

Моделирование центратора-турбулизатора

*Д.Р. Набиуллин, А.А. Дьяконов, Л.Б. Хузина
Альметьевский государственный технологический университет
«Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия*

В работе представлены результаты моделирования центратора-турбулизатора, разработанного на Кафедре бурения нефтяных и газовых скважин Альметьевского государственного технологического университета. Разработка устройства была направлена на решение одной из ключевых проблем строительства нефтяных и газовых скважин с наклонно-направленными и горизонтальными участками – сокращение непроизводительного времени, связанного с ликвидацией осложнений и аварий в процессе бурения.

В ходе проектирования центратора было выполнено моделирование течения промывочной жидкости для девяти наиболее распространённых профилей устройства. По результатам исследований установлено, что максимальная скорость потока достигается в центральной части центратора. Применение моделирования позволяет заранее определять необходимые конструктивные и гидродинамические характеристики устройства, что способствует снижению материальных затрат на разработку и создание прототипов.

Разработанный центратор-турбулизатор формирует интенсивный турбулентный поток промывочной жидкости с высокой частотой и амплитудой локальных пульсаций скорости. Такой режим течения препятствует оседанию шлама на стенках скважины и, как следствие, снижает вероятность механических прихватов. Уменьшение числа подобных осложнений позволяет сократить непроизводительное время при строительстве скважин и повысить экономическую эффективность нефтесервисных компаний.

Ключевые слова: бурение скважины, центратор-турбулизатор, турбулентный поток, очистка скважины.

Для цитирования: Набиуллин Д.Р., Дьяконов А.А., Хузина Л.Б. (2026). Моделирование центратора-турбулизатора. Трудноизвлекаемые запасы, 1(2), с. 30-33.

Modeling of a centralizer-turbulator

*D.R. Nabiullin, A.A. Dyakonov, L.B. Khuzina
Almetyevsk State Technological University «Petroleum higher school»
Almetyevsk, Russian Federation*

This paper presents the results of modeling a centralizer-turbulator developed at the Department of oil and gas well drilling at Almetyevsk state technological university. The device was developed to address one of the key challenges in the construction of oil and gas wells with deviated and horizontal sections: reducing non-productive time associated with the elimination of complications and accidents during drilling.

During the centralizer design, drilling fluid flow modeling was performed for nine of the most common device profiles. The study revealed that the maximum flow velocity is achieved in the centralizer's central section. The use of modeling allows for the pre-determination of the necessary design and hydrodynamic characteristics of the device, which helps reduce development and prototyping costs.

The developed centralizer-turbulator generates an intense turbulent drilling fluid flow with high frequency and amplitude of local velocity pulsations. This flow regime prevents cuttings from settling on the wellbore walls and, consequently, reduces the likelihood of mechanical sticking. Reducing the number of such complications allows for a reduction in non-productive time during well construction and increases the economic efficiency of oilfield service companies.

Keywords: well drilling, centralizer-turbulator, turbulent flow, well cleaning.

Recommended citation: Nabiullin D.R., Dyakonov A.A., Khuzina L.B. (2026). Modeling of a centralizer-turbulator. Hard-to-recover reserves, 1(2), pp. 30-33.

Введение

Согласно энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года одной из основных целей развития энергетики является обеспечение энергетической безопасности, технологического суверенитета и конкурентоспособности отраслей топливно-энергетического комплекса. Также ставится вопрос об острой необходимости опережающего создания и оперативного внедрения передовых российских технологий добычи углеводородного сырья. На сегодняшний день одним из векторов рационального использования нефтегазовых месторождений является строительство наклонно-направленных скважин, в том числе с горизонтальным окончанием ствола. Активное развитие этого направления в России

связано с разработкой длительно эксплуатируемых месторождений, имеющих послойную и зональную неоднородность, для которых наиболее эффективная выработка запасов нефти возможна только путем строительства горизонтальных скважин. Результаты эксплуатации однозначно показали эффективность бурения таких скважин благодаря кратному повышению производительности. Строительство нефтяных скважин сопряжено со значительными трудностями, такими как затяжки, прихваты и другие осложнения, вызванные скоплением шлама, поэтому качественная очистка ствола является приоритетной задачей при бурении.

В ранее проведенных исследованиях по очистке ствола скважины (Акбулатов и др., 2005; Балаба В. И.

и др., 2015, Добик Ю.А., 2017) выявлено, что снижение показателей работы долота с ростом глубины скважины связано с ухудшением условий очистки от выбуренной породы. В этом случае необходимо, чтобы промывка забоя скважины была совершенной, под которой понимается беспрепятственное удаление шлама из призабойной зоны. Качественная очистка ствола скважины является одним из основных факторов успешного строительства наклонно направленных скважин.

Проведённые ранее исследования позволяют сделать вывод, что одним из показателей высокого качества очистки скважины от шлама является наличие турбулентного потока в затрубном пространстве. Российскими исследователями, а также компаниями разрабатывается множество разнообразных устройств (Хохлов А.Л. и др., 2017), которые могут создать турбулентный поток жидкости. Однако при всем разнообразии конструкций и различной эффективности существующих технических решений для улучшения очистки ствола скважины на сегодняшний день не существует универсального решения данной проблемы и необходимы дальнейшие исследования.

Материалы и методы

На кафедре БНГС АГТУ ВШН разработано техническое решение проблемы выноса шлама с наклонно-направленных и горизонтальных участков ствола скважины в виде запатентованного (Набиуллин Д.Р. и др., 2022) центратора-турбулизатора (рис. 1), состоящего из полого корпуса в виде двух втулок, расположенных последовательно друг за другом и имеющих разнонаправленные лопасти. Верхняя втулка (2) может вращаться относительно нижней (1), которая крепится (5) неподвижно на бурильную колонну (4). Буровой раствор, проходя через нижнюю втулку, меняет направление вправо и поступает на верхнюю втулку, в которой меняет направление влево, что приводит к турбулизации восходящего по-

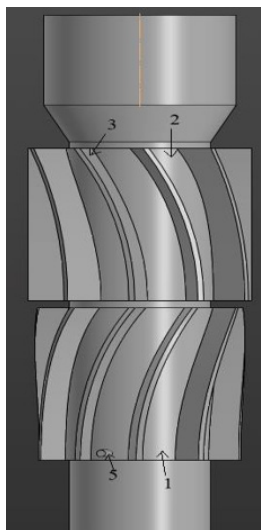


Рис. 1. Общий вид центратора-турбулизатора

тока, вследствие чего частицы шлама, находящиеся в потоке, интенсивно перемешиваются, что обеспечивает предотвращение возникновения зон скопления шлама.

В рамках данной работы рассмотрен набор типовых геометрических профилей центраторов с позиций степени выраженности турбулентного потока промывочной жидкости. На первом этапе исследований были проведены работы по созданию геометрических образов центратора – упрощенных моделей для теоретического анализа и детальные твердотельные модели, созданные с использованием систем автоматизированного проектирования, а также с учетом ранее проведенных исследований в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (Gelfgat, Y.A. и др., 2003). Создан набор профилей лопастей вращающегося колеса. В него входит 9 различных видов, соответствующих отдельно принятым в индустрии стандартам, а также их модифицированным версиям. Схема с профилями показана на рисунке 2. В данном наборе представлено 5 типов зубьев с различными профилями: шевронный, с переменной толщиной (1, 2), периодический (3, 6), дуговой профиль (4, 5), косозубый (7, 8), а также профиль с прямым зубом (9).

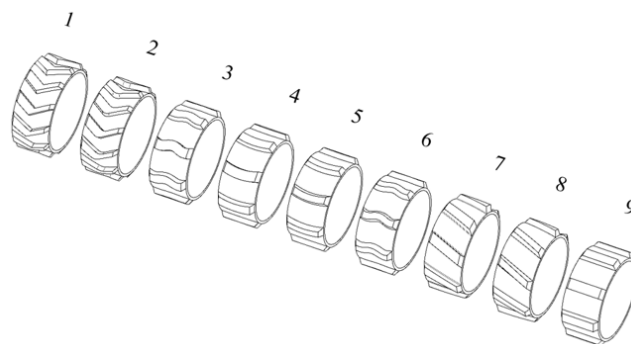


Рис. 2. Варианты профилей для центратора-турбулизатора

Сравнительный анализ результатов, полученных теоретическим методом для центраторов различной геометрии, позволил выделить профили, соответствующие максимальным значениям средней скорости потока жидкости до $5 \text{ м}^3/\text{с}$ и числа Рейнольдса до 25 тыс. Обоснована наибольшая турбулизирующая способность центратора с профилем 8 на качественном уровне исходя из пика нормированного числа Рейнольдса (рис. 2).

Результаты

Изменение направления потока существенно повышает турбулизирующую способность предложенного центратора-турбулизатора для бурильных труб за счёт увеличения локального числа Рейнольдса в области низкой турбулентности потока от 1200 до 5000 между частями центратора и повышения максимальной энергии турбулентного потока почти на два порядка – с $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}^2$ до $2 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2/\text{с}^2$ (рис. 4).

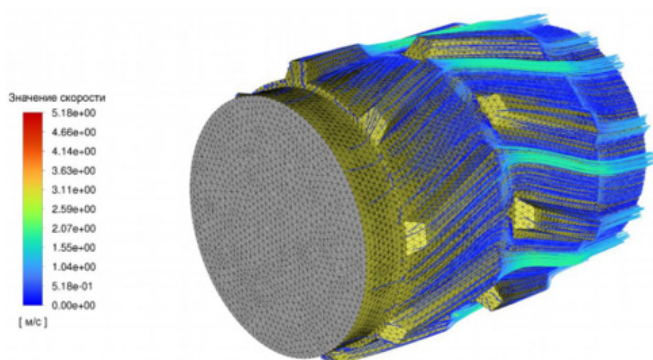


Рис. 3. Пример результата моделирования потока промывочной жидкости

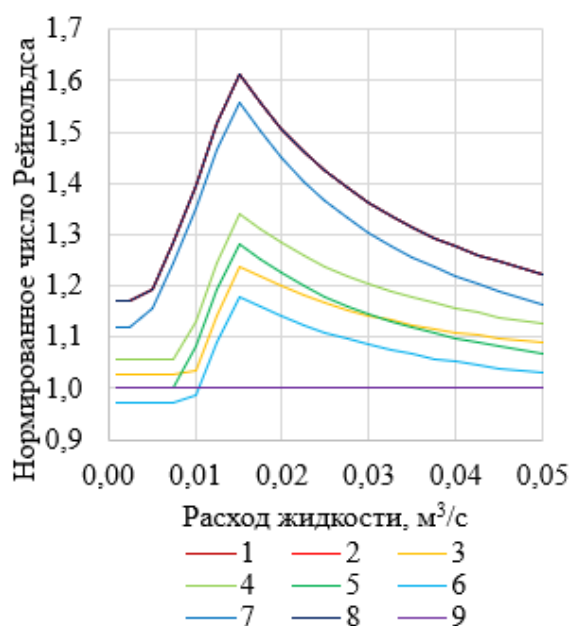
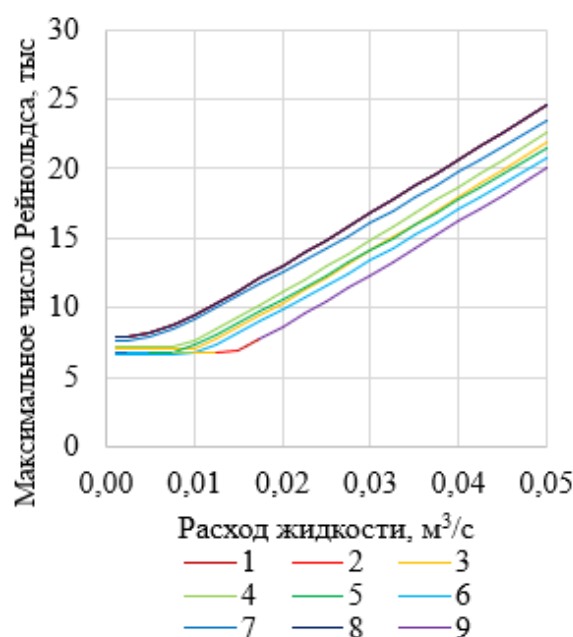


Рис. 4. Максимальное число Рейнольдса в зависимости от расхода и профиля центратора-турбулизатора

Подтверждена согласованность теоретических и численных сравнительных оценок турбулизирующей способности центраторов различных геометрий (Набиуллин Д.Р. и др., 2024). Определена зависимость числа Рейнольдса, амплитуды потока, амплитуда и частота пульсаций скорости как функция геометрии центратора и расхода промывочной жидкости.

Согласно теоретическим построениям:

1. Турбулизирующая способность технологии гидромеханической очистки от шлама наклонно-направленных участков скважины центратором-турбулизатором для бурильных труб с вращающимся элементом максимальна для центраторов с профилями 1, 2, 7, 8. Профиль 8 значимым образом выделяется в индикаторе в зависимости амплитуды турбулентного потока от расхода жидкости (рис. 3).
2. Теоретические построения позволяют оценить и обосновать высокую турбулизирующую способность центратора с профилем 8.
3. Разработана технология гидромеханической очистки от шлама наклонно-направленных участков скважины, основанная на создании турбулентности потока бурового раствора за счет использования центратора-турбулизатора с углом между лопастями подвижного элемента и направлением потока промывочной жидкости ($\beta = 30^\circ$) при количестве лопастей $N = 12$, который является оптимальным при расходе промывочной жидкости до $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$, что способствует повышению надежности и эффективности процесса бурения.

Выводы

Технология основана на создании развитого турбулентного потока жидкости разработанным и запатентованным центратором-турбулизатором для бурильных труб с вращающимся элементом, предотвращающим скопление шлама на наклонно-направленных участках скважины.

Перспективы дальнейшего развития темы в области улучшения качества очистки наклонно-направленных и горизонтальных участков профиля скважины от выбуренной горной породы заключаются в разработке цифрового двойника КНБК, в составе которого находится центратор-турбулизатор для бурильных труб с вращающимся элементом, а также в изучении ранее не рассмотренных гидродинамических эффектов, позволяющих повысить качество проводимых исследований.

Список литературы

1. Акбулатов Т.О., Хабибуллин И.А., Левинсон Л.М. (2005). Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Повышение качества строительства скважин», с. 113–115.

2. Балаба В.И., Зинченко О.Д. (2015). Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 3, с. 23–27.
3. Добик Ю.А. (2017). Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 1, с. 16–20.
4. Патент на полезную модель № 215132 U1 Российская Федерация, МПК E21B 17/10 (2006.01), СПК E21B 17/10 (2022.08). Центратор-турбулизатор для бурильных труб: № 2022122924; заявлено: 25.08.2022; опубликовано: 30.11.2022 / Бабичев И.Н., Дьяконов А.А., Хузина Л.Б. Набиуллин Д.Р., Хузин Б.А.; патентообладатель: Государственное бюджетное образовательное учреждение «Альметьевский государственный нефтяной институт».
5. Хохлов А.Л., Епихин А.В. (2017). Тезисы конференции «Проблемы геологии и освоения недр», с. 549–551.
6. Набиуллин Д.Р., Дьяконов А.А., Хузина Л.Б. (2024). Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 375 (3), с. 10–16.
7. Gelfgat Y.A., Gelfgat M.Y., Lopatin Y.S. (2003). Well drilling optimization methods in the FSU, p. 199–291.

Сведения об авторах

Набиуллин Динар Рамилевич – кандидат тех. наук, ассистент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186а

e-mail: d.nabiullin@agni-rt.ru

Дьяконов Александр Анатольевич – доктор тех. наук, профессор, ректор, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186а

e-mail: dyakonovaa@agni-rt.ru

Хузина Лилия Булатовна – доктор тех. наук, профессор, заведующий кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186а

e-mail: lbhuzina@agni-rt.ru

References

1. Akbulatov T.O., Khabibullin I.A., Levinson L.M.

(2005). Collection of scientific papers of the international scientific and technical conference «Improving the quality of well construction», p. 113–115.

2. Balaba V.I., Zinchenko O.D. (2015). Equipment and technologies for the oil and gas complex, 3, p. 23–27.
3. Dobik Yu.A. (2017). Construction of oil and gas wells on land and offshore, 1, p. 16–20.
4. Patent for utility model No. 215132 U1 Russian Federation, IPC E21B 17/10 (2006.01), SPC E21B 17/10 (2022.08). Centralizer-turbulator for drill pipes: No. 2022122924; declared: 25.08.2022; published: 30.11.2022 / Babichev I.N., Dyakonov A.A., Khuzina L.B. Nabiullin D.R., Khuzin B.A.; patent holder: State Budgetary Educational Institution «Almetyevsk State Oil Institute».
5. Khokhlov A.L., Epikhin A.V. (2017). Abstracts of the conference «Problems of Geology and Subsoil Development», pp. 549–551.
6. Nabiullin D.R., Dyakonov A.A., Khuzina L.B. (2024). Construction of oil and gas wells on land and at sea, 375 (3), pp. 10–16.
7. Gelfgat Y.A., Gelfgat M.Y., Lopatin Y.S. (2003). Well drilling optimization methods in the FSU, p. 199–291.

About the authors

Nabiullin Dinar Ramilevich – Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Drilling of Oil and Gas Wells, Almetyevsk State Technological University «Higher School of Oil»
186a Sovetskaya str., Almetyevsk, 423462, Russian Federation

e-mail: d.nabiullin@agni-rt.ru

Dyakonov Alexander Anatolyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Almetyevsk State Technological University «Higher School of Oil»

186a Sovetskaya str., Almetyevsk, 423462, Russian Federation

e-mail: dyakonovaa@agni-rt.ru

Khuzina Liliya Bulatovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Drilling of Oil and Gas Wells, Almetyevsk State Technological University «Higher School of Oil»

186a Sovetskaya str., Almetyevsk, 423462, Russian Federation

e-mail: lbhuzina@agni-rt.ru

Статья поступила в редакцию 28.05.2026;

Принята к публикации 24.06.2026;

Опубликована 30.06.2026