

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛ ТРЕНИЯ ПРИ СПУСКЕ ОБСАДНЫХ КОЛОНН В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

A STUDY OF FRICTION FORCES INFLUENCE OVER CASING STRING RUNNING IN HORIZONTAL WELLS

Э.Р. Исмагилова
Elvira R. Ismagilova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Матиас Райх
Matthias Reich

Институт технологий бурения
и добычи нефти,
Горная академия Фрайберга,
г. Фрайберг, Германия

Institute of Drilling Engineering
and Fluid Mining,
TU Bergakademie Freiberg,
Freiberg, Germany

ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ: Работа выполнена при поддержке DAAD (Немецкой службы академических обменов) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (задание № 5.13496.2019/13.2).

Современный этап развития нефтедобычи характеризуется увеличением доли трудноизвлекаемых запасов, следовательно диктует необходимость внедрения горизонтальных технологий в разработку месторождений. Строительство скважин с горизонтальным окончанием является наиболее эффективным способом разработки таких сложных эксплуатационных объектов, как маломощные пласты низкопроницаемых коллекторов, подстилаемые напорными водами. Бурением скважин с горизонтальными стволами, в том числе, эффективно решаются вопросы освоения нефтеносных залежей в акваториях морей, а также интенсификации добычи и довыработки остаточных запасов нефти. Однако, помимо того что горизонтальная скважина должна быть успешно пробурена, она также должна быть успешно обсажена и зацементирована, что зачастую является сложнорешаемой задачей. Наклонные участки ствола скважины требуют особой осторожности при креплении, так как здесь возрастает возможность прихвата при спуске обсадных колонн. Технически грамотный подход при выборе и установке опорно-центрирующих устройств поможет не только сохранить скважину и продлить срок ее службы, но также обеспечить качественное размещение цемента в затрубном пространстве.

На установке «Trosika», сконструированной в Горной академии Фрайберга, проведены серии экспериментов, позволившие распределить модели центраторов в группы по эффективности их применения относительно способа подачи обсадной колонны в горизонтальную скважину. В результате лабораторных исследований и анализа полученной опытным путем информации разработана принципиальная модель центратора обсадной колонны, обладающая наиболее эффективными опорно-центрирующими характеристиками одновременно и жестких, и пружинных центраторов. Разработана методика по тестированию основных элементов оснастки обсадной колонны при моделировании скважинных условий, приближенных к реальным.

Ключевые слова

горизонтальные скважины;
обсадная колонна; центраторы;
цементирование;
коэффициент трения;
наклонный участок

ACKNOWLEDGEMENT: The work was supported by the DAAD (German Academic Exchange Service) and by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (The assignment #5.13496.2019/13.2).

The modern stage of oil production development is characterized by an increase in the share of hard-to-recover reserves; therefore, it dictates the need for the introduction of horizontal technologies in the development of fields. Well construction with a horizontal wellbore is the most efficient way to develop such complex production targets as thin reservoir beds and low permeability reservoirs and some of them which are underlain by pressure water. Furthermore, by drilling horizontal wells there can be effectively solved the following: the development of oil deposits in waters of the seas, as well as the intensification of production and the most complete production of residual oil reserves. However, apart from the fact that a horizontal well must be successfully drilled it also must be successfully cased and cemented what is always a challenge. The inclined sections of the well profile represent highly critical points where the logy casing may occur. The centralizers installed at the verified positions can not only save and prolong the well life but also provide a reliable well support allowing high quality cementing.

A series of experiments were carried out at the Trosika test stand, designed at TU Bergakademie Freiberg, which allowed distributing centralizer models into groups according to their efficiency in relation to the method of casing supply to the bottom of a horizontal well. As a result of laboratory research and analysis of information obtained experimentally, a principal model of a casing centralizer has been developed, which has the most effective support-centering characteristics of both positive and balloon-type centralizers. A technique has been developed for the basic casing attachments testing in modeling real-well conditions.

Главными преимуществами горизонтальных скважин является повышенная степень дренирования продуктивного пласта при большой площади его вскрытия, что минимизирует фильтрационные сопротивления при движении жидкости в направлении вдоль оси ствола скважины. Однако существует ряд специфических факторов при креплении горизонтальных скважин, способствующих значительному снижению фактической эффективности горизонтальных технологий на фоне теоретической обоснованной. К основным факторам относятся:

— возможность прихвата при спуске обсадных колонн (ОК) в интервалы скважины с большой интенсивностью искривления [1];

— опасность недохождения обсадных колонн до забоя из-за повышенного трения о стенки скважины и недостаточности веса вертикальной составляющей веса колонны для «проталкивания» колонны вниз вдоль горизонтального участка, что обусловлено спецификой профиля горизонтальных скважин: превышением длины горизонтальной проекции над вертикальной [1];

— повышенный износ обсадных колонн в интервале набора кривизны и на наклонно-направленном участке [2];

Key words

horizontal wells; casing string; centralizers; cementing; friction factor; inclined section

— формирование эллипсоидного сечения в сводовой части горизонтального участка, что впоследствии приводит к проблемам при центрировании обсадной колонны и, как следствие, — к некачественному цементированию скважины [3].

Таким образом, можно констатировать, что строительство горизонтальных скважин имеет не только преимущества, но и также сопряжено с рядом сложностей, в том числе возникающих на этапе крепления.

Одной из самых труднорешаемых задач является обеспечение центрирования обсадных колонн в наклонных участках, где вес трубы полностью или частично передается на центратор, при этом по своему определению центратор должен оставаться соосным поперечному сечению ствола скважины.

Центраторам, установленным в месте перехода из условно вертикальной в горизонтальную плоскость, приходится принимать на себя весь вес элемента обсадной колонны. В связи с этим в случаях спуска обсадной колонны в интервалы с большой интенсивностью искривления устройство при исполнении своей опорной функции может потерять функцию полноценного центрирования, что в результате приведет к риску прижатия эле-

мента колонны к стенке ствола скважины. Для описания данной погрешности центрирования Американским нефтяным институтом введен критерий успешности выполнения центрации обсадной колонны, который описывается стандартом API 10D. Согласно данному стандарту, коэффициент центрации должен составлять 67%. Внутренними требованиями многих зарубежных нефтесервисных компаний является достижение коэффициента центрации в 80–90% в зависимости от сложности конструкции скважины. При этом степень центрирования определяется как степень отклонения элемента обсадной колонны от стенки открытого ствола скважины [4].

Причиной недостижения проектных показателей является чрезмерная механическая нагрузка, в результате которой происходит деформация рабочих органов опорно-центрирующих элементов, вследствие чего центрирование становится недостаточным. Далее в процессе крепления скважины цементным раствором наличие эксцентриситета приводит к заземлению бурового раствора по узкой стороне затрубного пространства, и, как следствие, — к невозможности равномерного заполнения цементом затрубного пространства, в результате чего образуются проводящие каналы, делающие крепь скважины уязвимой в процессе дальнейшей эксплуатации [5].

Существуют различные модели опорно-центрирующих устройств, изготовленных из металла или полимерных композиционных материалов, однако все они подразделяются на два типа: жесткие и упругие.

Упругие центраторы функционально пригодны для центрирования обсадных колонн в вертикальных и слабоискривленных скважинах. Их достоинством является регулируемая геометрия поперечного сечения устройства, то есть внешний диаметр может превышать номинальный диаметр открытого ствола скважины, что позволяет его спускать через сужения ствола, сжимая упругие пружины; таким образом, полноразмерность конструкции обеспечивает максимальную сопряженность с осью ствола скважины, что является неоспоримым достоинством данного типа центрирующего устройства. Однако прогиб пружин зависит от нагрузки, передаваемой обсадной колонной, и увеличивается в искривленных скважинах, где вес трубы полностью или частично передается на центратор, поэтому упругие центраторы невозможно использо-

вать для центрирования колонны в горизонтальном участке, так как высока вероятность их смятия [6].

Для центрирования скважин с наклонно-направленными и горизонтальными участками широко применяются жесткие центраторы, которые на сегодняшний день представлены разнообразными разработками и модификациями. Достоинствами жесткого центратора являются независимость от прилагаемых нагрузок, а также возможность его модификации для достижения существенного снижения коэффициентов трения при спуске обсадной колонны. Главным недостатком жестких центраторов является фиксированный наружный диаметр, который, согласно условиям исключения рисков заклинивания в местах сужения скважины, и, как следствие, посадок обсадной колонны, должен быть меньше диаметра долота. Данное условие ограничивает максимально достигаемую степень центрирования, особенно, если фактический размер ствола больше номинального из-за кавернозности или других проблем, связанных с устойчивостью ствола.

Из вышеизложенного следует, что существующие типы центраторов обладают рядом недостатков и не могут эффективно применяться в наклонных участках горизонтальных скважин. В связи с этим одна из крупнейших немецких нефтегазовых компаний предложила Горной академии Фрайберга разработать методику и проанализировать работоспособность основных элементов оснастки обсадной колонны [7] для эффективного крепления горизонтальных скважин с большими отходами от вертикали. С целью имитации скважинных условий и точного воспроизведения рабочих процессов, происходящих при креплении скважины обсадными колоннами, командой ученых под руководством профессора М. Райха было разработано уникальное технологическое оборудование «Trosika» (рисунок 1). Данное оборудование позволяет задавать исходные данные в виде конструкции скважины, геологических и технических условий ее проводки, после чего возможно моделировать скорости, режимы, способы спуска обсадных колонн, степень их заполнения буровой промывочной жидкостью, моделировать осевые и прижимающие усилия при влиянии различных технологических факторов. Особый интерес связан с рабочей камерой, позволяющей моделировать

различные факторы, влияющие на силы сопротивления движению колонны при взаимодействии трех пар: элемента оснастки ОК — металла, элемента оснастки ОК — шероховатой стенки скважины (имитация осаждения шлама в латеральных участках), элемента оснастки ОК — глинистой корки [8].



Рисунок 1. «Trosika», Горная академия Фрайберга

Технологическое оборудование «Trosika» представляет собой закрытую кабину, оснащенную вентиляционной системой, обеспечивающей сотрудникам безопасный доступ к испытательному стенду. Внутри кабины имеется установка, оснащенная замкнутой циркуляционной системой, состоящая из вала и рельса. На вал насаживается обсадная колонна меньшего диаметра, а также закрепляется центратор. На рельс устанавливается обсадная колонна большего диаметра, которая при запуске двигателя перемещается при помощи рельса в осевом направлении со скоростью 0,2 м/с в сторону вала с насаженной обсадной колонной и центратором. Внутренняя обсадная колонна прижимается к внешней при помощи находящегося под рельсом пневмоцилиндра, имитирующего поверхностную сосредоточенную нагрузку, радиальная сила которой достигает 5000 Н. Для выполнения необходимых элементов прецессии, нутации и ротации один из концов вала можно освободить, а другой соединить с опорой вертлюж-

ной петлей, имитируя таким образом фактор пространственного искривления. Под основанием кабины находится комната, в которой размещаются основные элементы циркуляционной системы: танкер с системой подогрева (до 70 °С) и приготовления буровой промывочной жидкости (БПЖ); объемный насос, позволяющий перекачивать высоковязкие жидкости, содержащие грубодисперсные добавки, со скоростью 7 м³/ч; систему отводов с датчиками давления и температуры.

При подсчете коэффициентов трения для ситуаций с различными технико-геологическими условиями и с использованием различных модификаций центраторов и БПЖ применялось известное уравнение Амонтона-Кулона, описывающее силы трения скольжения одного тела по поверхности другого, учитывая коэффициенты трения для данных поверхностей, нормальную составляющую силы прижатия и силы адгезии. Боковое усилие было измерено на пневмоциindre при помощи датчика силы [9]. Измерение осевых усилий и крутящего момента на непрерывно вращающемся вале осуществлялось при помощи тензометрических датчиков.

На предмет поведения и характера трущихся поверхностей исследовались две области: место контакта между наружной поверхностью центратора и внутренней поверхностью внешней обсадной колонны при осевой подаче последней; место контакта между внутренней поверхностью центратора и наружной поверхностью обсадной колонны на валу. В качестве внутренней ОК была взята 114 мм обсадная труба, в качестве внешней ОК — 178 мм обсадная труба, а также 7 различных моделей опорно-центрирующих устройств и 7 видов смазывающих добавок для БПЖ. На машине «Trosika» были протестированы следующие модели центраторов:

- центратор жесткий прямолопастной (из алюминия или полимерного композиционного материала);
- центратор жесткий со спиралевидными ребрами (из алюминия или полимерного композиционного материала);
- центратор жесткий роликовый (из высокопрочной стали);
- центратор жестко-упругий с пружинными планками;
- центратор жесткий спиралевидный с рядами установочных винтов для ограничения вращения;

— центратор жесткий прямолопастной с рядами установочных винтов для ограничения вращения;

— центратор жесткий сварной со спиралевидными ребрами в форме лодки.

Проведенные серии экспериментов позволили распределить модели центраторов в группы по эффективности их применения относительно способа подачи обсадной колонны.

На рисунке 2 представлены графики зависимости скорости осевой подачи жесткого роликового центратора от коэффициента трения в среде БПЖ на углеводородной основе при содержании лубрицирующих добавок в регламентированном количестве. Согласно рисунку 2, обсадная колонна, оснащенная жестким роликовым центратором, движется в осевой подаче в среде БПЖ, насыщенной песком, при фактическом увеличении динамического коэффициента трения. Далее производится имитация крепления в карбонатных породах, колонна проходит раствор, наработанный гипсом, при этом колонна идет с увеличением коэффициента трения. Добавление

песка и гипса в БПЖ производилось с целью имитации осаждения шлама в горизонтальном сечении ствола, так как известно, что неполный вынос шлама — это типичная проблема при бурении скважин с большими отходами, так как часть мелкодисперсного шлама всегда остается в скважине, образуя «шламовую постель» [10]. Далее при добавлении различных лубрицирующих добавок в количестве 1%–2%–3% происходит существенное снижение коэффициента трения, а проверка на эффективность современных керамических добавок Drillbeads приводит к исходным значениям коэффициентов трения. Из 7 видов протестированных лубрицирующих добавок наименьшим показателем фрикционных свойств обладала добавка OB lubricant, что связано с содержащимися в ней нефтепродуктами с длинными углеводородными цепями. Таким образом, выяснено, что коэффициент трения в обсаженной скважине значительно снижается при использовании жесткого роликового центратора в сочетании с добавкой OB lubricant.

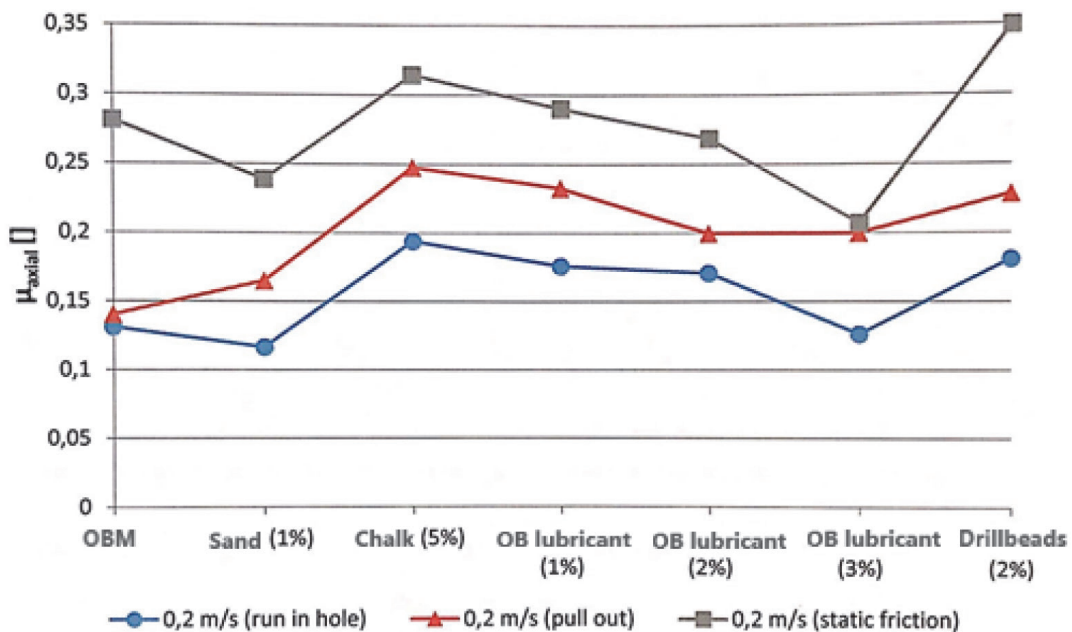


Рисунок 2. Исследование сил сопротивления движению ОК с жестким роликовым центратором

Наилучшие результаты по эффективности применения относительно способа подачи обсадной колонны в скважину продемонстрировал жесткий центратор со спиралевидными ребрами в сочетании с керамическими добавками Drillbeads, снизив в несколько раз коэф-

фициенты трения при подаче колонны в комбинации вращательного и осевого движений.

Центратор жестко-упругий с пружинными планками пригоден в основном для опоры и меньше для центрирования обсадной колонны в вертикальном участке горизонтальной скважины.

Однако в проведенных исследованиях осталась «слепая зона», где происходит необъяснимое поведение колонны на валу. При попадании колонны в среду с «шламовой постелью» происходит нелогичное уменьшение коэффициентов трения, что связывается с некорректным местом установки датчиков на валу. Для детального изучения процессов, происходящих в «слепой зоне», а также характера контакта в момент прижатия элемента обсадной колонны к стенке обсаженной скважины нами производится оснащение вала и пневмоцилиндра датчиками эхосаундер, который позволит нам «прослушать» момент контакта наружной поверхности центратора и внутренней поверхности внешней обсадной колонны при ее осевой подаче; а также момент контакта внутренней поверхности центратора и наружной поверхности обсадной колонны на валу.

В связи с тем, что существующие на сегодня модели центраторов в полной мере не справляются со своими основными функциями, нами ставится задача по усовершенствованию эксплуатационных характеристик опорно-центрирующих элементов обсадных колонн. Достижение поставленной задачи может быть осуществлено заданием центратору необходимых рабочих характеристик, обобщающих достоинства жестких и пружинных центраторов. В качестве решения предлагается, прежде всего, обеспечить центратор функцией транспортного положения при спуске колонны, а также элементами контролируемого регулирования рабочего диаметра при установке в сечениях неправильной формы и достижении полноразмерности при попадании в сечение с кавернами. Для достижения

данной цели разработаны группы с рабочими элементами из трех разных видов материалов, способными автономно выполнять заданные функции. Для обеспечения эффективного удержания веса колонны обсадных труб в наклонном участке скважины одна из групп рабочих элементов будет выполняться из высокопрочной стали.

Результатом модификации опорно-центрирующих элементов на практике должны стать показатели: степени центрирования обсадной колонны, высоты подъема цемента за обсадной колонной, сплошности цементного камня в заколонном пространстве, качества сцепления цементного камня с обсадной колонной.

Выводы

На установке, сконструированной в Горной академии Фрайберга, проведены серии экспериментов, позволившие распределить модели центраторов в группы по эффективности их применения относительно способа подачи обсадной колонны в горизонтальную скважину. Разработана методика по тестированию основных элементов оснастки обсадной колонны при моделировании скважинных условий, приближенных к реальным.

Предложен эхосаундерный способ для исследования поведения обсадной колонны, оснащенной центраторами, при спуске в протяженный латеральный участок горизонтальной скважины, который выполняется на стенде «Trosika».

Разработана модель центратора обсадной колонны, обладающая наиболее эффективными опорно-центрирующими характеристиками одновременно и жестких, и пружинных центраторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левинсон Л.М., Агзамов Ф.А., Конесев В.Г., Мухаметов Ф.Х. Технология бурения горизонтальных скважин. Уфа: Монография, 2019. 318 с.

2. Логачев Ю.Л., Близнюков В.Ю., Хегай В.К., Шехудрин Д.К. Моделирование взаимодействия бурильных труб со стенкам скважины // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 6. С. 81–102. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p81-102_LogatchevYuL_ru.pdf (дата обращения: 05.11.2019).

3. Мухаметов Ф.Х., Левинсон Л.М. Улучшение показателей бурения скважин с большими зенитными углами и горизонтальными участками путем совершенствования КНБК // Матер. 66-й науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: УГНТУ, 2015. С. 42–44.

4. Оксюковский Т., Флорес П., Екич Ж. Технология за Круглым Столом: Цементирование скважин // ROGTEC. 18.04.2017. URL: <https://rogtecmagazine.com/технология-за-круглым-столом-цементи/?lang=ru> (дата обращения: 08.11.2019).

5. Tipton D.S. Oil and Gas Well Cementing. EPA Technical Workshop on Well Construction. Research Triangle Park: Newfield Exploration Company, 2013. 15 p. URL: https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/tipton_0.pdf (дата обращения: 11.11.2019).

6. Кожевников Е.В., Николаев Н.И., Розенцвет А.В., Лырчиков А.А. Опорно-центрирующая оснастка обсадных колонн для крепления боковых стволов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. Т. 14. № 16. С. 54–60. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.6.

7. Gonet A., Stryczek S., Pinka J. Procedure for Arranging Centralizers in Casing String Run into Directional Wells // Acta Montanistica Slovaca. 1998. Vol. 3. Issue 1. P. 24–28.

8. Renpu W. Advanced Well Completion Engineering. Waltham: Elsevier, 2011. 736 p.

9. Bellabarba M. Ensuring Effective Zonal Isolation After the End of the Well // Oilfield Review: Report at the SPE/IADC Drilling Conference. Orlando, Florida, USA. 2008. P. 18–31.

10. Casing Running Techniques for Extended Reach Wells // Citadel Casing Solutions. 2017. URL: <https://www.casingequipment.com/casing-running-techniques-for-extended-reach-wells> (дата обращения: 13.11.2019).

REFERENCES

1. Levinson L.M., Agzamov F.A., Konesev V.G., Mukhametov F.Kh. *Tekhnologiya bureniya gorizontal'nykh skvazhin* [Horizontal Well Drilling Technology]. Ufa, Monografiya Publ., 2019. 318 p. [in Russian].

2. Logachev Yu.L., Bliznyukov V.Yu., Khagai V.K., Shekhudrin D.K. Modelirovanie vzaimodeistviya buril'nykh trub so stenkam skvazhiny [Simulation of the Interaction of Drill Pipe from the Borehole Wall]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» — Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2014, No. 6, pp. 81–102. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p81-102_LogatchevYuL_ru.pdf (accessed 05.11.2019). [in Russian].

3. Mukhametov F.Kh., Levinson L.M. Uluchshenie pokazatelei bureniya skvazhin s bol'shimi zenitnymi uglami i gorizontal'nymi uchastkami putem sovershenstvovaniya KNBK [Improving the Performance of Drilling Wells with Large Zenith Angles and Horizontal Sections by Improving the BHA]. *Materialy 66 nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh UGNTU*

[Proceedings of 63 Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists of USPTU]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 42–44. [in Russian].

4. Oksyukovskii T., Flores P., Ekich Zh. Tekhnologiya za Kruglym Stolom: Tsementirovanie skvazhin [Technology Roundtable: Wellbore Cementing]. ROGTEC. 18.04.2017. Available at: <https://rogtecmagazine.com/tekhnologiya-za-kruglym-stolom-tsementi/?lang=ru> (accessed 08.11.2019). [in Russian].

5. Tipton D.S. Oil and Gas Well Cementing. EPA Technical Workshop on Well Construction. Research Triangle Park, Newfield Exploration Company, 2013. 15 p. URL: https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/tipton_0.pdf (accessed 11.11.2019).

6. Kozhevnikov E.V., Nikolaev N.I., Rozentsvet A.V., Lyrchikov A.A. Oporno-tsentriruyushchaya osnastka obsadnykh kolonn dlya krepleniya bokovykh stvolov [Centering Equipment for Casing Columns in Sidetrack Cementing]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo — Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2015, Vol. 14, No. 16, pp. 54–60. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.6. [in Russian].

7. Gonet A., Stryczek S., Pinka J. Procedure for Arranging Centralizers in Casing String Run into Directional Wells. Acta Montanistica Slovaca, 1998, Vol. 3, Issue 1, pp. 24–28.

8. Renpu W. Advanced Well Completion Engineering. Waltham, Elsevier, 2011. 736 p.

9. Bellabarba M. Ensuring Effective Zonal Isolation after the End of the Well. Report at the SPE/IADC Drilling Conference «Oilfield Review». Orlando, Florida, USA, 2008, pp. 18–31.

10. Casing Running Techniques for Extended Reach Wells. Citadel Casing Solutions. 2017. Available at: <https://www.casingequipment.com/casing-running-techniques-for-extended-reach-wells> (accessed 13.11.2019).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Исмаилова Эльвира Римовна, магистр нефтегазового дела (Великобритания), аспирант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Elvira Ismagilova, MSc in Petroleum and Gas Engineering (UK), PhD candidate at Oil and Gas Wells Drilling Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

e-mail: Yusupova_elvira@mail.ru

Матиас Райх, д-р техн. наук, профессор Института технологий бурения и добычи нефти, Горная академия Фрайберга, г. Фрайберг, Германия

Matthias Reich, Prof. Dr.-Ing., Professor for Drilling Engineering, Institute of Drilling Engineering and Fluid Mining, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany