



УДК 622.243.2

ОЦЕНКА ПРИМЕНЯЕМЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАБОЕВ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЗАБУРИВАНИЯ НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ ИЗ НЕОБСАЖЕННОГО СТВОЛА СКВАЖИНЫ

ASSESSMENT ARTIFICIAL BOTTOMHOLES USED AT DRILLING OF A NEW DIRECTION OF AN UNCASSED WELL BORE

Еловых Павел Федорович

аспирант, начальник производственно-технологического отдела Управления по организации геологоразведочных работ по Восточной Сибири (г. Красноярск), ООО «Газпром геологоразведка»
pavlo.rt@mail.ru

Нескоромных Вячеслав Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых Института горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский Федеральный Университет
sovair@bk.ru

Аннотация. Приведены основные этапы проведения работ при осуществлении забуривания новых направлений с искусственного забоя. Сформулированы основные требования, предъявляемые к материалу искусственных забоев. Рассмотрены применяемые технологии по созданию искусственных забоев при осуществлении забуривания новых направлений из открытого ствола скважины. Рассмотрено взаимодействие породоразрушающего инструмента с горной породой и с материалом искусственного забоя при осуществлении забуривания нового ствола. Сформулировано дополнительное требование к применяемому материалу искусственного забоя и породоразрушающему инструменту, способствующее повышению эффективности операции по забуриванию нового ствола в твердых и крепких горных породах.

Ключевые слова: направленное бурение, фрезерующая способность долота, забуривание нового ствола, искривление скважины, наработка уступа, искусственный забой, цементный мост, открытый ствол, забуривание в твердых и крепких горных породах, породоразрушающий инструмент, механическая скорость бурения.

Elovykh Pavel Fedorovich

Postgraduate Student, Head of production and technology Department, Management of organization exploration in Eastern Siberia (Krasnoyarsk), LLC «Gazprom Geologorazvedka»
pavlo.rt@mail.ru

Neskoromnykh Vyacheslav Vasilievich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technology and engineering exploration of mineral deposits of Institute of mining, Geology and geotechnologies, Siberian Federal University
sovair@bk.ru

Annotation. The main stages of carrying out work in the implementation of drilling new directions from an artificial bottomhole. The main requirements for the material of artificial bottomholes are formulated. Considered are the technologies used to create artificial bottomholes in the process of drilling new directions from an open wellbore. The interaction of the drilling bits with the rock and the material of the artificial bottomhole during the drilling of a new trunk is considered. An additional requirement has been formulated for the applied material of the artificial bottomhole and the drilling bit, which contributes to the increase in the efficiency of the drilling operation of a new trunk in hard and strong rocks.

Keywords: directional drilling, the ability of the milling bit, the drilling the new hole, the curvature of the wells, drilling of the bench, the artificial bottomhole, cement artificial bottomhole, open hole, drilling in hard and strong rocks, drilling bits, mechanical speed of drilling.

При осуществлении строительства глубоких скважин на нефть и газ, в основном применяющиеся технологии и технические средства для забуривания нового бокового ствола скважины из необсаженного ствола, можно разделить на две группы:

- С применением стационарных клиновых отклонителей, устанавливаемых в необсаженном стволе скважины на опорный цементный мост либо на забой.
- С применением отклонителей непрерывного действия с искусственных забоев.

При осуществлении забуривания с применением стационарных клиньев, сам клин после установки остается в скважине, и высока вероятность нарушения его расположения при осуществлении дальнейшего бурения скважины, что может негативно сказаться на продолжении работ по бурению, возможна заклинка бурильной колонны, непрохождение места установки клина компоновкой. При осуществлении строительства скважин в удаленных от развитой инфраструктуры местностях со сложной логистической схемой, доставка стационарного клина и комплекса оборудования для забуривания нового ствола может занять довольно продолжительный период времени. В связи с вышеизложенным, данная технология забуривания в настоящее время применяется крайне редко.



Рассмотрим более подробно технику и технологию забуривания нового направления из необсаженного ствола скважины с применением отклонителей непрерывного действия. Условно, процесс забуривания дополнительного ствола скважины можно разделить на три основных этапа:

1. Создание искусственного забоя в месте предполагаемого забуривания нового ствола.
2. Образование уступа в стенке скважины – начальный период формирования направления дополнительного ствола скважины.
3. Формирование нового направления дополнительного ствола скважины – окончательный этап забуривания.

Особое и важное значение имеют первые два этапа, успешное и качественное выполнение которых практически гарантирует успех операции по забуриванию нового ствола скважины. После образования уступа на определенную ширину процесс формирования нового направления дополнительного ствола скважины практически мало чем отличается от обычного процесса искусственного искривления. Рассмотрим более подробно первый этап процесса забуривания связанный с созданием искусственного забоя.

Создание искусственного забоя

Одной из проблем забуривания дополнительных стволов скважин из необсаженных стволов является создание искусственных забоев высокой твердости, которая должна быть выше или близка к твердости горных пород, слагающих стенку скважины в интервале забуривания. К материалам, используемым для создания искусственного забоя предъявляются следующие требования:

- сформированный искусственный забой должен обладать высокой адгезией с породой, для исключения смещения искусственного забоя в процессе забуривания;
- материал искусственного забоя должен противостоять ударным и вибрационным нагрузкам;
- материал искусственного забоя должен обладать возможностью доставки, размещения и закрепления его в стволе скважины;
- сроки схватывания твердеющих смесей, должны обеспечивать набор необходимой твердости за минимальный промежуток времени;
- скорость разбуривания искусственного забоя должна быть ниже скорости бурения достигнутой при углублении в интервале забуривания нового ствола.

При забуривании дополнительного ствола в твердых и крепких породах данное требование довольно сложно выполнить, так как применяемые материалы для создания искусственных забоев не превышают, в лучшем случае VII–VIII категории по буримости [1], при применении в качестве материала искусственного забоя эпоксидных композиций, технология установки которых достаточно сложна, трудоемка, требует значительных затрат времени на установку и отверждение смеси и высокой квалификации исполнителей. Кроме этого, при забуривании нового направления ствола скважины задача усложняется вследствие чрезмерного увеличения действия отклоняющих сил со стороны стенки скважины, из которой забуривается ствол, и забоя нового ствола.

В настоящее время для создания искусственных забоев, необходимых для забуривания новых стволов в глубоких скважинах, в основном, используются цементные, цементно-песчаные, шлакопесчаные смеси на основе портландцемента и шлакового цемента. [2]. Проводятся исследования и усовершенствование цементных смесей, направленные на повышение прочностных и адгезионных характеристик образующего цементного камня. Коллективом авторов (Кузнецова О.Г., Фефелов Ю.В., Чугаева О.А. и др.) предложен тампонажный состав для установки зарезных опорных мостов [3]. Данный тампонажный состав отличается повышенной прочностью образующегося цементного камня при одновременном обеспечении прокачиваемости и достижении оптимальных сроков твердения при низком водоцементном соотношении. Пределы прочности данного цементного камня на изгиб/сжатие через 24 часа ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ) составили: Предел прочности на изгиб – 4,3–7,6 МПа, Предел прочности на сжатие – 9,5–29 МПа. Тампонажный состав был разработан для установки цементных мостов в интервалах, сложенных известняками окского и верейского горизонтов, предел прочности при сжатии, полученный при испытании образцов керна которых, составил 18,9 МПа и 20,7 МПа, соответственно. Таким образом данный тампонажный состав также не решает проблемы забуривания в горных породах высокой категории твердости.

При осуществлении забуривания нового ствола скважины между собой взаимодействуют три компонента, это разбуриваемый искусственный забой, фрезеруемая горная порода, которой сложены стенки скважины (создание нового направления), и непосредственно породоразрушающий инструмент, применяемый для зарезания нового ствола скважины. Задача успешного забуривания зависит не только от применяемой компоновки, но и от физико-механических свойств горных пород и материала искусственного забоя. Таким образом, одной из задач создания благоприятных условий для забуривания нового ствола, можно считать повышение механической скорости фрезерования и углубления в горную породу (взаимодействие породоразрушающего инструмента и горной породы, слагающей стенки скважины), и одновременное снижение механической скорости разрушения и углубле-



ния по материалу искусственного забоя (взаимодействие породоразрушающего инструмента и материала искусственного забоя) [4, 5]. Этого можно достичь путем подбора этих трех компонентов таким образом, чтобы выполнялось данное условие. При осуществлении забуривания в горных породах, прочность которых меньше прочности цементного камня, данная задача решается путем установки цементного моста. Как показывает практика, в таких условиях успешность забуривания нового направления довольно высока. При забуривании с установленного цементного моста в интервале, сложенном крепкими и твердыми горными породами, напротив, успешность забуривания дополнительного ствола с установленного цементного моста снижается.

Для повышения прочностных характеристик искусственного забоя скважины известны следующие методы.

Использование kernового материала при создании искусственного забоя путем его размещения в вязущем материале до отверждения последнего [4]. Куски керна, после выдавливания из контейнера занимают в скважине соосное положение и практически перекрывают сечение ствола. В этом случае удастся получить практически по всей площади сечения ствола забой высокой прочности. Данное решение может быть применено при равенстве (либо при превышении) прочностных характеристик используемого керна и горных пород, слагающих стенки скважины в интервале забуривания.

Создание искусственного забоя на поверхности [6] с увеличивающейся по глубине прочностью его материала (в начале забоя – цемент, в конце забоя – синтетические смолы). В качестве материалов для изготовления используются цемент и синтетические смолы, кроме того искусственный забой дополнительно армируется (например, сплав Д16Т). После формирования искусственного забоя осуществляется его установка в интервале забуривания нового направления путем спуска искусственного забоя оборудованного распорным узлом, на бурильных трубах, связанных с искусственным забоем резьбой левого направления. Затем в скважину спускают необходимую компоновку и производят забуривание бокового ствола скважины. Контроль забуривания дополнительного ствола скважины в данном способе, предусмотрено вести с помощью индикаторов различного цвета, заранее помещенных в материал искусственного забоя. Недостатком данного способа является большая трудоемкость при создании искусственного забоя на поверхности, а также необходимость подготовки ствола скважины для его спуска и установки в интервал забуривания нового ствола, требующие значительных производительных затрат времени.

И.П. Мельничуком и др. предложен бесклиновый способ забуривания дополнительного ствола скважины [7], заключающийся в установке искусственного моста из вязущих материалов (цементный раствор, синтетические или эпоксидные смолы) и интервале предполагаемого забуривания и в установке обратного клина (наклонная плоскость клина обращена к забою) непосредственно в вязущий материал до момента его отверждения. Материал клина изготавливается из легко разбуриваемого материала. Забуривание производят после отверждения вязущего материала. Отклонение происходит за счет разрушения легко разбуриваемого материала клина обычным буровым снарядом, а направление искривления задается наклонной поверхностью искусственного забоя из отвержденного вязущего материала, имеющего большую прочность чем материал клина.

При прочностных характеристиках материала искусственной пробки меньших, чем у горной породы, данная технология также не гарантирует успешности забуривания нового ствола. Данный технологический способ забуривания нового направления можно доработать. При применении в качестве погружаемого в вязущий материал обратного клина, например, ствола листового дерева длиной до 5 метров и диаметром на 5–10 мм меньшим, чем номинальный диаметр ствола скважины и использования в качестве породоразрушающего инструмента трехшарошечного долота для крепких пород типа ТЗ и ОК с агрессивным фрезерующим вооружением.

Для получения достоверных данных о скорости бурения при разбуривании деревянной пробки различными долотами был осуществлен следующий эксперимент. Опытное бурение осуществлялось на буровом стенде, который оборудован буровым станком СКБ-4 и буровым насосом НБ-3 с возможностью подачи очистного агента от 15 до 120 л/мин. Силовой агрегат станка имеет мощность 22 кВт, скорость вращения породоразрушающего инструмента 155-1600 об/мин. Буровой станок установлен на эстакаде высотой около 2 м. Под станком оборудован приямок для размещения деревянной заготовки длиной 0,7 метра, диаметром 250 мм и средств закрепления деревянной пробки.

Бурение деревянной пробки было осуществлено с применением в качестве промывочной жидкости воды. Режимы для бурения во всех опытах были одинаковые: осевая нагрузка $P_{oc} = 1000$ даН, частота вращения $\omega = 280$ мин⁻¹, расход промывочной жидкости $Q = 120$ л/мин. В процессе бурения фиксировалось время бурения интервала с помощью секундомера и параллельно велась фиксация механической скорости проходки. В результате эксперимента были получены достоверные данные о механической скорости бурения различными долотами по деревянной пробке. Результаты проведенного опыта представлены в таблице 1.



Таблица 1 – Результаты замера механической скорости при бурении деревянной пробки

№ п/п	Применяемое долото	Осевая нагрузка, даН	Частота вращения, мин ⁻¹	Расход промывочной жидкости, л/мин	Механическая скорость, м/ч
1	3-х шарошечное долото 59 мм с вооружением типа К	1000	280	120	1,1
2	Алмазное долото 59 мм, АДН	1000	280	120	0,9

Механическая скорость, достигнутая при опытном бурении деревянной пробки, соответствует оптимальным значениям скорости бурения при осуществлении забуривания нового ствола [8]. Данный опыт показывает, что при использовании деревянной пробки в качестве искусственного забоя и трехшарошечного долота с вооружением типа К или алмазного долота, в качестве зарезного инструмента, при забуривании нового направления, за счет несоответствия характера разрушения производимого данными долотами (дробяще-скалывающий тип разрушения для трехшарошечного долота и раздавливание, скалывание для алмазного) и материала искусственного забоя (вертикальная волокнистость и пластичность ствола дерева не поддается скалыванию, дроблению и раздавливанию), получится добиться отклонения от деревянной пробки и зарезания в стенку скважины породоразрушающего инструмента.

В качестве такого заполнителя отверждаемой смеси искусственного забоя можно рассмотреть и другие материалы (резина, пластик, стеклопластик, алюминий и др.). Главной их характеристикой должно быть несоответствие по характеру разрушения применяемому породоразрушающему инструменту. Данное техническое решение позволит значительно повысить успешность проведения операции по забуриванию нового ствола скважины с искусственного забоя в необсаженном стволе скважины.

Таким образом, для создания идеальных условий при забуривании нового направления необходимо стремиться к повышению механической скорости фрезерования горной породы ($V_{фр}$) и к снижению скорости бурения ($V_б$) по материалу искусственного забоя.

$$(V_б \rightarrow \min; V_{фр} \rightarrow \max).$$

Данные условия можно создать путем более пристального рассмотрения применяемого материала для создания искусственного забоя и применяемого при забуривании породоразрушающего инструмента (зарезное долото). При создании условий, во время проведения забуривания нового направления, которые будут способствовать снижению механической скорости по разрушению материала искусственного забоя и ее повышению при фрезеровании горной породы слагающей стенки скважины, можно значительно повысить результативность проведения работ по зарезанию нового ствола скважины.

Имеющиеся технологии по созданию искусственных забоев, предназначенных для проведения работ по забуриванию с них новых направлений из открытого ствола скважины, приведены в таблице 2:

Таблица 2 – Применяемые искусственные забои для осуществления забуривания нового направления из открытого ствола скважины

№ п/п	Наименование	Технология изготовления	Комментарии
1	2	3	4
1	Цементный мост	Установка в заданном интервале цементного раствора на равновесии через подвеску труб, подъем труб и ожидание затвердевания цемента.	Для осуществления забуривания новых направлений в породах до V категории по буримости. Существуют специальные тампонажные составы для осуществления забуривания в горных породах до VII категории.
2	Искусственный забой из композиции эпоксидных смол	Установка в стволе скважины пробки, приготовление на поверхности отверждаемого состава, доставка и размещение его до пробки в контейнере на трубах, затвердевание состава.	Для осуществления забуривания нового направления в горных породах до VIII категории по буримости. Трудоемкий процесс требующий высокой квалификации исполнителей.
3	Искусственный забой с увеличивающейся прочностью от его начала до окончания	Изготавливается на поверхности путем заливки сначала более прочных компонентов затем менее прочных. Доставляется в скважину на бурильных трубах с распорным устройством для закрепления в требуемом интервале.	Предназначен для осуществления забуривания в горных породах от IV до VIII категории по буримости. Трудоемкий процесс при его создании. Устанавливается в неразработанном интервале ствола скважины для более надежного закрепления.



Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
4	Искусственный забой состоящий из горной породы	Установка в стволе скважины пробки, приготовление на поверхности контейнера с керновым материалом, доставка и размещение его до пробки в контейнере на трубах.	Подходит для осуществления забуривания при прочностных характеристиках кернового материала превосходящих прочностные характеристики слагающих горных пород в интервале зарезания.
5	Искусственный забой, учитывающий несоответствие характера разрушения материала искусственного забоя и применяемого породоразрушающего инструмента для забуривания.	Изготавливается на поверхности из такого материала, который будет не соответствовать характеру воздействия породоразрушающего инструмента при осуществлении забуривания. В скважине устанавливается пробка, выше устанавливается отверждаемая смесь. Искусственный забой доставляется в скважину на трубах и размещается в отверждаемой смеси до окончания сроков затвердевания.	При подборе материала искусственного забоя и резного инструмента, можно обеспечить забуривание нового ствола в горных породах любой категории.

К искусственному забую, учитывающему несоответствие характера разрушения его материала и характер разрушения горных пород применяемого породоразрушающего инструмента, можно предъявить следующие дополнительные требования:

Материал искусственного забоя необходимо подобрать таким образом, чтобы выполнялось следующее требование: $V_{фр} / V_б > 1$; т.е. механическая скорость бурения материала искусственного забоя должна быть меньше механической скорости фрезерования стенки скважины.

Искусственный забой должен быть устойчиво закреплен в стволе скважины (предварительная установка пробки, цементного моста или установка искусственного забоя с распорным устройством в номинальном стволе скважины).

Материал искусственного забоя при взаимодействии с забурочным инструментом не должен способствовать разрушению либо нарушению целостности последнего.

Таким образом, для повышения результативности проведения работ по забуриванию новых стволов из не обсаженного ствола скважины с опорой на искусственный забой, можно сформулировать следующее положение: Искусственный забой применяемый для забуривания нового направления в породах высокой твердости и применяемый породоразрушающий инструмент для зарезания, должны быть подобраны таким образом, что бы характер разрушения искусственного забоя, не соответствовал реализуемому характеру разрушения породоразрушающим инструментом и обеспечивал выполнение условия: $V_{фр} / V_б > 1$, при отсутствии нарушения целостности породоразрушающего инструмента во время разрушения материала искусственного забоя.

Литература:

1. Страбыкин И.Н. Инструкция по технологии создания искусственных мостов и забуривания с них дополнительных стволов. МГ РСФСР, 1984. – 18 с.
2. Халил Хамад Ахмад, Мамедтагизаде М.А. Повышение качества цементного моста для зарезки боковых стволов в твердых породах // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2013. – № 6. – С. 15–17.
3. Тампонажный состав для установки резных опорных мостов. Пат. 2434923 С1 RU / Кузнецова О.Г., Фефелов Ю.В., Чугаева О.А. и др. 2010108479/03; заявлено 09.03.2010; опубликовано 27.11.2011, 5 с.
4. Нескоромных В.В. Методы и технические средства бесклинового забуривания дополнительных стволов скважин с искусственных забоев. – М. : «Геоинформмарк», 1993. – 55 с.
5. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при бурении скважин : учебное пособие. – М. : Издательство «Инфра-М», 2015. – 336 с.
6. Способ создания направления для бурового снаряда в скважине. Авторское свидетельство 1280104 А1/ Бергштейн О.Ю., Великосельский М.А., Ворожбитов М.И. и др. 3818347/22-03; заявлено 30.11.1984; опубликовано 30.12.1986, 3 с.
7. Способ создания направления в скважине. Авторское свидетельство 956728 / Мельничук И.П., Данилин А.К., Минашкин В.Г. 3211967/22-03; заявлено 28.10.1980; опубликовано 07.09.1982, 3 с.
8. Нескоромных В.В., Елисеев А.Д., Гринчук А.В., Надеяев А.А. Совершенствование технологии забуривания дополнительных стволов скважин в твердых и очень твердых горных породах отклонителями непрерывного действия // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2009. – Т. 34. – № 1. – С. 154–159.

**References:**

1. Strabykin I.N. Instruction on the technology of creating artificial bottomhole and drilling additional trunks from them. MG of the RSFSR, 1984. – 18 p.
2. Kh. H. Ahmad, Mamedtagizade M.A. Improvement of the cement bridge quality while drilling of horizontal holes in hard rocks // Construction of oil and gas wells by land and by sea. – 2013. – № 6. – P. 15–17.
3. A plugging compound for the installation of rifled support bridges. Pat. 2434923 C1 RU / Kuznetsova O.G., Fefelov Yu.V., Chugaeva O.A. and others. 2010108479/03; stated on 09.03.2010; published on November 27, 2011, 5 p.
4. Neskromnykh V.V. Methods and technical means without wedge collaring of additional trunks wells with artificial bottomholes. – M. : Geoinformmark, 1993. – 55 p.
5. Neskromnykh V.V. The destruction of rocks during drilling : the manual. – M : Infra-M Publishing House, 2015. – 336 p.
6. A method for creating a direction for a drilling tool in a well. Author's certificate 1280104 A1 / Bergshtein O.Yu., Velikoselsky M.A., Vorozhbitov M.I. and others 3818347 / 22-03; declared on 30.11.1984; published on 30.12.1986, 3 p.
7. A method for creating a direction in a well. Author's certificate 956728 / Melnichuk I.P., Danilin A.K., Minashkin V.G. 3211967 / 22-03; declared on 10/28/1980; published on September 7, 1982, 3 p.
8. Neskromnykh V.V., Eliseev A.D., Grinchuk A.V., Nadelyaev A.A. Perfecting of technologies of a collaring of padding trunks of chinks in solid and adamantine rocks deflecting tools continung ously working // Izvestiya of the Siberian Branch of the Section on Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits. – 2009. – V. 34. – № 1. – P. 154–159.