

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-5-118-136

Шестакова Е.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

E-mail: shestakova2525@yandex.ru

О РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация. В статье установлено, что актуальным направлением для восстановления заброшенных скважин и повышения нефтеотдачи старых месторождений остается создание малых каналов из обсаженной скважины с заданным радиусом кривизны по предварительно спланированной траектории. Рассмотрена информация о скважинном фрезерном инструменте для фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне и последующего бурения каналов с использованием специальных малогабаритных винтовых забойных двигателей. Проанализирована научно-техническая информация и установлено, что актуальными направлениями являются разработка новых и усовершенствование известных конструкций инструмента для фрезерования «окна» в обсадных колоннах различных групп прочности. Исследована перспектива мониторинга параметров глубинного оборудования на протяжении его использования через статистический анализ временных рядов, в том числе изменений технологических параметров фрезерования. Рассмотрена общая информация об использовании колебаний технологических параметров осевой нагрузки на фрезерный инструмент и давления промывочной жидкости во время процесса фрезерования, представленных в виде случайного процесса. Проанализированы общеизвестные критерии косвенной оценки технического состояния глубинного оборудования, определено, что при их использовании должно выполняться условие независимости. Установлено, что актуальным направлением является разработка нового критерия диагностирования работоспособного состояния для последующего создания автоматизированной системы мониторинга и оценки технического состояния оборудования, включая возможность прогнозирования подклинивания и заклинивания специального малогабаритного винтового забойного двигателя.

Ключевые слова: вторичное вскрытие пласта, фрезерование эксплуатационной колонны, винтовой забойный двигатель, фрезерный инструмент, критерий диагностирования, техническая диагностика.

Введение. В настоящее время, по оценке Министерства энергетики Российской Федерации, доля трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) в России составляет более 65 % от общего объема доказанных нефтяных запасов, при этом доля добычи ТРИЗ около 8 %, и увеличение динамики не существенно [1]. Установлено, что существует определенный порог по дебиту скважины, за которым добыча нефти становится либо технически невозможной, либо некупаемой с экономической точки зрения. Известно, что на множестве скважин добыча остановлена из-за прекращения поступления пластового флюида или в связи с высоким содержанием воды в получаемой нефтяной продукции. Неэкономичность добычи нефти на скважинах с ТРИЗ зачастую приводит к их консервации или полному закрытию, их число составляет от 25 до 30 тысяч [2]. По этой причине важным этапом разработки скважины является вторичное вскрытие, осуществляемое перфорированием, с использованием различных перфораторов (пулевых, кумулятивных, гидropескоструйных, фрезерных и торпедных разновидностей) [3]:

1) при использовании пулевых и торпедных устройств происходит детонация зарядов в специальных камерах, что приводит к выбросу пуль

или торпед с помощью взрывной энергии. Основные недостатки: имеют ограниченное применение, не всегда обеспечивают нужное пробитие из-за малой длины канала;

2) в методе кумулятивной перфорации эксплуатационная колонна подвергается действию направленной огненной струи, прожигающей отверстия в металле. Основные недостатки этого метода включают риск деформации колонны и повреждения цементного камня;

3) при гидropескоструйной перфорации используют направленную струю, но вместо газа в качестве разрушающего агента применяется вода с добавлением песка для усиления абразивных свойств. Основной недостаток: возможно возникновение блокирующей зоны продуктивного пласта, снижающей его продуктивность.

Подбор технологии перфорации скважины определяется различными характеристиками [4]:

- условиями проведения буровых работ;
- геологическими характеристиками месторождения;
- конструкцией скважины;
- техническими параметрами перфорационных устройств (тип, плотность прострела и т. д.);
- вероятными побочными эффектами и прочими факторами.

Кроме того, вторичное вскрытие может осуществляться путём бурения горизонтальных скважин и боковых стволов с горизонтальной частью, которое имеет схожие подходы [4]. Развитие технологий горизонтального бурения, активно внедряемых российскими нефтедобывающими компаниями, способствует оптимизации сети эксплуатационных скважин и, как следствие, росту доступных для разработки запасов нефти. Это приводит к снижению депрессии на пласт, повышению эффективности добычи нефти из сложных месторождений, ранее считавшихся не извлекаемыми, и увеличению результативности применения методов воздействия на нефтеносные пласты [5–7]. За последние пятнадцать лет в России наблюдается значительный рост строительства горизонтальных скважин. В настоящий момент времени происходит переход от индивидуального бурения горизонтальных скважин к систематическому применению этой технологии, что дает возможность полностью реализовать потенциал указанных выше преимуществ [6, 8].

Материалы и методы. Поиск патентной информации проводился за 2011–2023 гг. по базам данных:

- 1) Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» – [«https://new.fips.ru»](https://new.fips.ru);
- 2) «Яндекс. Патенты», созданные при содействии Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатента) – [«https://yandex.ru/patents»](https://yandex.ru/patents);
- 3) Европейского Патентного ведомства «European Patent Office» – [«https://www.epo.org»](https://www.epo.org);
- 4) авторских свидетельств и патентов Союза Советских Социалистических Республик «База патентов СССР» – [«https://patents.su»](https://patents.su).

Поиск научно-технической информации проводился по базам данных:

- 1) научной электронной библиотеки «Elibrary» – [«https://www.elibrary.ru»](https://www.elibrary.ru);
- 2) научной электронной библиотеки «КиберЛенинка» – [«https://cyberleninka.ru»](https://cyberleninka.ru);
- 3) информационно-энциклопедического проекта «Рубрикон» – [«https://www.rubricon.com»](https://www.rubricon.com).

Основная часть. Значительная часть разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений находится в поздней стадии эксплуатации, таким образом, одним из наиболее перспективных подходов является метод восстановления неэксплуатируемых скважин или повышения их производительности за счет дополнительного бурения бокового наклонного или горизонтального ствола из отфрезерованного участка обсадной

эксплуатационной колонны. Профессор Н. Ф. Кагарманов в своем исследовании истории развития горизонтального и бокового бурения [9], пришел к выводу, что традиционные способы добычи нефти, которые включают в себя вертикальное и наклонное бурение скважин с применением метода заводнения, позволяют извлечь из пласта лишь 30–50 % нефти [9]. В то же время, технология горизонтального бурения соответствует самым строгим требованиям по эффективности и безопасности для окружающей среды. Этот метод дает возможность существенно увеличить добычу нефти в 3–7 раз и повысить коэффициент ее извлечения до 70–80 %.

В истории развития бурения наклонных скважин особое место занимает турбобур. Турбобур представляет собой инновационный продукт инженеров из России, который открыл новые горизонты в области бурения нефтяных и газовых скважин, позволив достичь невиданных темпов их создания. Этот прорыв существенно увеличил объемы добычи углеводородов, что стало фундаментом для устойчивого экономического роста Советского Союза. Позднее, на смену турбобуру пришел винтовой забойный двигатель (ВЗД), разработанный и выпускаемый такими предприятиями, как Кунгурский и Павловский машиностроительные заводы, а также заводом синтетического каучука в Чайковском. В СССР и современной России именно с использованием гидравлических забойных двигателей пробурено подавляющее большинство нефтяных и газовых скважин, включая те, которые имели сложный профиль и являлись ключевыми для добычи углеводородного сырья [10–12].

Для эффективной проводки сложных пространственных профилей необходимо применять специальные телеметрические системы, которые обеспечивают точное определение положения ствола скважины, изменения угла наклона и направления, а также позволяют оперативно корректировать траекторию [13, 14]. Изучение научно-технической информации показало, что эффективность бурения скважин, подверженных различным нарушениям, в значительной мере зависит от состояния и типа применяемых телеметрических и роторных систем управления [15–18]. Учитывая данные, полученные на месторождениях, до половины всех пробуренных скважин имели отклонения в технологии проводки. При проведении наклонно-направленного бурения были выявлены различные причины некорректного проводки скважин [19, 20]:

- отклонение зенитного угла, азимута;
- необоснованные корректировки направления проводки ствола скважины;

- ошибочное измерение показателей датчиками телеметрической системы;
- износ и отказ оборудования.

В связи с этим при строительстве скважин большое внимание уделяется вопросам своевременного определения технического состояния оборудования. Основными элементами компоновочной части для перфорации каналов являются ВЗД и фрезерный инструмент [21]. В процессе ликвидации аварийных ситуаций или при бурении новых боковых каналов в скважине применяются специальные фрезерные инструменты, предназначенные для обработки металла эксплуатационной колонны и цементного камня. Фрезерование стоит на первом месте среди методов для разрушения металла эксплуатационной колонны. Ключевыми различиями применения скважинного фрезерного оборудования и его режущих элементов по сравнению с инструментами для обработки металлов в машиностроении являются:

- невозможность регулярной заточки режущих элементов;
- сложность контроля состояния инструмента во время работы;

- неравномерное охлаждение режущей кромки;
- отсутствие фиксации объекта фрезерования.

От предназначения и условий работы зависят эксплуатационные и конструктивные характеристики скважинного инструмента [22], их многообразие приводит к существованию различных типоразмеров и конструкций. Определено, что условия работы скважинных фрезеров определяются в основном типом и технологией выполняемых работ, и при одинаковых условиях с увеличением глубины и уменьшением диаметра скважин качество работы инструмента значительно ухудшается [23]. На рис. 1 показана классификация фрезерного инструмента, используемого для проведения ремонтно-восстановительных работ в скважинах. Поскольку объекты фрезерования различаются по материалу, условиям залегания, расположению в скважине, геометрическим размерам и целям обработки, существующая классификация включает в себя несколько видов фрезеров.

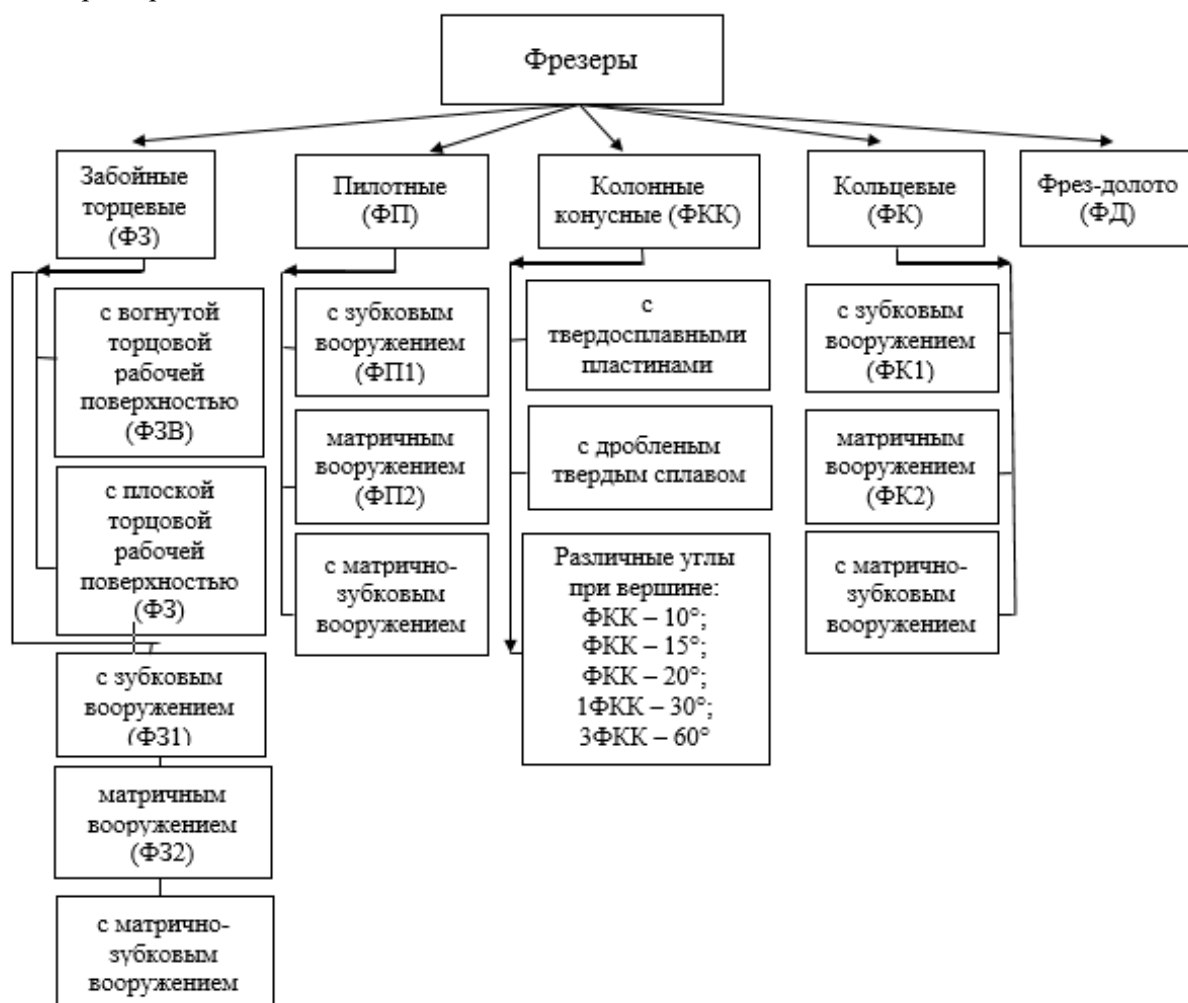


Рис. 1. Классификация фрезерного инструмента

В ходе анализа выявлено, что из-за воздействия таких факторов как: ударные нагрузки, высокие температуры, абразивные жидкости, колебания различного вида рабочая кромка фрезерного инструмента подвергается абразивному воздействию, что приводит к отказу оборудования. Учитывая, что фреза взаимодействует с цементом, песком, горной породой, частицами стружки, металлическими фрагментами и про-

чими объектами, которые накапливаются на забое и не удаляются с помощью промывочной жидкости, необходимо своевременно производить мониторинг технического состояния инструмента [24]. Установлено, что наибольшее количество патентной информации приходится на совершенствование конструкции фрезеров торцевых и конусных типов, а также их вооружения (рис. 2), составляя более 60 % от всей информации.

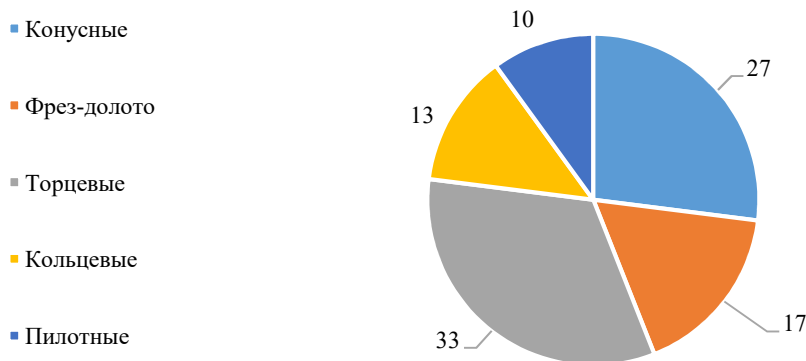


Рис. 2. Распределение патентов по типам фрезеров за период 2011–2023 гг., %

Для повышения нефтеотдачи малодебитных скважин наиболее распространенными методами создания боковых стволов из обсаженной колонны в вертикальных, наклонных, и горизонтально-наклонных скважинах являются [19, 25]

- вырезание участка эксплуатационной колонны с последующим бурением бокового ствола;

- вырезание «окна» в эксплуатационной колонне с применением клина-отклонителя и дальнейшее бурение бокового ствола.

Технологию фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне разрабатывали и рассматривали в своих трудах: Воевидко И. В., Гасанов А. П., Гилязов Р. М., Давлетбаев М.Р., Двойников М.В., Зарипов Д. Э., Кагарманов Н. Ф., Левинсон Л. М., Лягов А. В., Мухаметшин А. А., Самигуллин В. Х., Хасанов А. Ф., Хейрабади Г. С., Чудык И. И. и многие другие.

В своих трудах Воевидко И. В. и Чудык И. И. исследуют процесс фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне скважины и обосновывают математические законы, которые помогают определять силу отклонения на фрезерном инструменте и уровень искривления бокового ствола скважины [26].

В статье [27] Левинсон Л. М. с Хасановым А. Ф. анализируют преимущества и недостатки различных методов забурирования боковых стволов. Авторами установлено, что наиболее эффективным является метод с вырезанием щелевид-

ного «окна» в стенке обсадной колонны с помощью клина-отклонителя и дальнейшим забуриванием бокового ствола через «окно».

Ломов А. П. в своём докладе представил принцип снижения риска аварий при фрезеровании обсадной колонны с использованием раздвижных колонных фрезеров с системой аварийного возврата. Установлено, что применение этой системы предотвращает аварии и сокращает время, необходимое для устранения проблем, возникающих во время процесса фрезерования [28].

Гасанов А. П. в статье [29] описаны пути повышения эффективности работы фрезера-райбера для восстановления аварийных нефтяных и газовых скважин и приведены расчеты для различных материалов обсадных колонн с последующими рекомендациями по процессу фрезерования.

В статье Абдуллина Н. М. [25] предложены практические рекомендации по безопасному фрезерованию участка обсадной колонны в наклонно-направленных скважинах с большими зенитными углами и в горизонтальных скважинах во время строительства или капитального ремонта.

В статье Шешуковой К. В. и Хайруллина А. А. рассматривается эффективность зарезки бокового ствола на примере бездействующей скважины Ямбургского месторождения. В ней авторы приходят к выводу, что эта технология позволяет вернуть в разработку скважины, которые

не могли быть задействованы при обычных операциях из-за геолого-технических условий [30].

В статье [31] описывается процесс реконструкции скважины путём фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне и последующего бурения бокового ствола на полупогружной плавающей буровой установке. Установлено, что проведённые работы позволили сохранить пробуренную часть ствола скважины и продлить срок эксплуатации месторождения.

В статье [32] сравниваются методы и технологии вырезания «окон» в обсадных колоннах и зарезки боковых стволов из существующих скважин российских и зарубежных сервисных компаний. Авторы отмечают, что для повышения режущей способности и наилучшего разрушения горных пород необходимо улучшать конструкции фрезерного инструмента.

В статье [33] Хасанова А. Ф. и Гаттаровой М. Р. рассмотрена система «Over Head» компании ООО НПП «Буринтех», предназначенная для фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне. Установлено, что преимуществом данной системы является фрезерование «окна» за один рейс за счет спуска, последующего ориентирования и посадки клина-отклонителя.

В статье [34] описываются преимущества от использования старой скважины с помощью фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне и

последующей зарезки горизонтального ствола. Так на газовом месторождении Сулиге, северо-западе Китая этот способ значительно снизил затраты на разработку скважины, повысил продуктивность и увеличил добычу в 3-5 раз.

В статье [35] описана обобщённая классификация осложнений и наиболее частые причины их возникновения на примере Восточно-Сургутского месторождения. Установлено, что основные проблемы связаны со следующими причинами:

- с прихватом инструмента и обсадных труб;
- с нестабильной работой фрезерного инструмента;
- с износом оборудования технической системы.

Исходя из анализа научно-технической информации определена классификация инструментов для забурирования бокового ствола скважины. Установлено, что наибольшее количество патентной информации приходится на изменение способов и поиск новых методов фрезерования, а также на совершенствование конструкций фрез-долот и фрезер-райберов (рис. 3), составляя более половины от всех проанализированных документов.

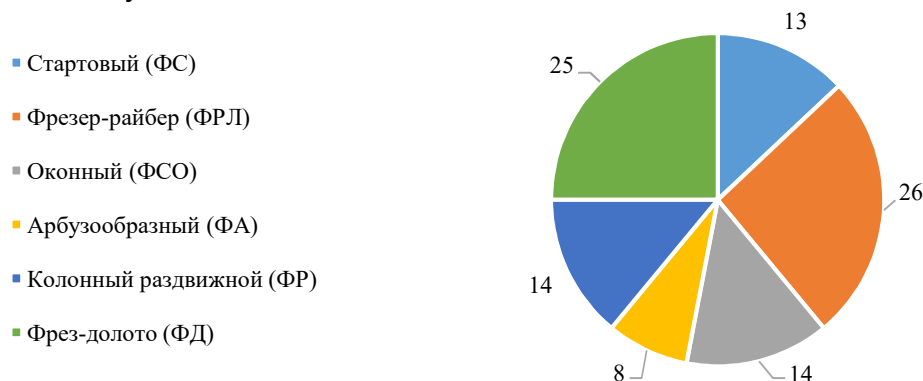


Рис. 3. Распределение патентов по типам фрезерующего инструмента за период 2011–2023 гг., %

Установлено, что количество зарегистрированных патентов и научных трудов увеличивается с каждым годом, а старые конструкции и методы постоянно совершенствуются и перерабатываются. Исходя из этого, можно сделать вывод, что разработка инновационных и усовершенствование существующих технологий и инструментов для создания «окна» в эксплуатационной колонне и последующее бурение боковых стволов, является динамично развивающимся и приоритетным направлением для восстановления заброшенных нефтедобывающих скважин, и увеличения добычи нефти на старых нефтеносных участках.

Разработками новых конструкций инструментов для фрезерования занимаются такие компании как: ООО НПП «Буринтех», ООО «ВНИИБТ – Буровой инструмент», ЗАО «Измерон», ООО «Фирма «Радиус-Сервис», ООО НПП «Бурсервис», ООО «Биттехника» ООО НПФ «Технология», ООО «Marlin Oil Tools», а также Halliburton Inc., Varel International Ind.

В статье [36] подробно рассмотрены проблемы, с которыми сталкиваются при использовании современных методик бурения боковых стволов и технологий для вторичного вскрытия продуктивных пластов. Исследование показало, что процессы бурения боковых стволов и гидравлического разрыва пласта осложняются из-за

тесного расположения газовой шапки и подстилающей воды, что обусловлено геологическими и технологическими особенностями. Кроме того, применение существующих методов вторичного вскрытия не приносит желаемых результатов из-за обширной зоны проникновения фильтрата бурового раствора или возникающей заколонной циркуляции [4, 35].

Установлено, что эффективное фрезерование эксплуатационных колонн и бурение сети разветвленных каналов сверхмалого диаметра и радиуса кривизны стало возможно благодаря технической системе (ТС) «Перфобур». В состав системы входит универсальный малогабаритный секционный ВЗД [2, 12, 22, 37, 38]. Первые поколения ТС «Перфобур» проходили испытания на стенде, где проводилось фрезерование образцов эксплуатационной колонны, и дальнейшее бурение песчано-цементного блока. В результате испытаний установлена надежность и работоспособность основных компонентов ТС, а также протестированы различные типы породоразрушающих и фрезерных инструментов [39, 40].

В компании ООО «Перфобур» работают с разными конструкциями фрез, сотрудничество ведется с различными фирмами по проектированию и изготовлению фрез: ООО «Petro Tool», ООО «Цитрин-Сервис», ООО «Marlin Oil Tools», ООО НПФ «Технология» и др. Стоит отметить, что серийно-выпускаемые фрезы для традиционных технологий «большого бурения» при зарезке боковых стволов не подходят для условий работы специальными малогабаритными двигателями [41, 42]. На практике, компания применяет конусные и торцевые фрезы, а также фрез-долота для малогабаритных ВЗД (до 55 мм) [41].

Отмечено, что впервые в мировой практике, в 2018 году, основателем и главным конструктором компании ООО «Перфобур» Ляговым И. А., с использованием разработанной компоновки для фрезерования, удалось вырезать фрезой диаметром 68 мм два «окна» длиной 70 мм каждое, в эксплуатационной колонне группы прочности К, с одной отметки, специальным малогабаритным ВЗД на скважине ООО «Башнефть-Добыча» [2, 43]. К моменту написания статьи уже было профрезеровано более 200 «окон», с дальнейшим бурением разветвленных каналов на скважинах ведущих нефтегазовых компаний Российской Федерации и стран ближнего и дальнего зарубежья [44, 45].

В ходе работы установлено, что работоспособность ВЗД наряду с безотказностью породоразрушающего или фрезерного инструмента определяют эффективность ведения работ [10, 46]. В статье [47] отмечено, что дифференциаль-

ные прихваты и прихваты вследствие заклинивания в местах деформирования поперечного сечения перфорационного канала являются потенциальными осложнениями при эксплуатации технической системы «Перфобур». Компания ООО «Перфобур» применяет комплекс мер для предотвращения риска дифференциального прихвата [48]:

- 1) обеспечение необходимой реологии бурового раствора;
- 2) использование специальных осцилляторов в тех зонах, где возможны осложнения;
- 3) применение специальных компоновок нижней части бурильной колонны с трубами различной частотной характеристики и забойным автоматом подачи долота;
- 4) контроль процесса бурения при вскрытии продуктивных пластов.

В настоящий момент времени компания работает над тем, чтобы кроме фрезерования «окна», технологически можно было продолжать непосредственное бурение за одну спуско-подъемную операцию, и для этого совершенствуют не только сами фрезерные инструменты, но и узлы технической системы. В процессе эксплуатации возникает необходимость своевременного мониторинга и оценки технического состояния компоновки, в том числе возможность прогнозирования подклинивания и заклинивания специального малогабаритного ВЗД.

Последние исследования показывают, что работу глубинного бурового оборудования в процессе эксплуатации можно контролировать, используя математическую обработку длительных временных рядов случайных колебаний технических параметров процесса бурения, представленных как стационарный случайный процесс с применением различных методов анализа [45]. Для анализа данные временных рядов замеров технологических параметров в процессе бурения удобнее представить, как последовательность случайных величин, что позволит использовать вероятностные и спектральные методы анализа [49].

Установлено, что во время работы ВЗД возникают колебания давления технологической жидкости и осевой нагрузки, при этом анализ протекающих при бурении скважин физических процессов, специфика и условия работы глубинного оборудования показывают, что эти явления часто носят непредсказуемый, случайный характер [42, 45]. Колебаниям, возникающим при бурении скважин, определяют особую роль при оценке технического состояния глубинного оборудования в процессе его эксплуатации. Поэтому, с каждым годом возрастает интерес к данной теме и ведутся дальнейшие исследования

[42, 50]. Разрабатываются различные способы и подходы к расшифровке получаемой информации. При этом интерес представляет исследования контроля забойных параметров по колебаниям, измеренных на устье скважины [51]. В этом случае, долото или фрез является естественным источником колебаний, а бурильная колонна представляет канал связи между забоем и устьем скважины [52, 53]. Колебания технологических параметров, сопровождающих процесс бурения, могут быть выражены в изменениях их спектральной характеристики и учтены в алгоритмах косвенной обработки измеряемых сигналов [54].

Исследование, проведенное с помощью визуализации колебаний, вызванных изменением осевой нагрузки на породоразрушающий или фрезерный инструмент, а также давления промышленной жидкости, выявило, что данные колебания не ограничиваются только гармоническими и непериодическими формами, но также проявляют себя в виде случайных событий. Эти наблюдения являются статистически значимыми [47, 55]. Возможность многократного измерения случайных колебаний технологических параметров процесса, при этом одновременно оценивая техническое состояние глубинного бурового оборудования, позволяет использовать методы теории вероятностей и математической статистики [56, 57]. Использование случайных процессов, при правильной расшифровке, позволяет оценивать техническое состояние глубинного оборудования [56, 58].

Вопросами изучения использования вероятностно-статистической оценки состояния оборудования в бурении и добыче как случайного процесса занимались: Ганджумян Р. А., Галеев А. С., Григулецкий В. Г., Гуреев И. Л., Ишемгузин Е. И., Ишемгузин И. Е., Керимов З. Г., Лягов А. В., Мирзаджанзаде А. Х., Науменко А. П., Симонов В. В., Симонянц С. Л., Санников Р. Х., Хасанов М. М., Шайдаков В. В., Юнин Е. К., Ямалиев В. У. и многие другие.

Различные критерии оценки технического состояния глубинного бурового оборудования, предложенные многими отечественными и зарубежными исследователями, в связи с постоянными изменениями условий бурения до сих пор не дали ответа на вопрос о наиболее рациональном времени работы [59, 60]. Определено несколько подходов при обработке забойной информации для контроля состояния оборудования в процессе бурения скважин, с помощью которых можно получить данные о нормальной эксплуатации без необходимости проведения активных экспериментов [55, 56].

Существует множество различных диагностических критериев для оценки технического состояния глубинного бурового оборудования в процессе эксплуатации, предложенных разными авторами, но не каждый из них, является основным и при их использовании должно выполняться условие независимости друг от друга [47]. Для косвенной оценки технического состояния породоразрушающего инструмента в процессе бурения скважин использованы следующие критерии, которые дополняют другие методы косвенной оценки:

1 Коэффициент Джини – это инструмент, который помогает выявить связь между изменениями случайных колебаний измеряемых технологических параметров и состоянием инструмента. Это позволяет быстро принимать решения по управлению процессом бурения [35, 61].

Недостатками коэффициента является то, что с помощью него сложно идентифицировать, в какой именно момент времени происходит максимальный износ оборудования [62].

2 Энтропийный анализ – это методика оценки уровня неопределенности, которая применяется к случайным процессам [63]. С учетом того, что в производственных условиях зачастую трудно точно определить момент, когда объект переходит из одного технического состояния в другое, предлагается сравнивать текущие значения энтропии с энтропией, зафиксированной в начальный момент бурения, например, при использовании нового инструмента, что позволяет выявить изменения и дать своевременные рекомендации по эксплуатации [49, 64].

Установленный недостаток данного анализа заключается в предположении, что переход из одного состояния в другое всегда связан с изменением технического состояния инструмента. Из-за этого точность вычислений может быть недостаточной для определения текущего состояния объекта.

3 Коэффициент вариации случайного процесса – это «критерий случайности» в теории вероятности. Коэффициент вариации используется для более полной характеристики динамичности процесса [59]. Интенсивность воздействия случайных факторов тоже может быть различной, в отдельных случаях рекомендуют использовать коэффициент вариации в качестве условной границы для разделения процессов на детерминированные и случайные [65].

Недостатками этого критерия оценки технического состояния являются низкая помехоустойчивость к внешним факторам и недостаточная точность оценки состояния породоразрушающего инструмента в процессе эксплуатации. Это приводит к низкой отработке инструмента и

возможности аварийных ситуаций в технической системе.

4 Показатель Херста является количественным показателем, который отражает степень упорядоченности амплитуд изучаемого параметра во времени и определяется как функция временного интервала в рамках масштабированного диапазона во временном ряде [66, 67]. Многие исследования указывают на то, что изменение режима работы является признаком наличия дефекта в оборудовании, так как в этот момент времени происходит переход сложной технической системы к хаотическому виду.

Недостатками метода определения технического состояния системы с помощью показателя Херста являются сложность определения критерия работоспособности, поскольку переход системы в хаотический режим не всегда указывает на наличие дефектов оборудования, также на результаты сильно влияют случайные факторы [49].

5 Выбросы случайных колебаний за некоторый уровень. Процесс бурения скважин может сопровождаться колебаниями технологических показателей, которые иногда превышают определенный порог. Это явление, называемое выбросами случайных колебаний, имеет существенное значение в рамках изучения теории случайных процессов [61]. Количество таких выбросов может использоваться в качестве индикатора для диагностики процесса бурения [68]. Для эффективного применения этого критерия важно понимать вопросы аппроксимации статистических характеристик случайных процессов [61].

Выявленные недостатки данного способа: непредсказуемость значений самого высокого уровня, за который имеет место хотя бы один выброс, отличие значений параметров для корреляционной функции и спектральной плотности, невозможность поправок в расчете на сложные условия эксплуатации оборудования.

6 Корреляционная размерность – это мера упорядоченности процессов, который может выступать в роли диагностического показателя для оценки состояния изучаемых систем [69]. Износ механизмов может сказаться на корреляционной размерности, то есть появление детерминированного хаоса может быть связано с нелинейными колебаниями в системе. Своевременный контроль значений корреляционной размерности может помочь предотвратить аварии с использованием глубинного бурового оборудования [70].

Основные недостатки этого способа включают теоретическое обоснование только для бесконечных и не зашумленных хаотических процессов, а также высокая трудоёмкость обработки большого объёма экспериментальных данных,

что снижает точность оценки технического состояния оборудования во время его эксплуатации.

7 Спектральный анализ для определения работоспособного состояния оборудования включает в себя периодическое определение энергетического спектра в области сверхнизких частот вращающего момента на бурильном инструменте [64, 67]. При этом за критерий работоспособности инструмента принимают отношение площадей энергетических спектров [71]. Также можно применять анализ спектра частот колебаний для оценки состояния оборудования. Для этого требуется измерить колебания промывочной жидкости и преобразовать их в их спектр. В данном случае, показателем износа инструмента является диапазон частот нормализованной плотности, а предельный уровень износа определяется отсутствием доминирующей частоты [64, 72].

Установлены следующие недостатки: трудности с выделением определённого сигнала из общего спектра, а также зашумление или затухание результирующего сигнала.

8 Фрактальный анализ используют для определения работоспособности породоразрушающего инструмента, он включает в себя измерение колебаний системы и определение эталонных значений, где, вычисляются фрактальные размерности по построенным фазовым кривым [73].

Недостатки этого анализа заключаются в сложности описания дефектов, требующей введения упрощённых моделей и допущений, а также в трудностях определения значений фрактальной размерности.

9 Фазовый анализ. Знание о том, что развитие динамической системы отображается в виде фазового портрета – пространства, где в качестве координат выступают элементы состояния [69], является ключевым для проведения анализа. При этом необходимо проводить аналитическую работу, сравнивая рекуррентные диаграммы и получая диаграммы различий на основе временных рядов. Этот анализ дает возможность определить несоответствия в функционировании системы и провести дальнейшую обработку выявленных данных с использованием математических методов [69].

Выявленные недостатки применяемого анализа: систематические погрешности из-за неточности учёта наложения дифракционных линий разных фаз и сложная процедура определения критерия работоспособности.

10 Вейвлет-анализ – это метод позволяющий обобщить данные спектрального анализа и являющийся интегральной функцией, однако он не сводим к какой-то одной формуле, потому что

существует множество конкретных функций, которые укладываются в рамки такого анализа. По аналогии с преобразованием Фурье вейвлет-преобразование сигнала состоит в его разложении по некоторому базису [74]. Вейвлет-преобразование одномерных сигналов, измеренных в начале и в процессе бурения, производят с определением их масштабно-временной развертки и значений полной энергии [50, 65]. В качестве базисной выбирается хорошо локализованная и по времени, и по частоте функция, обладающая рядом характерных признаков [64, 75]. В процессе бурения полученные значения необходимо сравнивать с эталонными, чтобы своевременно давать рекомендации по повышению точности оценки технического состояния породоразрушающего инструмента [76].

Этот тип анализа имеет такие недостатки: возможные амплитудные искажения и высокие погрешности из-за различий в масштабах и частотах, что приводит к неточной обработке результатов.

11 Методы статистического анализа включают в себя такой простой и эффективный инструмент, как метод Байеса, который особенно ценен при соблюдении определенных условий его применимости [61, 77]. Матрица Байеса применяется для анализа статистических данных, полученных при определенных условиях бурения и характеристиках технических устройств. Матрица Байеса помогает выявить признаки с наибольшей диагностической значимостью [77]. Существует несколько способов оценки диагностической важности признаков, где используется понятие диагностического веса реализации признака, чтобы не применять большую математическую обработку.

Метод Байеса имеет свои недостатки, главный из которых: большой объем предварительной информации и «угнетение» редко встречающихся диагнозов. Однако, если имеется достаточное количество статистических данных, метод Байеса можно применять как надёжный и эффективный инструмент для принятия решений [77].

Выводы.

1. Выявлено, что для восстановления заброшенных скважин и увеличения нефтеотдачи месторождений наиболее эффективным методом является фрезерование «окна» в эксплуатационной колонне с последующим бурением наклонно-направленных каналов с использованием специальных малогабаритных ВЗД. На основе анализа научно-технической информации об использовании фрезерных инструментов установлено, что существует необходимость в разра-

ботке новых и усовершенствовании существующих конструкций и методов эксплуатации, а также в своевременной оценке технического состояния для предотвращения аварийных ситуаций.

2. Определено, что в процессе эксплуатации существует необходимость своевременного мониторинга и оценки технического состояния компоновки, в том числе возможность прогнозирования подклинивания и заклинивания специального малогабаритного ВЗД.

3. Рассмотрены известные критерии косвенной оценки технического состояния глубинного оборудования, определено, что их применение не дает универсальных рекомендаций о рациональном времени работы глубинного оборудования. Установлено, что актуальным направлением будет являться разработка нового критерия диагностирования работоспособного состояния для последующего создания автоматизированной системы оценки технического состояния оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов С. ТРИЗ и налоги. Стимулы и препятствия для разработки трудноизвлекаемых запасов // Нефтегазовая вертикаль. Национальный отраслевой журнал [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ngv.ru/magazines/article/triz-inalogi/> (дата обращения: 12.04.2022).
2. Лягов И.А., Лягов А.В., Сулейманов И.Н., Качемаева М.А. Создание Технической системы «Перфобур» и исследование её работы в сильно искривленном канале при вынужденных продольных колебаниях // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2015. № 5. С. 45–105.
3. Лягов И.А., Лягов А.В., Исангулов Д.Р., Лягова А.А. Выбор необходимого количества промывочных переводников в специальной компоновке и исследование их работы при бурении радиально-разветвленных каналов секционными винтовыми двигателями // Записки Горного института. 2024. Т. 265. С. 78–86.
4. Рязанов А.А., Ермаков А.С., Папиз В.А., Лягов И.А., Лягов А.В., Баширов А.И., Макаренко В.А., Султанов Э.Р. Технология повторного вскрытия пласта методом радиального бурения каналов с использованием технической системы «Перфобур» // Бурение и нефть. 2023. № 5. С. 12–17.
5. Bashirov A.I., Lyagov I.A., Galas I.R. Combination of radial drilling technology with acid jetting: New approach in carbonate reservoir stimulation // Society of Petroleum Engineers. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2020. UAE, 2022. Pp. 1–11. DOI: 10.2118/202661-MS.

6. Акимов О.В., Кемпф К.В., Шкарин Д.В., Донской А.В., Баширов А.И., Макаренко В.А., Касимов Д.Л., Лягов А.В., Лягов И.А. Применение технологии радиального вскрытия пласта на Северо-Хоседаюском месторождении // Нефтяное хозяйство. 2024. № 4. С. 28–31. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-4-28-31.
7. Двойников М. В., Леушева Е. Л. Современные тенденции освоения углеводородных ресурсов // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 879–880.
8. Galas I.R., Bashirov A.I., Makarenko V.A., Miftakhov S.A., Lyagov I.A., Dolman L.F., Gulyaev D.N., Nikonorova A.N. The Method of Directional Radial Drilling of Channels for Stimulation of Oil Rim // Society of Petroleum Engineers. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2022. UAE. 2022. Pp. 1–15. DOI: 10.2118/211482-MS.
9. Кагарманов Н.Ф., Давлетбаев М.Р., Самигуллин В.Х., Шайнуров Р.С., Юмашев Р.Х., Гилязов Р.М. Вскрытие продуктивных пластов горизонтальными скважинами. Межвузовский тематический сб. науч. тр. Уфа: УГНТУ. 1996. С. 159–174.
10. Шайдаков В.В., Шулепов В.А., Шестакова Е.В. Безотказность винтовых забойных двигателей // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 9 (333). С. 21–24. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-9(333)-21-24.
11. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д. Российские винтовые забойные двигатели: вчера, сегодня, завтра // Бурение и нефть. 2024. № 1. С. 46–53.
12. Гуринович А.В., Симонянц С.Л. Выбор винтового забойного двигателя на этапе проектирования строительства скважины // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2024. № 4. С. 6–9.
13. Системы телеметрии в горизонтальном бурении: опыт российских компаний // Нефтегазовая промышленность. 2022. С. 44–50. [Электронный ресурс]. URL: https://dprom.online/wpcontent/uploads/2022/09/2_2022_NP.pdf (дата обращения: 26.10.2024).
14. Симонянц С.Л. Совершенствование вращательных способов бурения нефтегазовых скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2024. № 11(383). С. 5–8.
15. Двойников М.В. Проектирование траектории скважин для эффективного бурения роторными управляемыми системами // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 254–262. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.254.
16. Двойников М.В., Сидоркин Д.И., Юртаев С.Л., Грохотов Е.И., Ульянов Д.С. Бурение глубоких и сверхглубоких скважин с целью поиска и разведки новых месторождений полезных ископаемых // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 945–955. DOI: 10.31897/PMI.2022.55.
17. Кузнецов А.Б., Стефанов Р.Е., Рязанов М.В., Григулецкий В.Г. Новая методика оценки эффективности технологических решений вскрытия и освоения скважин в процессе бурения // Нефтепромышленное дело. 2022. № 5(641). С. 5–15. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-5(641)-5-15.
18. Дерендяев В.В., Мелехин А.А., Чернышов С.Е. Разработка высокоскоростной системы передачи данных при управлении траекторией ствола скважины в процессе бурения // Бурение и нефть. 2023. № 1. С. 41–43.
19. Заболотный А.С., Муксинов Р.Р., Хасанов Р.А. Организация работ с целью снижения отклонений от плановой траектории при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин с винтовыми забойными двигателями // Бурение и нефть. 2023. № 10. С. 20–24.
20. Двойников М.В., Сидоров Д.А., Камбулов Е.Ю., Лаврик А.Ю. Солеотложение и рапопроявление: анализ проблем возникающих при строительстве скважин // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 10(130). С. 20–25.
21. Lyagov I.A., Liagov A.V., Liagova A.A. Optimization of the configuration of the power sections of special small-sized positive displacement motors for deep-penetrating perforation using the technical system «Perfobore» // Applied Sciences. Switzerland, 2021. 11(11). Pp. 49–77. DOI: 10.3390/app11114977.
22. Борейко Д.А., Сериков Д.Ю., Быков И.Ю. Анализ методов диагностики технического состояния шарошечных буровых долот корпусного типа // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2021. № 2 (122). С. 11–14. DOI: 10.33285/1999-6934-2021-2(122)-11-14.
23. Лягов А.В., Лягов И.А., Сулейманов И.Н. Антивибрационные-стабилизирующие компоненты бурильной колонны для технической системы «Перфобур» // SOCAR Proceedings. Баку. 2020. № 4. С. 24–32. DOI: 10.5510/OGP20200400462.
24. Меджитов А.С. Перспективы развития технологии фрезерования «окна» в эксплуатационной колонне // Современные проблемы нефтегазового оборудования-2021. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2021. С. 65–69.
25. Абдуллин Н.М. Технологические особенности методов фрезерования обсадной ко-

лонны в вертикальных и наклонно-направленных скважинах // Бурение и нефть. 2024. № 1. С. 24–27.

26. Воевидко И.В., Чудык И.И. Особенности резки дополнительного ствола в эксплуатационной колонне скважины // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2014. № 3. С. 15–18.

27. Хасанов А.Ф., Левинсон Л.М. Анализ преимуществ и недостатков методов забуривания боковых стволов // Инновационные научные исследования в современном мире. 2019. С. 111–116.

28. Ломов А.П. Снижение аварийности при фрезеровании обсадной колонны. Снижение затрат времени при освоении скважины // Бурение и нефть. 2011. № 7-8. С. 12–13.

29. Гасанов А.П. Повышение эффективности работы фрезера-райбера при прорезании «окна» второго ствола в обсадной колонне высокопрочных труб // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2010. № 4. С. 31–33.

30. Шешукова К.В., Хайруллин А.А. Зарезка боковых стволов как метод увеличения нефтеотдачи // Научный форум. Сибирь. 2016. Т. 2. № 4. С. 73–74.

31. Нуриев М.Ф., Уваров О.В., Максимов М.В., Решитняк Р.В., Илюшников А.В., Шакирова А.С., Карелина Р.А. Формирование окна в обсадной колонне и дальнейшее бурение бокового ствола скважины на Киринском ГКМ // Газовая промышленность. 2018. № 10(775). С. 26–32.

32. Насыров А.Л., Мухаметшин А.А., Саитбатаров Р.Р., Гараева А.Ф. Анализ промыслового опыта по зарезке боковых стволов с применением оборудования различных сервисных компаний на объектах ПАО «Татнефть» // Нефтяная провинция. 2023. № 2(34). С. 150–164. DOI: 10.25689/NP.2023.2.150-164.

33. Хасанов А.Ф., Гаттарова М.Р. Анализ эффективности резки боковых стволов системой «Over Head» // Интеграция науки, общества, производства и промышленности. 2019. С. 144–147.

34. Zhang J., Wang G., He K., Ye C. Practice and understanding of sidetracking horizontal drilling in old wells in Sulige Gas Field, NW China // Petroleum Exploration and Development. 2019. Vol. 149. No.2. Pp. 384–392. DOI: 10.1016/S1876-3804(19)60018-2.

35. Шлеин Г.А., Егоров В.Ю., Корунов И.Д. Анализ причин осложнений при резке и креплении боковых стволов скважин // Молодой ученый. 2019. № 46 (284). С. 72–76.

36. Lyagov I.A., Baldenko F.D., Lyagov A.V., Yamaliev V.U., Lyagova A.A. Methodology for calculating technical efficiency of power sections in

small-sized screw downhole motors for the «Perforbur» system // Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 240. Pp. 694–700. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.694.

37. Рязанов А.А., Ермаков А.С., Папиж В.А., Султанов Э.Р., Лягов А.В., Лягов И.А., Макаренко В.А., Баширов А.И. Технология повторного вскрытия пласта методом радиального бурения каналов с использованием технической системы «Перфобур» // Нефтепромысловое дело. 2023. № 5(653). С. 5–12. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-5(653)-5-12.

38. Пат. 195139, Российская Федерация, МПК E21B 4/02, E21B 21/00, E21B 7/04. Бурильная компоновка с малогабаритным гидравлическим забойным двигателем / А.В. Лягов, И.А. Лягов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Перфобур». № 2019120556; заявл. 25.12.2017; опубл. 15.01.2020. Бюл. № 2. 17 с.

39. Лягов И.А., Соболев Д.Г., Лягов А.В., Балденко Ф.Д. Специальный винтовой забойный двигатель для технической системы «Перфобур» // Бурение и нефть. 2022. № 7-8. С. 22–27.

40. Рязанов А.А., Ермаков А.С., Лягов И.А., Баширов А.И., Лягов А.В., Макаренко В.А., Шубенок Р.Н. Технология радиального бурения каналов как метод восстановления аварийного фонда скважин // Инженер-нефтяник. 2024. № S5. С. 166–171.

41. Liagova A.A., Liagov I.A. The technology of completion reservoir by drilling a network of branched channels under controlled trajectory // Youth Technical Sessions Proceedings. Proceedings of the 6th Youth Forum of the World Petroleum Council- Future Leaders Forum. 2019. Pp. 345–351. DOI: 10.1201/9780429327070-47.

42. Шестакова Е.В., Лягов И.А., Ямалиев В.У., Лягов А.В. О работоспособном состоянии инструмента в процессе фрезерования обсадной колонны забойными двигателями // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 5. С. 526–532. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-5-526-527.

43. Лягов И.А., Лягов А.В., Исангулов Д.Р., Лягова А.А. Выбор необходимого количества промывочных переводников в специальной компоновке и исследование их работы при бурении радиально-разветвленных каналов секционными винтовыми двигателями // Записки Горного института. 2024. Т. 265. С. 78–86.

44. Лягов И.А., Лягов А.В., Шайдаков В.В., Грогуленко В.В., Зинатуллина Э.Я. Техническая система «Перфобур» для вторичного вскрытия продуктивного пласта // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2022. № 2(350). С. 47–52. DOI: 10.33285/0130-3872-2022-2(350)-47-52.

45. Шестакова Е.В., Лягов И.А., Ямалиев В.У., Лягов А.В. Использование критерия диагностирования для определения работоспособности фрезерного инструмента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2024. № 10(382). С. 29–37.
46. Шайдаков В.В., Забиров Ф.Ш., Смольников Е.С. Безотказность нового и отремонтированного нефтяного оборудования, сооружений // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2024. № 8(380). С. 43–47.
47. Лягов И.А., Губайдуллин А.Г., Лягов А.В., Могучев А.И., Попов А.Н. Прогнозирование рисков заклинивания для исключения возможности прихватав технической системы «Перфобур» при бурении разветвленных каналов в терригенных коллекторах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 10. С. 126–136. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2304.
48. Lyagov I.A., Vasilev N.I., Reich M., Mezzetti M. Analytical research and experimental tests on the technology for drilling small diameter channels with small radius of curvature // Oil Gas European Magazine. 2014. Vol. 40. No. 3. Pp. 124–129.
49. Пат. 2183266, Российская Федерация, МПК E21B 44/06, E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, А.Х. Мирзаджанзаде, М.М. Хасанов, Е.И. Ишемгузин, И.Е. Ишемгузин; заявитель и патентообладатель «Уфимский государственный нефтяной технический университет». № 2000124651/03; заявл. 27.09.2000; опубл. 10.06.2002. 5 с.
50. Михайлов А.Г., Шубин С.С., Алферов А.В., Имашев Р.Н., Ямалиев В.У. Повышение эффективности диагностирования эксплуатации скважинных штанговых насосов с помощью сверточных нейронных сетей // Нефтяное хозяйство. 2018. № 9. С. 122–126. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-9-122-126.
51. Кутузов П.А., Двойников М.В., Мелехин А.А., Юртаев С.Л., Кузнецова Н.Ю., Ярмолинский Л.М. Оперативный контроль технологии бурения. Оптическое волокно как новый инструмент измерений и связи для условий бурения наклонно-направленных скважин // Строительство и газовых скважин на суше и на море. 2023. № 5(365). С. 11–19. DOI: 10.33285/0130-3872-2023-5(365)-11-19.
52. Ганджумян Р.А., Симонянц С.Л. К вопросу об изучении вибрации буровой колонны как случайного процесса // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2018. № 3. С. 5–8. DOI: 10.30713/0130-3872-2018-3-5-8.
53. Ганджумян Р.А., Бронников И.Д., Тунгузов А.А., Нахангов Х.Н. Амплитуда продольных колебаний долота и нижнего торца буровой амортизированной системы // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2020. № 2. С. 32–33.
54. Ганджумян Р.А., Сырчина А.С., Попов В.О. Изучение вибраций долот с твердосплавным вооружением при бурении с очисткой забоя воздухом // Инженер-нефтяник. 2021. № 1. С. 60–63.
55. Ленков С.Н., Ямалиев В.У., Зубаиров С.Г. Вибродиагностические исследования на стенде цепного привода штангового скважинного насоса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 5. С. 76–82.
56. Mingazov R.R., Yamaliev V.Y. Development of vibration resistant PDC bit during drilling hard rock formation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd. 2022. 032055. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032055.
57. Бронников, И.Д., Тошов Ж.Б., Нахангов Х.Н. Аналитическая модель взаимодействия зубков шарошечного долота с забоем скважины // Инженер-нефтяник. 2017. № 2. С. 16–19.
58. Yamaliev V., Imaeva E., Salakhov T. About the deep drilling equipment technical condition recognition method // Oil and Gas Business 2009. No 1. Pp. 1–27.
59. А. с. 1629455, Союз Советских Социалистических Республик, МПК E21B 45/00. Способ определения степени износа опор турбобура / Е.И. Ишемгузин, Б.З. Султанов, В.У. Ямалиев, О.А. Заикина; заявитель Уфимский нефтяной институт. № 4391324; заявл. 10.03.1988; опубл. 23.02.1991. 3 с.
60. Burda E.A., Zusman G.V., Kudryavtseva I.S., Naumenko A.P. An Overview of Vibration Analysis Techniques for the Fault Diagnostics of Rolling Bearings in Machinery // Shock and Vibration. 2022. Vol. 2022. 6136231. DOI: 10.1155/2022/6136231.
61. Ишемгузин И.Е., Имаева Э.Ш. Оценка технического состояния глубинного бурового оборудования с использованием выбросов случайных колебаний осевой нагрузки // Электронный научный журнал. Нефтегазовое дело. 2003. № 1. С. 1–8.
62. Пат. 2819317, Российская Федерация, МПК E21B 47/007, E21B 45/00. Способ определения работоспособности фрезерного инструмента / Е.В. Шестакова, И.А. Лягов, В.У. Ямалиев, А.В. Лягов, И.Н. Сулейманов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». № 2023133380; заявл. 12.12.2023; опубл. 17.05.2024. Бюл. № 14. 14 с.

63. Бурда Е.А., Богомолов Д.Е., Наumenко А.П. Энтропийный подход при фильтрации сигналов акустической эмиссии // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26, № 1(295). С. 34–44. DOI: 10.14489/td.2023.01.pp.034-044.

64. Пат. 2335629, Российская Федерация, МПК E21B 44/00. Устройство для оценки состояния породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, Т.Р. Салахов, Э.Ш. Имаева; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». № 2006145009/03; заявл. 18.12.2006; опубл. 10.10.2008. 10 с.

65. Yamyalyiev V., Imaeva E., Salakhov T. Evaluation Procedure of technical condition of deep drilling equipment with use of neural networks // Oil and Gas Business. 2007. No. 2. Pp. 42–49.

66. Ленков С.Н., Ямалиев В.У. Диагностирование состояния цепного привода на основе статистического анализа вибросигналов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 1-2. С. 251–255.

67. Пат. 2739875, Российская Федерация, МПК E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, И.Р. Мамалимова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». № 2020116660; заявл. 12.05.2020; опубл. 29.12.2020. 11 с.

68. Пат. 2124125, Российская Федерация, МПК E21B 44/00, E21B 45/00. Способ регулирования оптимальной осевой нагрузки на долото при бурении скважин / И.Е. Ишемгузин, В.У. Ямалиев, В.В. Пашинский, Е.И. Ишемгузин, М.Н. Козлов, С.В. Назаров, Э.М. Галеев; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный нефтяной технический университет. № 97103910/03; заявл. 12.03.1997; опубл. 27.12.1998. 5 с.

69. Ямалиев В.У., Салахов Т.Р., Шубин С.С. Применение элементов теории детерминированного хаоса к решению задач технического диагностирования УЭЦН // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2014. № 4. С. 174–191.

70. А. с. 1800011, Союз Советских Социалистических Республик, МПК E21B 45/00. Способ

определения работоспособности породоразрушающего инструмента / А.Х. Мирзаджанзаде, Е.И. Ишемгузин, М.М. Хасанов, В.У. Ямалиев, Б.В. Гейер, О.А. Заикина; заявитель Уфимский нефтяной институт. № 4910926; заявл. 12.02.1991; опубл. 07.03.1993. 3 с.

71. А. с. 1506094, Союз Советских Социалистических Республик, МПК E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / Е.И. Ишемгузин, Б.З. Султанов, В.У. Ямалиев, В.П. Жулаев, А.В. Лягов, В.В. Шайдаков, А.С. Муртазин, А.Н. Зотов; заявитель Уфимский нефтяной институт. № 4301919; заявл. 03.09.1987; опубл. 07.09.1989. 2 с.

72. А. с. 1427059, Союз Советских Социалистических Республик, МПК E21B 45/00. Способ определения степени износа породоразрушающего инструмента / Е.И. Ишемгузин, В.У. Ямалиев, Б.З. Султанов, В.В. Шайдаков, А.В. Лягов, В.П. Жулаев, И.Е. Ишемгузин; заявитель Уфимский нефтяной институт. № 4142241; заявл. 08.09.1986; опубл. 30.09.1988. 3 с.

73. Пат. 2321737, Российская Федерация, МПК E21B 44/06. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / Е.И. Ишемгузин, Р.Ф. Надыршин, Э.Я. Зинатуллина, Э.Ш. Имаева, А.Н. Зотов, И.Е. Ишемгузин, А.Р. Атнагулов; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». № 2006124726/03; заявл. 10.07.2006; опубл. 10.04.2008. 5 с.

74. Пат. 2188939, Российская Федерация, МПК E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, М.М. Хасанов, Р.Н. Якупов, Е.И. Ишемгузин, И.Р. Кузеев, Д.С. Солодовников; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ЮганскНИПИнефть». № 2001113974/03; заявл. 25.05.2001; опубл. 10.09.2002. 11 с.

75. Хасанов М.М., Якупов Р.Н., Ямалиев В.У. Вейвлет-анализ в задаче диагностирования нефтепромыслового оборудования // Вестник Инжинирингового центра ЮКОС. 2001. № 2. С. 22–25.

76. Валиахметов Р.И., Ямалиев В.У., Шубин С.С., Алферов А.В. Применение эвристических алгоритмов в анализе данных для решения задачи диагностирования электроцентробежных насосных установок // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 2. С. 159–167.

77. Ямалиев В.У., Гареев Р.Р. Определение технического состояния динамического оборуду-

дования по результатам диагностических измерений // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10. № 3. С. 78–82.

Информация об авторах

Шестакова Евгения Владимировна, аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», старший преподаватель кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов». E-mail: shestakova2525@yandex.ru. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Поступила 01.11.2024 г.

© Шестакова Е.В., 2025

Shestakova E.V.

Ufa State Petroleum Technological University

E-mail: shestakova2525@yandex.ru

ABOUT DIFFERENT APPROACHES TO USING MILLING TOOLS

Abstract. The article establishes that the creation of small channels from a cased well with a given radius of curvature along a pre-planned trajectory remains an urgent direction for restoring abandoned wells and increasing oil recovery from old fields. Information about a downhole milling tool for milling a "window" in an operational column and subsequent drilling of channels using special small-sized screw downhole motors is reviewed. The scientific and technical information has been analyzed and it has been established that the relevant directions are the development of new and improvement of well-known tool structures for milling "windows" in casing columns of various strength groups. The prospect of monitoring the parameters of deep-sea equipment throughout its use through statistical analysis of time series, including changes in the technological parameters of milling, is investigated. The general information on the use of fluctuations in the technological parameters of the axial load on the milling tool and the pressure of the flushing liquid during the milling process, presented as a random process, is considered. The well-known criteria for indirect assessment of the technical condition of deep-sea equipment are analyzed, and it is determined that the condition of independence must be fulfilled when using them. It has been established that an important direction is the development of a new criterion for diagnosing a working condition for the subsequent creation of an automated system for monitoring and evaluating the technical condition of equipment, including the possibility of predicting wedging and jamming of a special small-sized screw downhole engine.

Keywords: secondary opening of the reservoir, milling of the production column, screw downhole motor, milling tool, diagnostic criteria, technical diagnostics.

REFERENCES

1. Tihonov S. TRIZ and taxes. Incentives and obstacles for the development of hard-to-recover reserves [TRIZ i nalogi. Stimuly i prepyatstviya dlya razrabotki trudnoizvlekaemykh zapasov]. Oil and gas vertical. National Industry Magazine. URL: <http://www.ngv.ru/maga-zines/article/triz-i-nalogi/> (date of application: 12.04.2022). (rus)
2. Lyagov I.A., Lyagov A.V., Suleymanov I.N., Kachemaeva M.A. Creation of the Perfobur Technical system and study of its operation in a strongly curved channel with forced longitudinal vibrations [Sozdanie Tekhnicheskoy sistemy «Perfobur» i issledovanie eyo raboty v sil'no iskrivlennom kanale pri vyzhdeniyakh prodol'nykh kolebaniyakh]. Network journal «Oil and Gas Business». 2015. No 5. Pp. 45–105. (rus)
3. Lyagov I.A., Lyagov A.V., Isangulov D.R., Lyagova A.A. Selection of the required number of flushing adapters in a special arrangement and investigation of their operation when drilling radially

branched channels with sectional screw motors [Vybor neobhodimogo kolichestva promyvochnykh perevodnikov v special'noj komponente i issledovanie ih raboty pri burenii radial'no-razvetvlyennykh kanalov sekcionnymi vintovymi dvigatelyami]. Journal of Mining Institute. 2024. Vol. 265. Pp. 78–86. (rus)

4. Ryazanov A.A., Yermakov A.S., Papizh V.A., Lyagov I.A., Lyagov A.V., Bashirov A.And., Makarenko V.A., Sultanov. E.R. The technology of re-opening the reservoir by radial channel drilling using the Perfobur technical system [The technology of re-opening the reservoir by radial channel drilling using the Perfobur technical system]. Drilling and Oil [Burenie i nef't']. 2023. No 5. Pp. 12–17. (rus)

5. Bashirov A.I., Lyagov I.A., Galas I.R. Combination of radial drilling technology with acid jetting: New approach in carbonate reservoir stimulation. Society of Petroleum Engineers. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2020. UAE, 2022. Pp. 1–11. DOI: 10.2118/202661-MS.

6. Akimov O.V., Kempf K.V., SHkarin D.V., Donskoj A.V., Bashirov A.I., Makarenko V.A., Kasimov D.L., Lyagov A.V., Lyagov I.A. Application of radial seam opening technology at the Severo-Khosedayskoye field [Primenenie tekhnologii radial'nogo vskrytiya plasta na Severo-Hosedayuskom mestorozhdenii]. Oil Industry. 2024. No 4. Pp. 28-31. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-4-28-31. (rus)
7. Dvoynikov M.V., Leusheva E.L. Modern trends in hydrocarbon resources development [Sovremennye tendencii osvoeniya uglevodorodnykh resursov]. Journal of Mining Institute. 2022. No. 258. Pp. 879–880. (rus)
8. Galas I.R., Bashirov A.I., Makarenko V.A., Miftakhov S.A., Lyagov I.A., Dolman L.F., Gulyaev D.N., Nikonorova A.N. The Method of Directional Radial Drilling of Channels for Stimulation of Oil Rim // Society of Petroleum Engineers. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2022. UAE. 2022. Pp. 1–15. DOI: 10.2118/211482-MS.
9. Kagarmanov N.F., Davletbaev M.R., Samigullin V.H., SHajnurov R.S., YUmashev R.H., Gilyazov R.M. Opening of productive formations with horizontal wells [Vskrytie produktivnykh plastov gorizonta'nymi skvazhinami]. ezhvuzovskij tematicheskij sb. nauch. tr. Ufa: UGNTU. 1996. Pp. 159–174. (rus)
10. Shaidakov V.V., Shulepov V.A., Shestakova E.V. Reliability of screw downhole motors [Bezotkaznost' vintovykh zabojnykh dvigatelej]. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2020. No 9 (333). Pp. 21–24. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-9(333)-21-24. (rus)
11. Baldenko D.F., Baldenko F.D. Russian positive displacement motors: yesterday, today, tomorrow [Rossijskie vintovye zabojnye dvigateli: vchera, segodnya, zavtra]. Drilling and Oil [Burenie i neft']. 2024. No 1. Pp. 46-53. (rus)
12. Gurinovich A.V., Simonyants S.L. Selecting a screw downhole motor at the design stage of well drilling [Vybor vintovogo zabojnogo dvigatelya na etape proektirovaniya stroitel'stva skvazhiny]. Bulletin of the Association of Drilling Contractors. 2024. No 4. Pp. 6–9. (rus)
13. Telemetry systems in horizontal drilling: the experience of Russian companies [Sistemy telemekhaniki v gorizonta'lnom burenii: opyt rossijskikh kompanij]. Oil and gas industry. 2022. Pp. 44–50. URL: https://dprom.online/wp-content/uploads/2022-09/2_2022_NP.pdf (date of application: 26.10.2024). (rus)
14. Simonyants S.L. Improvement of rotational drilling methods for oil and gas wells [Sovershenstvovanie vrashchatel'nykh sposobov bureniiya neftegazovykh skvazhin]. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2024. No 11(383). Pp. 5-8. (rus)
15. Dvoynikov M.V. Well trajectory design for efficient drilling by rotary controlled systems [Proektirovanie traektorii skvazhin dlya effektivnogo bureniiya rotornymi upravlyaemymi sistemami]. Journal of Mining Institute. 2018. Vol. 231. Pp. 254–262. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.254. (rus)
16. Dvoynikov M.V., Sidorkin D.I., Yurtaev S.L., Grokhotov E.I., Ulyanov D.S. Drilling of deep and ultra-deep wells in order to search and explore new mineral deposits [Burenie glubokikh i sverhglubokikh skvazhin s cel'yu poiska i razvedki novykh mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh]. Journal of Mining Institute. 2022. No. 258. Pp. 945–955. DOI:10.31897/PMI.2022.55. (rus)
17. Kuznetsov A.B., Stefanov R.E., Ryazapov M.V., Griguletsky V.G. A new methodology for evaluating the effectiveness of technological solutions for opening and developing wells in the drilling process [Novaya metodika ocenki effektivnosti tekhnologicheskikh reshenij vskrytiya i osvoeniya skvazhin v processe bureniiya]. Oilfield engineering. 2022. No. 5(641). Pp. 5–15. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-5(641)-5-15. (rus)
18. Derendyaev V.V., Melekhin A.A., Chernyshov S.E. Development of a high-speed data transmission system for controlling the trajectory of the borehole during drilling [Razrabotka vysokoskorostnoj sistemy peredachi dannykh pri upravlenii traektoriej stvola skvazhiny v processe bureniiya]. Drilling and Oil [Burenie i neft']. 2023. No. 1. Pp. 41-43. (rus)
19. Zabolotnyj A.S., Muksinov R.R., Hasanov R.A. Organization of work in order to reduce deviations from the planned trajectory when drilling directional and horizontal wells with screw downhole motors [Organizatsiya rabot s cel'yu snizheniya otklonenij ot planovoj traektorii pri burenii naklonno-napravlennykh i gorizonta'lnykh skvazhin s vintovymi zabojnymi dvigatelyami]. Drilling and Oil [Burenie i neft']. 2023. No 10. Pp. 20–24. (rus)
20. Dvoynikov M.V., Sidorov D.A., Kambulov E.Yu., Lavrik A.Yu. Salt deposition and rapid occurrence: analysis of problems arising during the construction of wells [Soleotlozhenie i rapoproyavlenie: analiz problem voznikayushchih pri stroitel'stve skvazhin]. Business Magazine Neftegaz.RU. 2022. No. 10(130). Pp. 20–25. (rus)
21. Lyagov I.A., Liagov A.V., Liagova A.A. Optimization of the configuration of the power sections of special small-sized positive displacement motors for deep-penetrating perforation using the technical system «Perfobore». Applied Sciences. Switzerland, 2021. 11(11). Pp. 49–77. DOI: 10.3390/app11114977.

22. Borejko D.A., Serikov D.YU., Bykov I.YU. Analysis of diagnostic methods for the technical condition of shell-type roller drill bits [Analiz metodov diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya sharoshechnykh burovnykh dolot korpusnogo tipa]. Equipment and technologies for oil and gas complex. 2021. No 2 (122). Pp. 11–14. DOI:10.33285/1999-6934-2021-2(122)-11-14. (rus)
23. Lyagov A.V., Lyagov I.A., Sulejmanov I.N. Anti-vibration-stabilizing drill string arrangements for the Perfobur technical system [Antivibratsionnye-stabiliziruyushchie komponenty buril'noy kolonny dlya tekhnicheskoy sistemy «Perfobur»]. SOCAR Proceedings. Baku. 2020. No 4. Pp. 24–32. DOI: 10.5510/OGP20200400462. (rus)
24. Medzhitov A.S. Prospects for the development of "window" milling technology in an operational column [Perspektivy razvitiya tekhnologii frezerovaniya «okna» v ekspluatatsionnoy kolonne]. Modern problems of oil and gas equipment-2021 [Sovremennyye problemy neftegazovogo oborudovaniya-2021]. Ufa: Ufa State Petroleum Technological University. 2021. Pp. 65–69. (rus)
25. Abdullin N.M. Technological features of casing milling methods in vertical and directional wells [Tekhnologicheskie osobennosti metodov frezerovaniya obsadnoy kolonny v vertikal'nykh i naklonno-napravlennykh skvazhinah]. Drilling and Oil [Burenie i nef't']. 2024. No 1. Pp. 24–27. (rus)
26. Voevidko I.V., Chudyk I.I. Features of cutting an additional trunk in the production well column [Osobennosti zarezki dopolnitel'nogo stvola v ekspluatatsionnoy kolonne skvazhiny]. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2014. No 3. Pp. 15–18. (rus)
27. Hasanov A.F., Levinson L.M. Analysis of the advantages and disadvantages of side barrel drilling methods [Analiz preimushchestv i nedostatkov metodov zaburivaniya bokovykh stvolov]. Innovatsionnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2019. Pp. 111–116. (rus)
28. Lomov A.P. Reduction of accidents during casing milling. Reducing the time spent on well development [Snizhenie avarijnosti pri frezerovanii obsadnoy kolonny. Snizhenie zatrat vremeni pri osvoenii skvazhiny]. Drilling and Oil [Burenie i nef't']. 2011. No 7-8. Pp. 12–13. (rus)
29. Hasanov A.P. Improving the efficiency of the reiber milling cutter when cutting through the "window" of the second barrel in the casing of high-strength pipes [Povyshenie effektivnosti raboty frezera-rajbera pri prorezanii «okna» vtorogo stvola v obsadnoy kolonne vysokoprochnykh trub]. Equipment and technologies for the oil and gas complex. 2010. No. 4. Pp. 31–33. (rus)
30. Sheshukova K.V., Hajrullin A.A. Side barrel cutting as a method of increasing oil recovery [Zarezka bokovykh stvolov kak metod uvelicheniya nefteotdachi]. Scientific Forum. Siberia [Nauchnyy forum. Sibir']. 2016. Vol. 2. No 4. Pp. 73–74. (rus)
31. Nuriev M.F., Uvarov O.V., Maksimov M.V., Reshitnyak R.V., Ilyushnikov A.V., Shakirova A.S., Karelina R.A. Formation of a window in the casing and further drilling of the lateral borehole at the Kirinsky Gas field [Formirovanie okna v obsadnoy kolonne i dal'neyshee burenie bokovogo stvola skvazhiny na Kirinskom gKm]. GAS Industry of Russia. 2018. No 10(775). Pp. 26–32. (rus)
32. Nasyrov A.L., Muhametshin A.A., Saitbatulov R.R., Garaeva A.F. Analysis of the field experience in cutting side barrels using equipment from various service companies at the facilities of PJSC Tatneft [Analiz promyslovogo opyta po zarezke bokovykh stvolov s primeneniem oborudovaniya razlichnykh servisnykh kompaniy na ob'ektakh PAO «Tatneft»]. Neftyanaya Provintsiya. 2023. No 2(34). Pp. 150–164. DOI: 10.25689/NP.2023.2.150-164. (rus)
33. Khasanov A.F., Gattarova M.R. Analysis of the effectiveness of cutting side barrels with the «Over Head» system [Analiz effektivnosti zarezki bokovykh stvolov sistemoy «Over Head»]. Integratsiya nauki, obshchestva, proizvodstva i promyshlennosti. 2019. Pp. 144–147. (rus)
34. Zhang J., Wang G., He K., Ye C. Practice and understanding of sidetracking horizontal drilling in old wells in Sulige Gas Field, NW China. Petroleum Exploration and Development. 2019. Vol. 149. No.2. Pp. 384–392. DOI: 10.1016/S1876-3804(19)60018-2.
35. Shlein G.A., Egorov V.YU., Korunov I.D. Analysis of the causes of complications during cutting and fastening of lateral boreholes [Analiz prichin oslozhnenij pri zarezke i krepilii bokovykh stvolov skvazhin]. Young scientist. 2019. No 46 (284). Pp. 72–76. (rus)
36. Lyagov I.A., Baldenko F.D., Lyagov A.V., Yamaliev V.U., Lyagova A.A. Methodology for calculating technical efficiency of power sections in small-sized screw downhole motors for the «Perfobur» system. Journal of Mining Institute. 2019. No. 240. Pp. 694–700. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.694.
37. Ryazanov A.A., Ermakov A.S., Papizh V.A., Sultanov E.R., Lyagov A.V., Lyagov I.A., Makarenko V.A., Bashirov A.I. The technology of re-opening the reservoir by radial channel drilling using the Perfobur technical system [Tekhnologiya povtornogo vskrytiya plasta metodom radial'nogo burenija kanalov s ispol'zovaniem tekhnicheskoy sistemy «Perfobur»]. Oilfield engineering. 2023. No 5(653). Pp. 5–12. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-5(653)-5-12. (rus)
38. Lyagov A.V., Lyagov I.A. Drilling layout with a small-sized hydraulic downhole motor

[Buril'naya komponentovka s malogabaritnym gidravlicheskim zabojnym dvigatelem] Patent RF, no. 2019120556, 2020.

39. Lyagov I.A., Sobolev D.G., Lyagov A.V., Baldenko F.D. Special screw downhole motor for the Perfobur technical system [Special'nyj vintovoj zabojnyj dvigatel' dlya tekhnicheskoy sistemy «Perfobur»]. Drilling and Oil [Burenie i nef't']. 2022. No 7-8. Pp. 22–27. (rus)

40. Ryazanov A.A., Ermakov A.S., Lyagov I.A., Bashirov A.I., Lyagov A.V., Makarenko V.A., SHubenok R.N. Radial channel drilling technology as a method of restoring the emergency fund of wells [Tekhnologiya radial'nogo bureniya kanalov kak metod vosstanovleniya avarijnogo fonda skvazhin]. Inzhener-neftyanik. 2024. No S5. Pp. 166–171. (rus)

41. Liagova A.A., Liagov I.A. The technology of completion reservoir by drilling a network of branched channels under controlled trajectory. Youth Technical Sessions Proceedings. Proceedings of the 6th Youth Forum of the World Petroleum Council- Future Leaders Forum. 2019. Pp. 345–351. DOI: 10.1201/9780429327070-47.

42. Shestakova E.V., Lyagov I.A., Yamaliev V.U., Lyagov A.V. About the working condition of the tool in the process of milling the casing with downhole motors [O rabotosposobnom sostoyanii instrumenta v processe frezerovaniya obsadnoj kolonny zabojnymi dvigatelyami]. News of the Tula state university. Technical sciences. 2024. No 5. Pp. 526–532. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-5-526-527. (rus)

43. Lyagov I.A., Lyagov A.V., Isangulov D.R., Lyagova A.A. Selection of the required number of flushing adapters in a special arrangement and investigation of their operation when drilling radially branched channels with sectional screw motors [Vyb- or neobhodimogo kolichestva promyvochnyh perevodnikov v special'noj komponentovke i issledo- vanie ih raboty pri burenii radial'no-razvetvlen- nyh kanalov sekcionnymi vintovymi dvigatelyami]. Journal of Mining Institute. 2024. Vol. 265. Pp. 78–86. (rus)

44. Lyagov I.A., Lyagov A.V., Shaidakov V.V., Grogulenko V.V., Zinatullina E.Ya. Perfobur technical system for secondary opening of a productive reservoir [Tekhnicheskaya sistema «Perfobur» dlya vtorichnogo vskrytiya produktivnogo plasta]. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2022. No 2(350). Pp. 47–52. DOI: 10.33285/0130-3872-2022-2(350)-47-52. (rus)

45. Shestakova E.V., Lyagov I.A., Yamaliev V.U., Lyagov A.V. Using a diagnostic criterion to determine the operability of a milling tool [Ispol'zovanie kriteriya diagnostirovaniya dlya opre- deleniya rabotosposobnosti frezernogo instrumenta].

Construction of oil and gas wells on land and sea. 2024. No 10(382). Pp. 29–37. (rus)

46. Shaidakov V.V., Zabirov F.Sh., Smolnikov E.S. Reliability of new and repaired oil equipment, structures [Bezotkaznost' novogo i otremonirovan- nogo neftyanogo oborudovaniya, sooruzhenij]. Con- struction of oil and gas wells on land and sea. 2024. No. 8(380). Pp. 43–47. (rus)

47. Lyagov I.A., Gubaidullin A.G., Lyagov A.V., Moguchev A.I., Popov A.N. Forecasting the risks of jamming to eliminate the possibility of grab- bing the technical system "Perfobur" when drilling branched channels in terrigenous reservoirs [Prognozirovanie riskov zaklinivaniya dlya isklyucheniya vozmozhnosti prihvato- v tekhnich- eskoj sistemy «Perfobur» pri burenii razvetvlen- nyh kanalov v terrigennyh kollektorah]. Bulletin of the tomsk polytechnic university. Geo assets engineer- ing. 2019. Vol. 330. No 10. Pp. 126–136. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2304. (rus)

48. Lyagov I.A., Vasilev N.I., Reich M., Mez- zetti M. Analytical research and experimental tests on the technology for drilling small diameter chan- nels with small radius of curvature. Oil Gas Euro- pean Magazine. 2014. No. 40(3). Pp. 124–129.

49. Yamaliev V.U., Mirzajanzade A.H., Khasanov M.M., Ishemguzhin E.I., Ishemguzhin I.E. A method for determining the operability of a rock- crushing tool. Patent RF, no 2000124651/03, 2002.

50. Mikhailov A.G., Shubin S.S., Alferov A.V., Imashev R.N., Yamaliev V.U. Improving the effi- ciency of diagnosing the operation of downhole rod pumps using convolutional neural networks [Pov- yshenie effektivnosti diagnostirovaniya ekspluata- cii skvazhinnyh shtangovyh nasosov s pomoshch'yu svertochnykh nejronnykh setej]. Oil industry. 2018. No 9. Pp. 122–126. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-9-122-126. (rus)

51. Kutuzov P.A., Dvoynikov M.V., Melekhin A.A., Yurtaev S.L., Kuznetsova N.Yu., Yarmolinsky L.M. Operational control of drilling technology. Op- tical fiber as a new measurement and communication tool for directional well drilling conditions [Opera- tivnyj kontrol' tekhnologii bureniya. Opticheskoe volokno kak novyj instrument izmerenij i svyazi dlya uslovij bureniya naklonno-napravlennyh skvazhin]. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2023. No. 5(365). Pp. 11–19. DOI: 10.33285/0130-3872-2023-5(365)-11-19. (rus)

52. Ganjumyan R.A., Simonyants S.L. On the issue of studying the vibration of a drill string as a random process [K voprosu ob izuchenii vibracii buril'noj kolonny kak sluchajnogo processa]. Con- struction of oil and gas wells on land and sea. 2018. No 3. Pp. 5–8. DOI: 10.30713/0130-3872-2018-3-5-8. (rus)

53. Ganjumyan R.A., Bronnikov I.D., Tungusov A.A., Nakhangov H.N. Amplitude of longitudinal vibrations of the bit and the lower end of the damped drilling system [Amplituda prodol'nyh kolebanij dolota i nizhnego torca buril'noj amortizirovannoj sistemy]. Association of Drilling Contractors. 2020. No. 2. Pp. 32–33. (rus)
54. Ganjumyan R.A., Syrchina A.S., Popov V.O. Study of vibrations of bits with carbide armament during drilling with air purification [Izuchenie vibracij dolot s tverdospлавnym vooruzheniem pri burenii s ochistkoj zaboya vozduhom]. Inzhener-neftyanik. 2021. No. 1. Pp. 60–63. (rus)
55. Lenkov S.N., Yamaliev V.U., Zubairov S.G. Vibrodiagnostic studies on the stand of a chain drive of a rod borehole pump [Vibrodiagnosticheskie issledovaniya na stende cepnogo privoda shtangovogo skvazhinного nasosa]. Bulletin of the tomsk polytechnic university. Geo assets engineering. 2018. Vol. 329. No 5. Pp. 76–82. (rus)
56. Mingazov R.R., Yamaliev V.Y. Development of vibration resistant PDC bit during drilling hard rock formation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd. 2022. Pp. 032055. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032055.
57. Bronnikov, I.D., Toshov Zh.B., Nakhangov H.N. Analytical model of interaction of teeth of a roller bit with the bottom of a well [Analiticheskaya model' vzaimodejstviya zubkov sharoshechnого dolota s zaboem skvazhiny]. Inzhener-neftyanik. 2017. No. 2. Pp. 16–19. (rus)
58. Yamaliev V., Imaeva E., Salakhov T. About the deep drilling equipment technical condition recognition method. Oil and Gas Business 2009. No 1. Pp. 1–27.
59. Ishemguzhin E.I., Sultanov B.Z., Yamaliev V.U., Zaikina O.A. Method for determining the degree of wear of turbobur supports. Patent USSR, no 4391324, 1991.
60. Burda E.A., Zusman G.V., Kudryavtseva I.S., Naumenko A.P. An Overview of Vibration Analysis Techniques for the Fault Diagnostics of Rolling Bearings in Machinery. Shock and Vibration. 2022. No. 2022. Pp. 6136231. DOI: 10.1155/2022/6136231.
61. Ishemguzhin I.E., Imaeva E.Sh. Assessment of the technical condition of deep drilling equipment using emissions of random axial load fluctuations [Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya glubinnого burovogo oborudovaniya s ispol'zovaniem vybrosov sluchajnyh kolebanij osevoj nagruzki]. Network journal «Oil and Gas Business». 2003. No 1. Pp. 1–8. (rus)
62. Shestakova E.V., Lyagov I.A., Yamaliev V.U., Lyagov A.V., Suleymanov I.N. Method for determining the operability of milling tools. Patent RF, no 2023133380, 2024.
63. Burda E.A., Bogomolov D.E., Naumenko A.P. Entropy approach to filtering acoustic emission signals [Entropijnyj podhod pri fil'tracii signalov akusticheskoy emissii]. Control. Diagnostics. 2023. No. 1(295). Pp. 34–44. DOI: 10.14489/td.2023.01. Pp. 034-044.
64. Yamaliev V.U., Salakhov T.R., Imaeva E.S. A device for assessing the condition of a rock-breaking tool. Patent RF, no 2006145009/03, 2008.
65. Yamaliev V.U., Imaeva E.Sh., Salakhov T.R. On the possibility of recognizing the technical conditions of deep drilling equipment [O vozmozhnosti raspoznavaniya tekhnicheskikh sostoyanij glubinnого burovogo oborudovaniya]. Petroleum engineering. 2005. No 3. Pp. 127–132. (rus)
66. Lenkov S.N., Yamaliev V.U. Diagnosing the condition of a chain drive based on statistical analysis of vibration signals [Diagnostirovanie sostoyaniya cepnogo privoda na osnove statisticheskogo analiza vibrosignalov]. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. Vol. 19. No 1-2. Pp. 251–255. (rus)
67. Yamaliev V.U., Mamalimova I.R. Method for determining the operability of a rock-breaking tool. Patent RF, no 2020116660, 2020.
68. Ishemguzhin I.E., Yamaliev V.U., Pashinsky V.V., Ishemguzhin E.I., Kozlov M.N., Nazarov S.V., Galeev E.M., Lyagov A.V. A method for regulating the optimal axial load on a chisel when drilling wells. Patent RF, no 97103910/03, 1997.
69. Yamaliev V.U., Salakhov T.R., Shubin S.S. Application of elements of the theory of deterministic chaos to solving problems of technical diagnostics of ESP [Primenenie elementov teorii determinirovannого haosa k resheniyu zadach tekhnicheskого diagnostirovaniya UECN]. Network journal «Oil and Gas Business». 2014. No 4. Pp. 174–191. (rus)
70. Mirzajanzade A.H., Ishemguzhin E.I., Khasanov M.M., Yamaliev V.U., Geyer B.V., Zaikina O.A. Method for determining the operability of a rock-crushing tool. Patent USSR, no 4910926, 1993.
71. Ishemguzhin E.I., Sultanov B.Z., Yamaliev V.U., Zhulaev V.P., Lyagov A.V., Shaidakov V.V., Murtazin A.S., Zotov A.N. Method for determining the operability of a rock-crushing tool. Patent USSR, no 4301919, 1989.
72. Ishemguzhin E.I., Yamaliev V.U., Sultanov B.Z., Shaidakov V.V., Lyagov A.V., Zhulaev V.P., Ishemguzhin I.E. Method for determining the degree of wear of a rock-crushing tool. Patent USSR, no 4142241, 1988.

73. Ishemguzhin E.I., Nadyrshin R.F., Zinatulina E.Ya., Imaeva E.Sh., Zotov A.N., Ishemguzhin I.E., Atnagulov A.R. Method for determining the operability of a rock-crushing tool. Patent RF, no 2006124726/03, 2008.

74. Yamaliev V.U., Khasanov M.M., Yakupov R.N., Ishemguzhin E.I., Kuzeev I.R., Solodovnikov D.S. A method for determining the operability of a rock-crushing tool. Patent RF, no 2001113974/03, 2002.

75. Khasanov M.M., Yakupov R.N., Yamaliev V.U. Wavelet analysis in the task of diagnosing oil-field equipment [Vejvlet-analiz v zadache diagnostirovaniya neftepromyslovogo oborudovaniya]. Vestnik inzhiniringovogo centra YUKOS. 2001. No 2. Pp. 22–25. (rus)

76. Valiakhmetov R. I., Yamaliev V. U., Shubin S. S., Alferov A.V. The use of heuristic algorithms in data analysis to solve the problem of diagnosing electric centrifugal pumping units [Primenenie evristicheskikh algoritmov v analize dannyh dlya resheniya zadachi diagnostirovaniya elektrocen-trobezhnyh nasosnyh ustanovok]. Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo assets engineering. 2018. Vol. 329. No 2. Pp. 159–167. (rus)

77. Yamaliev V.U., Gareev R.R. Determination of the technical condition of dynamic equipment based on the results of diagnostic measurements [Opredelenie tekhnicheskogo sostoyaniya dinamicheskogo oborudovaniya po rezul'tatam diagnosticheskikh izmerenij]. Petroleum engineering. 2012. Vol. 10. No 3. Pp. 78–82. (rus)

Information about the author

Shestakova, Evgeniya V. Postgraduate student. E-mail: shestakova2525@yandex.ru. Ufa State Petroleum Technological University. Russia, 450064, Ufa, st. Kosmonavtov, 1.

Received 01.11.2024

Для цитирования:

Шестакова Е.В. О различных подходах использования фрезерного инструмента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 5. С. 118–136. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-5-118-136

For citation:

Shestakova E.V. About different approaches to using milling tools. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 5. Pp. 118–136. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-5-118-136