируется, а боковой ствол либо оснащается хвостовиком, либо имеет открытый забой.

Третий уровень сложности характеризуется обсаженным и цементируемым основным стволом, при этом боковой ствол обсаживается без цементирования, допустимым является крепление без цементирования у точки разветвления.

Производятся обсаживание и цементирование основного и бокового стволов, и в боковой ствол устанавливается хвостовик в четвертом уровне сложности (рисунок 1).

При пятом уровне сложности также производятся обсаживание и цементирование основного и бокового стволов, крепление технологического оборудования производится с использованием пакера. Места сочленений главного ствола с боковыми секциями являются одними из самых важных элементов бурения многоствольных скважин. Пятый уровень предполагает герметично выполненное сочленение, либо зацементированное, либо не зацементированное (рисунок 2).

И самый сложный шестой уровень отличается наличием на основном стволе забойного разветвления, и оборудование закрепляется для возможности производить раздельную добычу. При этом сочленение выполняется герметичным (рисунок 3).

В настоящее время разработана полная классификация TAML (TAML Classification System), которая включает вторую часть и имеет название Functionality Classification. В данной классификации приводятся: описания скважин и точек пересечения стволов (стыков), унифицированная кодировка многоствольных скважин.

Технология бурения многоствольных скважин развивалась постепенно. Скважины, пробуренные с 1953 г., относятся к 1 и 2 уровням сложности по классификации TAML. Широкое распространение бурения многоствольных скважин способствовало развитию и усложнению технологии. Компанией Shell в 1993 г. в канадской провинции Альберта была пробурена первая скважина, которая соответствовала третьему уровню сложности. Первая многоствольная скважина четвертого уровня сложности была пробурена там же в 1994 г. В 1995 г. в Мексиканском заливе в США компанией BP была пробурена первая многоствольная скважина пятого уровня сложности.

В настоящее время в России технология бурения многоствольных скважин проводится зарубежными компаниями Schlumberger, Weatherford, Halliburton, Baker Hughes [7].

Большое значение придается механической и гидравлической герметичностям мест

сочленения главного ствола с боковыми отводами. Обеспечение надежности и прочности соединения обеспечивается применением передовых сочленений марки RAPID. Существует несколько разновидностей таких сочленений.

Современные технологии позволяют построить более сложные и производительные скважины. Используя соединение типа Rapid, можно пробурить дополнительный ствол в противоположную сторону от основного и, по сути, превратить его в еще одну многозабойную скважину, после чего обсадить. Таким образом, современные коннекторы позволяют построить из одной скважины две, имеющие разветвленную систему боковых стволов. Это позволяет включить в работу все пласты и залежи, изолированные друг от друга, как одновременно, так и по отдельности, а также экономит огромное количество материальных ресурсов и уменьшит влияние на окружающую

среду. В настоящее время разработаны и применяются различные конструкции сочленений марки Rapid.

Система марки Rapid Tie Back, применяемая для бурения боковых ответвлений, предусматривает изготовление в заводских условиях вырезов в обсадной колонне, которые изнутри закрываются разбуриваемым патрубком. Данная технология отличается небольшим промежутком времени, требуемым для ее установки. Преимуществом является наличие в системе до четырех боковых стволов, которые располагаются под углом в 90° к основному стволу. Данную систему можно устанавливать над продуктивным пластом. При этом уменьшаются скорость набора угла наклона скважины и величина бокового отклонения. Установка системы Rapid Tie Back внутри продуктивного пласта позволяет бурить наклонные скважины под большими углами с использованием оборудования с небольшими

Рисунок 1. Четвертый уровень сложности бурения многоствольных скважин

Рисунок 2. Пятый уровень сложности

Рисунок 3. Шестой уровень сложности

радиусами. К преимуществам технологии относятся: обеспечение быстрого выхода из обсадной колонны, отсутствие металлической стружки, меньший риск подвергнуть обсадную колонну разрушению. Применение технологии может успешно использоваться при бурении залежей с тяжелой нефтью, а также в условиях низкой проницаемости пластов [8].

В системе бурения многоствольных скважин Rapid Access предусматривается вырезание в обсадной колонне ориентированных боковых окон при монтаже сочленений с боковыми стволами. При этом применяется патрубок со специальным пазом, называемый разделительной втулкой обсадной трубы, использование которой позволяет осуществлять бурение скважины без заранее проводимой ориентации вырезанных окон. Применение нескольких втулок позволяет собирать несколько боковых сочленений, при этом продуктивный пласт вскрывается несколькими скважинами, что позволяет получить больший эффект при разработке месторождений. Разделительная втулка является важным элементом и позволяет производить долгосрочное планирование разработки месторождения и управление залежью. Также она позволяет проводить повторный доступ через сочленение в горизонтальную скважину с помощью установки ориентированного отклоняющего клина. Данная технология сочленения с открытым стволом может применяться при бурении глинистых сланцев и устойчивых уплотненных пород [8].

Разработанные на основе Rapid Access сочленения марок Rapid Connect и Rapid Exclude представляют структурное соединение между обсадной колонной и боковыми хвостовиками, которое позволяет производить ввод в главную скважину и ответвления избирательно. Боковые ответвления обсаживаются, но цементируется только главная скважина. Конструкции сочленений обеспечивают механическую целостность в условиях рыхлых, неустойчивых, непрочных и слабощементированных пород [8].

Многоствольное соединение Rapid X, соответствующее пятому уровню сложности по классификации TAML, позволяет проводить модернизацию многоствольных горизонтальных скважин. Сочленение характеризуется наличием непрерывного фиксирующего рельса, обеспечивающего чрезвычайно

высокую прочность соединения. Селективный спуск осуществляется в оба ствола на кабеле, гибкой насосно-компрессорной трубе и бурильных трубах. Возможна установка в одном стволе нескольких соединений TAML 5-го уровня друг на друга, потери селективного доступа при этом не происходит. Использование сочленения позволяет сохранять герметичность при внутреннем и внешнем перепадах давления до 17000 кПа. Также существует возможность объединения сочленения Rapid X с клапанами контроля притока, забойными датчиками давления и температуры. Сохраняется возможность проведения мониторинга контроля притока. Сочленение полностью извлекается. Большим преимуществом является отсутствие необходимости ориентирования обсадной колонны при спуске. Соединение Rapid X может применяться в скважинах, в которых необходим контроль выноса песка, прорывов воды и газа, а также существует необходимость повышения площади дренирования пласта. Сочленение применимо в уплотняющих скважинах на разработанных месторождениях с ограниченным количеством слотов, в новых или существующих, нефтяных или газовых, добывающих или нагнетательных. Также при помощи подобной технологии могут разбуриваться пласты с неоднородным давлением и режимами потока, слоистые и трещиноватые, разделенные на блоки. Преимуществами технологии являются снижение рисков при бурении, экономия времени и затрат за счет простоты операций.

На успешность бурения горизонтальных участков многоствольных скважин оказывают влияние: форма профиля скважины, длина жесткой части компоновки низа бурильной колонны, интенсивность набора кривизны в интервале срезок.

На рисунке 4 представлены типовые конструкции многозабойных скважин, боковые стволы которых могут быть обсаженными и не обсаженными.

На рисунке 5 представлена предлагаемая авторами конструкция многозабойной скважины, при строительстве которой используется коннектор типа Rapid X. Скважина имеет в своем составе два боковых ствола. Боковые стволы обсаживаются. Из каждого бокового ствола отходит от одного до девяти дополнительных стволов.

Рисунок 4. Типовые конструкции многозабойных скважин

Рисунок 5. Предлагаемая конструкция скважины

Выводы

Многоствольное бурение, являясь эффективной технологией, позволяет повысить продуктивность давно разрабатываемых месторождений нефти и с максимальной эффективностью организовать разработку новых.

Применение технологии строительства многоствольных скважин имеет ряд преимуществ: снижаются экономические затраты, увеличивается извлекаемый объем нефти, использование нескольких имеющихся стволов позволяет увеличить площадь разработки коллектора, производится более точная оценка запасов нефти. Бурение многозабойных скважин позволяет разрабатывать не-

большие по объемам залежи и периферийные месторождения-спутники, а также может быть использовано в сложных геолого-технических условиях. Применение технологии многозабойного бурения позволяет уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду, поскольку уменьшается количество скважин на поверхности и утилизация бурового раствора и шлама также производится в меньших размерах. При бурении на морских платформах с ограниченным количеством скважин применение технологии многозабойного бурения также может быть эффективным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гусейнова Е.Л., Гусейнов Э.М. Технология бурения многоствольных скважин // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2017: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х т. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. Т. 1. С. 239–242.
2. Гусейнова Е.Л., Гусейнов Э.М. Применение технологии RAPID при бурении многоствольных скважин // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2017: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х т. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. Т. 1. С. 242–245.
3. Многоствольные скважины: развитие технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://vseonefti.ru/upstream/mnogostvolnye-skvazhiny.html> (дата обращения: 12.02.2017).
4. Hil D., Neme E., Ehlig-Economides C., Mollinedo M. Reentry Drilling Gives New Life to Aging Fields // *Oilfield Review* 8, 1996, No. 3. P. 4–17.
5. Bosworth S., El-Sayed H.S., Ismail G., Ohmer H., Straske M., West C., Retnanto A. Key Issues in Multilateral Tehnology // *Oilfield Review* 10, 1998, No. 4. P. 14–28.
6. Технология строительства многоствольных скважин [Электронный ресурс]. URL: <http://snkoil.com/press-tsentr/polezno-pochitat/tehnologiya-stroitelstva-mnogostvolnykh-skvazhin> (дата обращения: 12.02.2017).
7. Клиценко Г.В. Строительство горизонтально-разветвленных скважин в России. Современное состояние и перспективы // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XVII Междунар. симпозиума студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова. Томск: Изд-во НИТПИ, 2013. Т. 2. С. 223–225.
8. Фрайя Х., Омер Э., Пулик Т., Джардон М., Кайя М., Паэс Р., Сотомор П.Г., Умуджоро К. Новые подходы к строительству многоствольных горизонтальных скважин // Нефтегазовое обозрение. Весна 2003. С. 44–67.

REFERENCES

1. Guseynova E.L., Guseynov E.M. Tekhnologiya bureniya mnogostvol'nykh skvazhin [Technology of Drilling of Multilateral Wells]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele — 2017»*: v 2 t. [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference

«Modern Technologies in Oil and Gas Business — 2017», in 2 Vol.]. Ufa, UGNTU Publ., 2017, Vol. 1, pp. 239–242. [in Russian].

2. Guseynova E.L., Guseynov E.M. Primenenie tekhnologii RAPID pri burenii mnogostvol'nykh skvazhin [The RAPID Application of Technology for Drilling Multilateral Wells]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele — 2017»*: v 2 t. [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in Oil and Gas Business — 2017»: in 2 Vol.]. Ufa, UGNTU Publ., 2017, Vol. 1, pp. 242–245. [in Russian].

3. Mnogostvol'nye skvazhiny: razvitie tekhnologii [Multilateral Wells: Development of Technology]. Available at: <http://vseonefti.ru/upstream/mnogostvolnye-skvazhiny.html> (accessed 12.02.2017). [in Russian].

4. Hil D., Neme E., Ehlig-Economides C., Mollinedo M. Reentry Drilling Gives New Life to Aging Fields. *Oilfield Review* 8, 1996, No. 3, pp. 4–17.

5. Bosworth S., El-Sayed H.S., Ismail G., Ohmer H., Straske M., West C., Retnanto A. Key Issues in Multilateral Tehnology. *Oilfield Review* 10, 1998, No. 4, pp. 14–28.

6. Tekhnologiya stroitel'stva mnogostvol'nykh skvazhin [Technology of Construction of Multilateral Wells]. Available at: <http://snkoil.com/press-tsentr/polezno-pochitat/tehnologiya-stroitelstva-mnogostvolnykh-skvazhin/> (accessed 12.02.2017). [in Russian].

7. Klitsenko G.V. Stroitel'stvo gorizontal'no-razvetvlenykh skvazhin v Rossii. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Construction of Horizontally-Branched Wells in Russia. Current State and Prospects]. *Trudy XVII Mezhdunarodnogo simpoziuma studentov i molodykh uchenykh im. akademika M.A. Usova «Problemy geologii i osvoeniya nedr»* [Proceedings of the XVII International Symposium of Students and Young Scientists Named after Academician M.A. Usov «Problems of Geology and Mineral Development»]. Tomsk, NITPI Publ., 2013, Vol. 2, pp. 223–225. [in Russian].

8. Fraiya Kh., Omer E., Pulik T., Dzhardon M., Kaiya M., Paes R., Sotomaor P.G., Umudzhoro K. Novye podkhody k stroitel'stvu mnogostvol'nykh gorizontal'nykh skvazhin [New Approaches to the Construction of Multilateral Horizontal Wells]. *Neftegazovoe obozrenie — Oilfield Review*, Spring 2003, pp. 44–67 [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Гусейнова Елена Лазаревна, канд. пед. наук, доцент кафедры «Механика и технология машиностроения», УГНТУ, филиал, г. Октябрьский, Российская Федерация

Elena L. Guseynova, Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Professor of Mechanics and Engineering Tehnology Department, USPTU, Branch, Oktyabrsky, Russian Federation

e-mail: guseynova_elena@hotmail.com

Гусейнов Эльдар Махмудович, оператор по добыче нефти и газа, ООО «РН-Ванкор», г. Красноярск, Российская Федерация

Eldar M. Guseynov, Operations Technican, RN-Vankor LLC, Krasnoyarsk, Russian Federation

e-mail: demort@pisem.net