

# Разработка отечественных роторно-управляемых систем

Петров М.В., Капитонов В.А., Ефимов А.В.

ООО «СамараНИПнефть», Самара, Россия. ФГБОУ ВО «Самарский ГТУ», Самара, Россия  
petrovmv@samnpi.rosneft.ru

## Аннотация

Усложнение структуры извлекаемых запасов, проблемы с поверхностным обустройством, повышение эффективности системы разработки, включая применение многостадийных ГПП, и другие современные вызовы делают строительство скважин с большим отходом от вертикали безальтернативным. В связи с этим реализация требуемой траектории скважин возможна только с применением роторно-управляемых систем (Rotary Steerable System). В статье рассмотрены виды РУС и дается краткое описание принципа их работы. Приводится обоснование необходимости технологической независимости отечественного топливно-энергетического комплекса в части высокотехнологичного бурения. Выполнен обзор состояния отечественного производства РУС. Так как весь мир претерпевает четвертую индустриальную революцию, то для конкурентоспособности наша страна не должна отставать от внедрения информационных технологий во все сферы деятельности, включая активно развивающуюся отрасль производства РУС.

## Материалы и методы

Роторно-управляемые системы (РУС) позволяют управлять траекторией скважины и незаменимы при проводке многостольных и горизонтальных скважин. Первые РУС начали применять в 90-х годах. В настоящее время в мире выпускаются РУС трех типов. В России в рамках импортозамещения интенсифицированы разработки и производство собственных роторно-управляемых систем.

## Ключевые слова

Rotary Steerable System (RSS), Push the bit, Point the bit, Continuous Proportional Steering, моторизованные роторные управляемые системы, гибридные роторные управляемые системы, РУС 120-GT, РУК-8.75 БС, РУС-ГМ-195, PowerDrive X6, планирование траектории скважины в процессе бурения

## Для цитирования

Петров М.В., Капитонов В.А., Ефимов А.В. Разработка отечественных роторно-управляемых систем // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 3. С. 26–28.

Строительство технологически сложных скважин с продолжительными горизонтальными окончаниями, особенно скважин с большим отходом от вертикали (БОВ), без применения роторно-управляемых систем (РУС) практически невозможно. На сегодняшний день предел бурения скважин с горизонтальным окончанием с гидравлическим забойным двигателем (ГЗД) значительно вырос — достигаемые длины горизонтов превышают 2 км. Во многом это удается за счет совершенствования применения внутрискважинных и наружных осцилляторов верхнего силового привода (ВСП), которые улучшают доведение нагрузки на долото. К внутрискважинным осцилляторам также относятся импульсные винтовые забойные двигатели (NOV, Weatherford, ООО «СТД»). Наружная осцилляция — регулярное разнонаправленное вращение — снижает продольное сопротивление движению буровой колонны и позволяет доводить осевую нагрузку до долота при направленном бурении в горизонтальном участке. Осцилляцию верхнего силового привода способны реализовать компании, занимающиеся «автобурением»: ООО «АСБ», ООО «РигИнтел» и другие. Современные БУ и ВСП «Уралмаш» также имеют «заводские» возможности автобурения. Другое направление — это снижение коэффициентов трения в стволе благодаря применению буровых растворов на углеводородной основе (РУО). Также активно проводятся испытания применения механического лубриканта (микросфер) в буровом растворе

и протекторов бурильного инструмента. Но все преимущества технологии РУС заметить так не удастся. Напомним, что основные достоинства РУС перед винтовым забойным двигателем (ВЗД) — это точное исполнение плановой траектории, минимизация извилистости и низкие интенсивности, улучшение очистки ствола скважины и доведения нагрузки на долото за счет постоянного вращения бурильной колонны на высоких оборотах. При этом значительно снижаются риски осложнений в скважине.

Цель работы — анализ текущего состояния разработки и производства российских роторно-управляемых систем.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выполнить обзор развития технологии;
- проанализировать российские организации, занимающиеся разработкой и производством РУС;
- обозначить пути повышения эффективности технологии за счет автономной оптимизации траектории скважины в процессе ее проводки.

## Обзор исторического развития РУС

Роторные управляемые системы (Rotary Steerable System — RSS) интенсивно развивались в последние десятилетия с момента своего создания. Первым поколением РУС являлись системы, в которых для изменения направления бурения применяли педали или лопатки, вращающиеся вместе с бурильной колонной и выдвигаемые с помощью давления бурового

раствора посредством установки положения клапана (рис. 1).

Отклонение ствола реализуется по принципу «толкать долото» (Push the bit) путем фрезеровки стенки скважины боковым вооружением долота. Такое конструкторское решение пользуется популярностью и в наше время, но в данных системах управление траектория искривления ствола скважины зависит от площади соприкосновения со стенкой скважины, поэтому на качественные показатели работы могут влиять размыты, каверны или высокая абразивность породы стенок скважины. Чтобы снизить влияние таких характеристик ствола скважины, были изобретены принципиально новые системы Point the bit «направлять долото» (рис. 2).

Система Point the bit включает три секции:

- генератор энергии;
- блок сенсоров и контроля;
- блок изменения направления.

В данных системах изменение направления достигается смещением приводного вала относительно компоновки низа бурильной колонны (КНБК) либо изменением кривизны этого вала посредством эксцентричных механизмов. С развитием технологий и ужесточением требований к проводке скважин с БОВ существующие РУС при бурении интервала стабилизации — длинной горизонтальной секции — перестали отвечать некоторым требованиям проводки таких скважин. Несмотря на то, что роторные управляемые системы Push the bit и Point the bit взаимно исключают собственные недостатки путем выбора наиболее приемлемого типа, данные виды

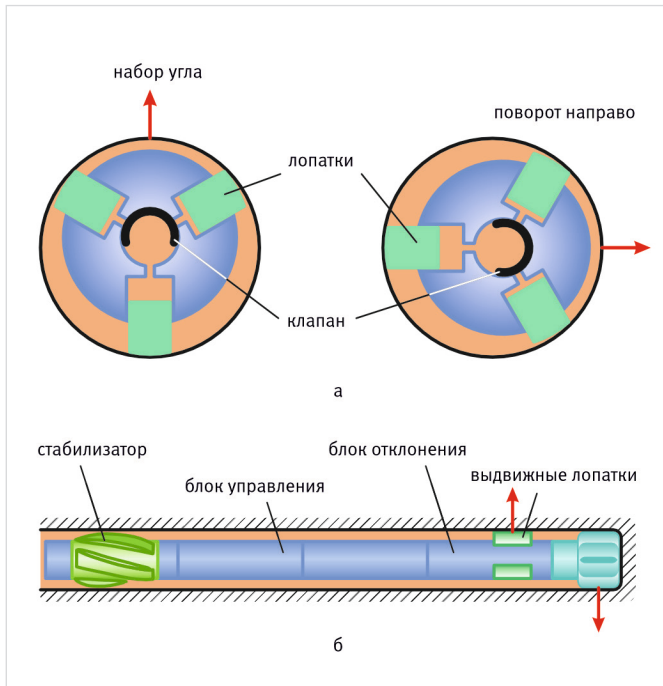


Рис. 1. Принцип работы системы Push the bit (толкать долото) [1]: а — отклоняющий элемент; б — компоновка

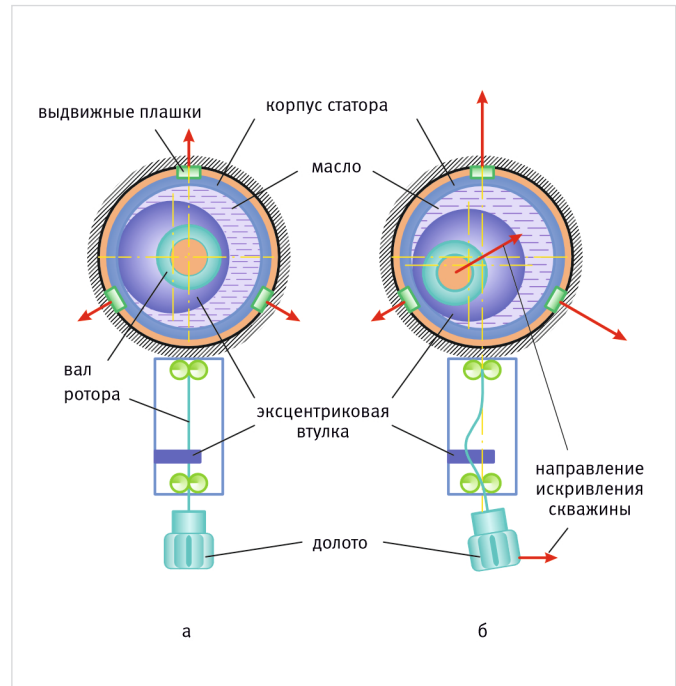


Рис. 2. Принцип работы системы Point the bit (направлять долото) [1]: а — прямое направление бурения; б — изменение направления бурения

РУС не обеспечивают качественную извилистость ствола скважины в интервалах поддержания угла. Также интенсивности искривления, развиваемые ими, не всегда давали необходимый результат. Для решения данной задачи был разработан новый гибридный тип роторных управляемых систем — Continuous Proportional Steering. Данный вид РУС обеспечивает непрерывное поддержание угла в интервалах стабилизации, в отличие от предыдущих систем, в которых отклоняющее звено работает лишь в случаях корректировки угла, при этом данная корректировка происходит регулярно вследствие потери угла из-за гравитационной силы, что не позволяет обеспечивать требуемую извилистость ствола скважины.

Таким образом, существует 3 концепции роторных управляемых систем:

1. Push the bit (отклонение долота);
2. Point the bit (направление долота);
3. Continuous Proportional Steering (непрерывное пропорциональное управление).

Технология РУС привнесла новое качество в процесс направленного бурения, но сузила возможности оптимизации процесса разрушения горных пород, так как частота вращения долота управлялась только «ротором». Одним из недостатков технологии РУС по сравнению с ГЗД является возможное снижение скорости проходки. РУС не преобразует гидравлическую энергию бурового раствора в механическую, он лишь направляет долото по заданной траектории. Бурение происходит в обычном роторном режиме. Поэтому эволюция РУС привела к появлению моторизованных роторных управляемых систем. Технология предусматривает установку высокомоментного ВЗД над РУС для увеличения скорости вращения долота при сохранении точного контроля направления РУС.

Дополнительный момент, плюс вращение буровой колонны позволяет увеличивать нагрузку на долото, что приводит к увеличенной скорости проходки и экономически эффективному бурению. На буровых станках,

не имеющих достаточной мощности для вращения колонны буровых труб на высоких оборотах, при бурении обычных наклонно направленных скважин эта система увеличивает рабочий диапазон таких станков, позволяя применять технологию роторных управляемых систем для лучшей управляемости и эффективности бурения. Все внешние элементы системы движутся со скоростью вращения буровой колонны.

Преимущества моторизованной РУС:

- увеличение скорости проходки;
- уменьшение износа обсадной колонны и стальных буровых труб (СБТ);
- использование БУ с ограниченными оборотами стола ротора/ВСП. Пониженная нагрузка на ВСП.

Одним из разработчиков моторизованных РУС является компания «Шлюмберже»

(Schlumberger), которая имеет систему РУС PowerDrive Vortex. При этом использование в компоновке гидравлического забойного двигателя совместимо с большинством имеющихся на рынке РУС.

Роторные управляемые системы имеют ключевой недостаток, связанный с малой интенсивностью набора угла. В случаях, когда необходима большая интенсивность набора угла, применяют гибридные роторные управляемые системы. Самую известную такую систему производит компания «Шлюмберже» — PowerDrive Archer [2, 3]. Гибридная РУС позволяет проводить траектории, ранее выполнимые только с ВЗД.

Конструкция PowerDrive Archer (рис. 3) включает в себя четыре поршня, которые посредством подачи бурового раствора (как в Push the bit) нажимают на цилиндрический

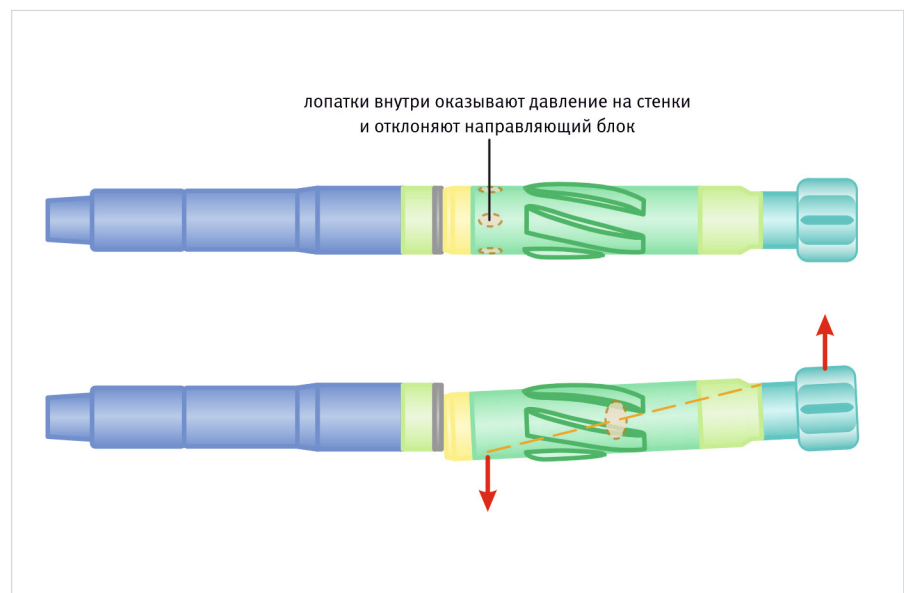


Рис. 3. Принцип работы системы PowerDrive Archer (Schlumberger) [4]

поворотный хомут, который посредством универсального шарнира ориентирует долото в желаемом направлении (как в Point the bit). Лопасти стабилизатора, передавая усилие на стенку скважины, позволяют системе работать в режиме отклонения долота и мгновенно выйти на режим набора угла. Интенсивность набора может достигать 18°/30 м.

### Состояние отечественного производства РУС

Последние несколько лет развернулась масштабная программа по импортозамещению. Большая четверка крупных иностранных нефтесервисных компаний объявила о приостановке работы в РФ. Одним из востребованных направлений импортозамещения в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) и в высокотехнологичном бурении стали именно РУС. По данным аналитической компании «Яков и партнеры», по состоянию на март 2023 г. российская нефтегазовая отрасль практически полностью зависела от импорта РУС [5].

Перед производителями была поставлена задача поднять на новый уровень отечественную промышленность, в том числе благодаря инвестициям в разработку технологий, необходимых для ТЭК. Основную сложность в производстве на сегодняшний день составляют электронные компоненты РУС и наземного оборудования для управления ими, которые преимущественно завозятся из Китая.

В 2023 такие компании, как концерн «Электроприбор», ООО НПП «Буринтех», компания «Геофит» и ООО «Герс Инжиниринг» выполнили стадии концептуальной проработки и проектирования, провели испытания прототипов первых отечественных РУС и приступили к их серийному производству.

Также известно, что «Тюменская буровая компания», «Пермская компания нефтяного машиностроения», ГК «Интегра», «Башнефтегазофизика», «Лидеринтех», «Нефтегазофизика» разрабатывают свои варианты РУС и находятся на стадии стендовых и скважинных испытаний.

Компания «Герс» успешно провела испытания своих РУС 120-GT типа Push the bit для бурения горизонтальных участков на месторождениях «Роснефти» и «Газпром нефти».

Прибор РУК-8.75 БС производства концерна «Электроприбор» по способу управления долотом относится к типу Push the bit:

- направление долота регулируется путем нажатия на стенку скважины выдвижными башмаками. Имеется 3 выдвижных башмака;
- работа прибора осуществляется на четырех режимах. Типоразмер долот — 220,7 мм. Источником питания служат литиевые батареи;
- наиболее близкие аналоги — AutoTrak (BakerHughes), RSS Scout (SmartDrilling).

Компания ООО НПП «Буринтех» в рамках реализации отраслевой стратегии альтернативного замещения, в части высокотехнологичных сервисов при бурении, создала первую отечественную роторно-управляемую систему, основанную на гидромеханическом принципе и совместимую с любой стандартной телеметрической системой — РУС-ГМ. Применена концепция отклонения долота от оси забоя скважины Push the bit. Энергия бурового раствора, передаваемая с устья на забой скважины, преобразуется в электрическую при помощи турбогенератора. При этом основная часть вырабатываемой электрической энергии затрачивается на питание электродвигателей насосов, создающих

давление в приводных поршнях отклоняющих плашек РУС (аналог Auto Trak от Baker Hughes). В данном исполнении усилие прижатия отклоняющих плашек полностью зависит от перепада гидродинамического давления на уровне инструмента.

С 2016 г. ООО НПП «Буринтех» и ПАО «Газпром нефть» [6] в рамках реализации совместных мероприятий по импортозамещению проводили опытно-промышленные испытания отечественной роторно-управляемой системы гидромеханического типа РУС-ГМ-195 на месторождениях ООО «Газпромнефть-Хантос». Специально для них были изготовлены опытные образцы роторно-управляемой системы РУС-ГМ-195 третьего поколения для бурения наклоннонаправленных и горизонтальных скважин диаметром 220,7 мм. Также компания «Буринтех» активно разрабатывает и уже применяет роторно-управляемую систему в габарите 124 мм, которая будет востребована при бурении протяженных горизонтальных участков.

Инженерно-производственный центр «Геофит» г. Томск, входящий в технологическую компанию «Шлюмберге» с 2002 года, с 2019 года локализовал производство РУС PowerDrive X6 типа Push the bit двух типоразмеров для диаметров бурения 215,9–222,25 мм и 146–155,6 мм. Данные модели РУС на протяжении многих лет успешно зарекомендовали себя в мировой практике бурения в различных геологических условиях.

### Перспективные пути развития

Роторные управляемые системы работают путем создания на долото бокового усилия либо изменения его положения. В процессе строительства скважины геологическое строение залежи и насыщающих флюидов непрерывно уточняется в процессе бурения. Разрабатываемые отечественные РУС в настоящее время могут только автоматически изменять зенитный и азимутальный углы или производить их стабилизацию. Существенного повышения эффективности можно добиться путем подключения искусственного интеллекта к решению задач оперативного планирования траектории в процессе бурения на основании фактического геологического разреза. Наиболее интересным является автоматизация обхода зон обводнения и зон, не содержащих нефть или газ. Конечно, для этого требуется полная автоматизация работы забойной компоновки или всей буровой, что с современным уровнем развития информационных технологий является только делом времени.

### Итоги

Рассмотрены принципы работы РУС, выпускаемых в мире. Приведен обзор состояния отечественных разработок РУС. Сделаны выводы о готовности замещения РУС иностранного производства. Предложены пути перспективного развития данной технологии.

### Выводы

- В настоящее время выделяются три концепции роторных управляемых систем: отклонение долота (Push the bit), направление долота (Point the bit) и непрерывное пропорциональное управление (Continuous Proportional Steering). Совмещение РУС с гидравлическим забойным двигателем дает моторизованные роторные управляемые системы. Для повышения интенсивности набора угла

применяют гибридные роторные управляемые системы.

- Среди отечественных компаний, занимающихся разработкой РУС, на стадию серийного производства вышли концерн «Электроприбор», ООО НПП «Буринтех», компания «Геофит» и ООО «Герс Инжиниринг». Стендовыми и скважинными испытаниями занимаются «Тюменская буровая компания», «Пермская компания нефтяного машиностроения», ГК «Интегра», «Башнефтегазофизика», «Лидеринтех», «Нефтегазофизика».
- С точки зрения авторов, наиболее перспективным является развитие интеллектуальной составляющей роторно-управляемых систем, что позволит учитывать оперативно поступающую информацию о проходимом разрезе и повысить качество скважины в эксплуатации скважин.

### Литература

1. Нескоромных В.В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 322 с.
2. PowerDrive Archer. URL: <https://www.slb.com/products-and-services/innovating-in-oil-and-gas/drilling/bottomhole-assemblies/directional-drilling/powerdrive-archer-high-build-rate-rotary-steerable-system> (дата обращения 06.05.2024).
3. Edwin Felczak, Neil Godvin, Richard Hawkins. Best of both worlds – a hybrid rotary steerable system. Oilfield Review, 2011/2012, Vol. 23, issue 4. (In Eng).
4. Надеждин М., Коберг У. Гибридная роторная управляемая система наклонно-направленного бурения для скважин с высокой запланированной интенсивностью набора кривизны ствола: новый подход к бурению скважин через насосно-компрессорную колонну на месторождении Гуллфакс, Северное море // Российская конференция и выставка нефтегазовых технологий SPE. Москва, Россия, октябрь 2016 г. SPE-181943-MS.
5. Стрельцов А., Масаков Г. Перспективы развития нефтесервисной отрасли в России до 2030 г. // Яков и Партнёры: URL: <https://yakov.partners/publications/russian-oilfield-service-industry/> (дата обращения 06.05.2024).
6. Закиров А.Я. Первые результаты испытаний роторно-управляемых систем российского производства // ПРОнефть. Профессионально о нефти. 2016. № 2. С. 43–47.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Петров Михаил Викторович**, главный эксперт отдела сервисных технологий в бурении, ООО «СамараНИПИнефть», старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Самарский ГТУ», Самара, Россия

**Капитонов Владимир Алексеевич**, к.т.н., главный специалист отдела инжиниринга буровых растворов, ООО «СамараНИПИнефть», доцент, ФГБОУ ВО «Самарский ГТУ», Самара, Россия

**Ефимов Андрей Вадимович**, начальник отдела сервисных технологий в бурении, ООО «СамараНИПИнефть», магистр, ФГБОУ ВО «Самарский ГТУ», Самара, Россия