DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.6

УДК 622.245.48

© Кожевников Е.В., Николаев Н.И.,
Розенцвет А.В., Лырчиков А.А., 2015

ОПОРНО-ЦЕНТРИРУЮЩАЯ ОСНАСТКА ОБСАДНЫХ КОЛОНН ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ БОКОВЫХ СТОЛОВ

Е.В. Кожевников, Н.И. Николаев, А.В. Розенцвет, А.А. Лырчиков

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, Россия

На сегодняшний день строительство скважин и боковых стволов с наклонными и горизонтальными участками обеспечивает достижение высоких показателей разработки месторождений нефти и газа с наименьшими экономическими издержками. Строительство скважины подразумевает создание надежного и долговечного канала связи продуктивного пласта с земной поверхностью, поэтому при строительстве должна обеспечиваться полная ее герметичность. Для этого используются различные способы крепления, самым распространенным из которых является цементирование. Суть цементирования скважин заключается в продажке специальных тампонажных смесей в затрубное пространство. Качество цементирования зависит от многих факторов, таких как: свойства тампонажного и бурового растворов, наличие глинистой корки на стенках скважины и обсадной колонны, степень замещения бурового раствора и др. Для обеспечения высокого качества цементирования скважин, а следовательно, создания герметичного цементного кольца необходимо, чтобы после окончания операции цементирования в затрубном пространстве находился только тампонажный раствор. Регулирование реологических характеристик используемых технологических жидкостей позволяет в известной степени повысить качество крепления скважины, однако даже при благоприятных условиях в случае эксцентричного расположения обсадной колонны в скважине могут образовываться застойные зоны, характеризующиеся полным отсутствием тампонажного раствора. Степень центрации обсадной колонны оказывает значительное влияние на конечное качество цементирования скважины, особенно это проявляется в скважинах, профиль которых осложнен наличием наклонных и горизонтальных участков. Для центрирования колонн в скважине, а также для турбулизации восходящего потока жидкости используется специальная наружная оснастка – центраторы и турбулизаторы. В статье приведен обзор существующих конструкций центрирующих и турбулизирующих устройств, применяемых для строительства скважин, а также даны рекомендации по совершенствованию их конструкций, обеспечивающих повышение качества цементирования скважин и боковых стволов с наклонными и горизонтальными участками.

Ключевые слова: цементирование, горизонтальные скважины, боковые стволы, тампонажный раствор, центратор, продуктивность скважины, гидроразрыв пласта, турбулизатор, затрубное пространство, обсадная колонна, эксцентриситет, турбулентный поток, застойные зоны, буровой раствор, крепление скважин.

CENTERING EQUIPMENT FOR CASING COLUMNS IN SIDETRACK CEMENTING

E.V. Kozhevnikov, N.I. Nikolaev, A.V. Rozentsvet, A.A. Lyrchikov

National Mineral Resources University (University of Mines),
Saint Petersburg, Russian Federation

At present construction of wells and sidetracks with inclined and horizontal sections ensures high performance in developing oil and gas deposits with lesser financial resources. Well construction implies building a reliable and long-lasting channel between productive strata and the ground surface, hence structural integrity should be assured. To achieve this different methods of well casing are applied, of which cementing is the most wide-spread. Cementing involves injection of grouting compounds into the annulus. The quality of this operation is determined by properties of cement and drilling fluid, formation of mud cake on the walls of the well and casing column, drilling fluid substitution degree etc. In order to perform high quality cementing and form a sealed cement sheath cement slurry only should be present in the annulus at the final stage. Adjustment of rheologic parameters of the liquids allows to improve well casing, although even under favorable conditions off-center positioning of the casing column may cause stall zones to appear without any cement slurry. Thus, stand-off of the casing column conditions significantly the final cementing quality, especially in wells with an inclined and horizontal profile. To center the column and turbulize the up-flow special equipment is required, e.g. centralizers and turbulizers. The paper reviews the existing design of centralizers and turbulizers exploited in well construction and gives some recommendations regarding design improvement to better quality of cementing wells and sidetracks with inclined and horizontal parts.

Keywords: cementing, horizontal wells, sidetrack, cement slurry, centralizer, well productivity, hydraulic fracturing, turbulizer, annulus, casing column, excentricity, transverse current, stall zone, drilling fluid, well casing.

Для достижения высокого качества крепления скважин требуется наиболее полное вытеснение бурового раствора тампонажным. Исследования М.О. Ашрафьяна показывают, что при эксцентричном расположении обсадной колонны в скважине замещение растворов существенно затрудняется ввиду возникновения зон с пониженной скоростью течения жидкости [1]. В результате образования неравномерного фронта вытеснения за обсадной колонной могут оставаться места без тампонажного раствора, происходит его загрязнение ввиду увеличения зоны смещения [2].

Опорно-центрирующие устройства

Для центрации обсадной колонны в скважине используются специальные опорно-центрирующие устройства – центраторы. Центраторы могут быть жесткими и пружинными, изготовленными из металла или полимерными [3].

Рис. 1. Упругие центраторы: *а* – неразъемный; *б* – разъемный; *в* – жестко-упругий с трапециевидными выступами

Упругие центраторы (рис. 1) предназначены для центрирования обсадных колонн в вертикальных и слабоискривленных (до 15–20°) скважинах. К недостаткам данных центраторов можно отнести то, что их нельзя использовать в скважинах с горизонтальными участками, также высока вероятность их смятия в условиях малого сечения бокового ствола скважин [4, 5]. На сегодняшний день наиболее широкое применение нашли

жесткие центраторы [6]. Благодаря жесткой конструкции их применение возможно в условиях скважин с наклонными и горизонтальными участками. Центраторы могут быть как литыми, так и сварными, а также иметь ролики на ребрах для уменьшения силы трения при спуске обсадной колонны (рис. 2).

Рис. 2. Жесткие центраторы

Главным недостатком жестких центраторов является возможность их заклинивания в местах сужения скважины и, как следствие, посадки обсадной колонны. В связи с этим производители рекомендуют, чтобы наружный диаметр по образующей ребра жесткого центратора был меньше внутреннего диаметра скважины не менее чем на 5 мм [7], в резуль-

тате чего снижается степень центрации колонны в скважине.

Исследованиями Щелкачева, Гулизда и Гродде было показано, что при прочих равных условиях ламинарный режим течения жидкости в условии эксцентричного расположения обсадной колонны в скважине сохраняется при скоростях потока, в несколько раз превышающих скорость движения жидкости в зазоре концентрично расположенных труб.

Так, для боковых стволов диаметром 124 мм рекомендуемый размер центратора 119 мм, даже при его наличии степень центрации обсадной колонны становится менее 80 % по API (рис. 3).

Из методики корректировки скорости потока [8] в зависимости от степени центрации обсадной колонны (см. рис. 3) видно, что для обеспечения турбулентного потока при степени центрации обсадной колонны 80 % необходимо увеличить скорость закачки более чем в 1,5 раза, однако следует учитывать, что такая степень центрирования достигается только в зоне установки центратора, а по мере удаления от него центрация еще

больше уменьшается. На степень центрирования обсадной колонны также влияет наличие перегибов ствола скважины.

В инструкции по креплению скважин [9] указано, что величина эксцентриситета обсадной колонны в любой точке не должна превышать $\varepsilon = 0,33(D - d)/2$, где D, d – соответственно осредненный диаметр ствола скважины и наружный диаметр обсадных труб в рассматриваемой точке. При диаметрах скважины и обсадной колонны 124 и 102 мм максимально допустимое отклонение будет составлять 3,63 мм, тогда как из-за конструктивных особенностей изначальное отклонение 2,5 мм. Вследствие этого размеры проходных сечений между обсадной трубой, верхней и нижней стенками скважины отличаются друг от друга более чем в два раза (рис. 4). В результате возникновения дополнительных местных гидравлических сопротивлений ухудшается вытеснение бурового раствора за центратором, что приводит к образованию застойных зон и некачественному цементированию [10, 11].

Рис. 3. Корректировка скорости потока для обеспечения турбулентного потока при эксцентричном положении обсадной колонны

Рис. 4. Положение центратора и обсадной трубы в скважине

Турбулизирующие устройства

Такое устройство представляет собой трубу, на внешней поверхности которой по винтовой линии размещены лопасти (рис. 5). Количество лопастей может меняться в зависимости от диаметра спускаемой обсадной колонны.

Рис. 5. Турбулизатор

Турбулизаторы применяются для завихрения восходящего потока тампонажного раствора в затрубном пространстве при цементировании скважины, устанавливаются на обсадной колонне. Турбулизаторы рекомендуется размещать против границ зон расширений ствола скважины на расстоянии не более 3 м друг от друга. Лопасти турбулизатора могут быть выполнены как из резины, так и металла. На обсадной колонне тур-

булизаторы закрепляются при помощи специальных винтов или стопорных колец.

Помимо обычных центраторов, на практике широкое применение нашли опорно-центрирующие турбулизирующие устройства [12]. Данные устройства представляют собой жесткие центраторы, лопасти которых направлены по винтовой линии (рис. 6). На сегодняшний день на рынке нефтегазового оборудования представлено огромное количество модификаций жестких центраторов-турбулизаторов, они могут быть изготовлены как из металла, так и полимерных материалов, а также иметь ролики для снижения сил трения при спуске колонны в скважину. Применение роликовых устройств особенно необходимо при спуске обсадных колонн в неглубокие скважины с большими горизонтальными проложениями, где применение обычных центраторов затруднено в связи с высокими значениями сил трения о стенки скважины [13, 14].

Главными недостатками жестких центраторов-турбулизаторов являются недостаточная степень центрации, вероятность заклинивания при спуске обсадной колонны, низкие страгивающие на-

грузки, а также возникновение местных сопротивлений потоку жидкости ввиду уменьшения диаметра проходного сечения в зоне установки центратора.

Рис. 6. Жесткие центраторы-турбулизаторы

Для решения данных проблем компанией «Теско» (США) была разработана технология выдавливания турбулизи-

рующих винтовых ребер на теле обсадной трубы (рис. 7) [15].

Рис. 7. Выпрессовывание винтовых ребер на теле трубы

Данная технология позволяет создавать неограниченное количество центрирующе-турбулизирующих устройств на одной трубе. В результате решаются проблемы, связанные с уменьшением проходного сечения в месте установки центратора, а так как центратор изготавливается непосредственно из трубы, отпадает необходимость в учете влияния страгивающих нагрузок. Однако данная конструкция не позволяет использовать роликовые устройства для снижения сил трения, также снижается прочность обсадной трубы.

Проанализировав существующие конструкции центрирующих и турбулизирующих устройств, можно сделать следующие выводы:

1. При условии малых кольцевых зазоров применение существующих жестких центраторов-турбулизаторов не всегда позволяет добиться высокой степени центрирования колонны, а следовательно, качества цементирования.

2. Существует необходимость в разработке новой конструкции опорно-центрирующих и турбулизирующих устройств, позволяющих без уменьшения проходного сечения повысить степень центрации обсадной колонны, а также уменьшить силу трения при спуске ее в скважину.

Список литературы

1. Формирование потока вязко-пластичной жидкости в затрубном пространстве скважины / М.О. Ашрафьян, А.И. Булатов, Г.А. Еремин, Е.А. Нелепин // Нефтяное хозяйство. – 1970. – № 11. – С. 22–28.
2. Ашрафьян М.О., Булатов А.И. Влияние технологических факторов на качество цементирования скважин / Все-рос. науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегаз. пром-ти. – М., 2000. – 55 с.
3. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. – 679 с.
4. Шацкий И.П., Билецкий Я.С., Витвицкий И.И. Двусторонние оценки жесткости и прочности центратора обсадной колонны // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2014. – № 1. – С. 68–73.
5. Пружинные сварные центраторы нового поколения для обсадных колонн нефтяных и газовых скважин / А.К. Дудалов [и др.] // Бурение и нефть. – 2008. – № 9. – С. 56–59.
6. Совершенствование конструкции и системы закрепления жестких центраторов к трубам обсадной колонны / И.С. Катеев [и др.] // Бурение и нефть. – 2008. – № 4. – С. 50–52.
7. Разработка, изготовление и использование жестких центраторов для наружной оснастки обсадных колонн / Р.И. Катеев [и др.] // Бурение и нефть. – 2006. – № 10. – С. 24–25.
8. Официальный сайт компании Schlumberger [Электронный ресурс]. – URL: http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia97/aut97/seamless.pdf (дата обращения: 27.04.2015).
9. Инструкция по креплению нефтяных и газовых скважин (РД 39-00147001-767–2000). – М.: Просвещение-Юг, 2000. – 278 с.
10. Лихущин А.М. Анализ промысловых исследований движения столба тампонажного раствора в колонне обсадных труб // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – № 9. – С. 51–54.
11. Liu G., Weber L.D. Centralizer selection and placement optimization // SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, 20–21 June. Galveston, 2012. – 150345-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/150345-MS
12. Peckins O., Akhiden M., Faugeras H. New centralizers improve horizontal well cementing by 100 % over conventional centralizers in the niger delta basin // SPE Production and Operations Symposium, 24–27 March. Oklahoma City, 2001. 67197-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/67197-MS
13. Ашрафьян М.О., Нижник А.Е. Оценка возможности вращения и расхаживания обсадных колонн при цементировании скважин // Бурение и нефть. – 2011. – № 9. – С. 19–23.
14. Kinzel H., Colvard R.L. Reduce torque, drag and wear – material selection for centralizers used in highly inclined and horizontal wells // IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology, 7–9 September. Jakarta, 1998. – 47804-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/47804-MS
15. Официальный сайт компании TescoCorp [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tescocorp.com/data/1/rec_docs/875_65500e_Hydro-Form_Centralizers_RevF.pdf (дата обращения: 24.04.2015).

References

1. Ashraf'ian M.O., Bulatov A.I., Eremin G.A., Nelepin E.A. Formirovanie potoka viazko-plastichnoi zhidkosti v zatrubnom prostranstve skvazhiny [Formation of viscous-plastic fluid flow in the well annulus]. *Neftianoe khoziaistvo*, 1970, no. 11, pp. 22–28.
2. Ashraf'ian M.O., Bulatov A.I. Vliianie tekhnologicheskikh faktorov na kachestvo tsementirovaniia skvazhin [Influence of technological factors on well cementing quality]. Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut organizatsii, upravleniia i ekonomiki neftegazovoi promyshlennosti, 2000. 55 p.
3. Basarygin Iu.M., Bulatov A.I., Proselkov Iu.M. Tekhnologiya bureniia neftiannykh i gazovykh skvazhin [Oil and gas well drilling technology workbook]. Moscow: Nedra-Biznestsentr, 2001. 679 p.
4. Shatskii I.P., Biletskii Ia.S., Vitvitskii I.I. Dvustoronnie otsenki zhestkosti i prochnosti tsentratora obsadnoi kolonny [Two-way estimates of rigidity and reliability of casing column centralizers]. *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 68–73.
5. Dudalov A.K. [et al.]. Pруzhinnye svarynye tsentratory novogo pokoleniia dlia obsadnykh kolonn neftiannykh i gazovykh skvazhin [New generation bow springs centralizers for casing columns of oil and gas wells]. *Burenie i nef't*, 2008, no. 9, pp. 56–59.
6. Katееv I.S. [et al.]. Sovershenstvovanie konstruktсии i sistemy zakrepleniia zhestkikh tsentratorov k trubam obsadnoi kolonny [Improvement of construction and system of fixing positive centralizers on casing column]. *Burenie i nef't*, 2008, no. 4, pp. 50–52.
7. Katееv R.I. [et al.]. Razrabotka, izgotovlenie i ispol'zovanie zhestkikh tsentratorov dlia naruzhnoi osnastki obsadnykh kolonn [Development, manufacturing and exploitation of positive centralizers for casing columns]. *Burenie i nef't*, 2006, no. 10, pp. 24–25.
8. Ofitsial'nyi sait kompanii Schlumberger [Schlumberger official website], available at: http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia97/aut97/seamless.pdf (accessed 27 April 2015).
9. RD 39-00147001-767–2000. Instruktсия po krepleniiu neftiannykh i gazovykh skvazhin [Instruction for oil and gas well casing (RD 39-00147001-767–2000)]. Moscow: Prosveshchenie-Iug, 2000. 278 p.
10. Likhushin A.M. Analiz promyslovyykh issledovaniy dvizheniia stolba tamponazhnogo rastvora v kolonne obsadnykh trub [Analysis of field studies of cement slurry movement inside casing column]. *Stroitel'stvo neftiannykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2011, no. 9, pp. 51–54.
11. Liu G., Weber L.D. Centralizer selection and placement optimization. *SPE Deepwater Drilling and Completions Conference*, 20–21 June. Galveston, 2012. 150345-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/150345-MS
12. Peckins O., Akhiden M., Faugeras H. New centralizers improve horizontal well cementing by 100% over conventional centralizers in the niger delta basin. *SPE Production and Operations Symposium*, 24–27 March. Oklahoma City, 2001. 67197-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/67197-MS
13. Ashraf'ian M.O., Nizhnik A.E. Otsenka vozmozhnosti vrashcheniia i raskhazhivaniia obsadnykh kolonn pri tsementirovaniia skvazhin [Assessment of casing column rotation and reciprocation in well casing]. *Burenie i nef't*, 2011, no. 9, pp. 19–23.

14. Kinzel H., Colvard R.L. Reduce torque, drag and wear – material selection for centralizers used in highly inclined and horizontal wells. *IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology*, 7-9 September. Jakarta, 1998. 47804-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/47804-MS

15. Официальный сайт компании TescoCorp [TescoCorp official website], available at: http://www.tescocorp.com/data/1/rec_docs/875_65500e_Hydro-Form_Centralizers_RevF.pdf (accessed 24 April 2015).

Об авторах

Кожевников Евгений Васильевич (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры бурения скважин Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: kozhevnikov_evvg@mail.ru).

Николаев Николай Иванович (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры бурения скважин Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: nikinik@mail.ru).

Розенцвет Александр Викторович (Санкт-Петербург, Россия) – Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: sasharozencvet@mail.ru).

Лырчиков Александр Алексеевич (Санкт-Петербург, Россия) – Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: spider16121993@yandex.ru).

About the authors

Evgenii V. Kozhevnikov (Saint Petersburg, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Well Drilling, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevsky island, 2; e-mail: kozhevnikov_evvg@mail.ru).

Nikolai I. Nikolaev (Saint Petersburg, Russian Federation) – Doctor Of Technical Sciences, Professor, Department Of Well Drilling, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevsky island, 2; e-mail: nikinik@mail.ru).

Aleksandr V. Rozentsvet (Saint Petersburg, Russian Federation) – National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevsky island, 2; e-mail: sasharozencvet@mail.ru).

Aleksandr A. Lyrchikov (Saint Petersburg, Russian Federation) – National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevsky island, 2; e-mail: spider16121993@yandex.ru).

Получено 09.04.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

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

Please cite this article in English as:

Kozhevnikov E.V., Nikolaev N.I., Rozentsvet A.V., Lyrchikov A.A. Entering equipment for casing columns in sidetrack cementing. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 16, pp. 54-60. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.6