

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ПРЕДОТВРАЩАЮЩИХ ПОЛНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ПРОМЫВОЧНОГО РАСТВОРА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Д.Н. Хатамова¹, Р.У. Джураев¹, А.Т. Асанов¹, К.Х. Нормаев¹, С.Б. Пардаева¹

¹ Навоийский государственный горно-технологический университет,
Навои, Узбекистан, e-mail: dilyon_hat@bk.ru

Аннотация: Поглощение промывочного раствора при бурении скважин является весьма серьезным геологическим осложнением, эффективность предотвращения которого зависит от ряда факторов. Его трудно предугадать, а при возникновении поглощения не всегда удается оперативно ликвидировать его, кроме того, ликвидация данного осложнения является дорогостоящей. Представлен комплексный анализ основных причин и механизма поглощения бурового раствора при бурении скважин, с учетом геологических и технологических факторов. Большое внимание уделено условиям Кызылкумского региона, где высокая трещиноватость, пористость и проницаемость горных пород делают проблему особенно актуальной. Разработана математическая модель, позволяющая предварительно оценивать параметры поглощающего горного массива, включая объем пор, геометрию трещин и их влияние на интенсивность потерь бурового раствора. Модель учитывает направление трещин, механические свойства горных пород, давление в системе и параметры фильтрации. Предложена новая конструкция бурового снаряда, позволяющая обеспечить перекрытие зоны поглощения обсадной трубой без уменьшения диаметра скважины. Описан принцип работы расширяющейся трубы и механизм ее надежного закрепления на стенках скважины. Представлены результаты экспериментальных испытаний, подтверждающие эффективность предлагаемой конструкции для ликвидации катастрофических потерь бурового раствора. На основе экспериментальных данных получена зависимость оптимальной толщины стенки расширяющейся обсадочной трубы от диаметра скважины. Данная зависимость позволяет повысить надежность крепления и эффективность работ при различных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: бурение, скважина, буровой раствор, катастрофическое поглощение, обсадная труба, трещина стенки скважины, буровой снаряд, расширитель, бурильная колонна, ствол скважины.

Для цитирования: Хатамова Д. Н., Джураев Р. У., Асанов А. Т., Нормаев К. Х., Пардаева С. Б. Разработка технических решений, предотвращающих полное поглощение промывочного раствора при бурении скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 7. – С. 20-31. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_7_0_20.

Development of engineering solutions to prevent disastrous lost circulation in drilling

D.N. Khatamova¹, R.U. Juraev¹, A.T. Asanov¹, K.H. Normaev¹, S.B. Pardaveva¹

¹ Navoi State University of Mining and Technological, Navoi, Uzbekistan, e-mail: dilyon_hat@bk.ru

Abstract: Lost circulation in drilling is a very grave geological complication. The efficiency of its prevention depends on a few factors. The lost circulation is difficult to foretell and eliminate on the fly; moreover, its elimination is an expensive operation. An integrated analysis of the key causes and mechanism of the lost circulation in drilling is presented with regard to geological and engineering factors. Much attention is given to the geological conditions of the Kyzylkum region, where high jointing, porosity and permeability of rocks even more aggravate the specified problem. The authors develop a mathematical model for the preliminary estimation of absorptive rock mass parameters, including the volume of pores, geometry of joints and their effect on the intensity of the circulation loss. The model takes into account the orientation of joints, the mechanical properties of rocks, the breakdown pressure and the flow parameters. A new design of a drilling assembly is proposed, which ensures overcovering of the lost-circulation zone by a casing without decreasing the hole diameter. The operating mode of a reamer and the mechanism of its reliable fixation on the hole wall is described. The experimental test data prove the proposed design efficiency for the elimination of the disastrous lost circulation. From the experimental data, the dependence of the optimal thickness of an expanding casing on the hole diameter is obtained. This dependence allows enhancing fixation reliability and operational effect in various geological conditions.

Key words: drilling, borehole, drilling mud, hazardous lost circulation, casing, hole wall crack, drilling assembly, reamer, drill string, bore.

For citation: Khatamova D. N., Juraev R. U., Asanov A. T., Normaev K. H., Pardaeva S. B. Development of engineering solutions to prevent disastrous lost circulation in drilling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(7):20-31. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_7_0_20.

Введение

Истощение запасов многих месторождений полезных ископаемых, расположенных в благоприятных геологических условиях, требует интенсификации поиска новых месторождений. Однако большинство из них залегают на больших глубинах и в неблагоприятных геологических условиях, что усложняет процесс их разведки. Бурение глубоких скважин в неблагоприятных геологических условиях создает трудности из-за возникновения ряда геологических и технологических осложнений, увеличивающих стоимость бурения скважины, снижающих энерго- и ресурсоэффективность буровых работ, а также ухудшающих качество работ по поиску и разведке месторождений полезных ископаемых [1].

Актуальность разработки метода и технологии предотвращения поглоще-

ния бурового раствора при бурении геологоразведочных и геотехнологических скважин predetermined высокой себестоимостью буровых работ, необходимостью модернизации методов ведения работ и технических средств с учетом возросших требований производительности и экономической эффективности [2].

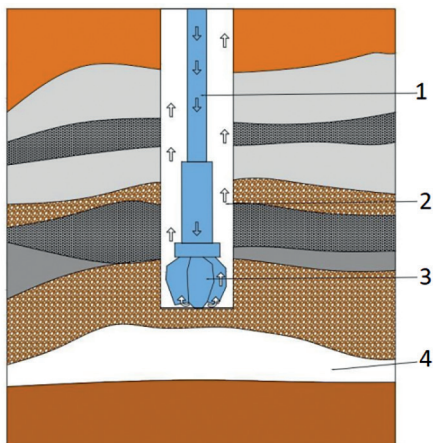
При бурении геологоразведочных и геотехнологических скважин на участках Кызылкумского региона со сложными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями, трещиноватостью пород наблюдается интенсивное поглощение промывочной жидкости.

При поглощении буровой жидкости резко падает уровень промывочной жидкости в стволе скважины и возникает прихват бурильных труб из-за завала стенок скважин [3]. При больших размерах трещин и каверн известные спосо-

бы предотвращения поглощения, такие как тампонаж скважины, закачка цементных растворов, вязкоупругих систем и т.п., положительных результатов не дает [4]. Закачка (намыв) наполнителей также не всегда эффективна. В результате скважина неоднократно перебуривается, что приводит к увеличению затрат на бурение. По этой причине проблема успешного предотвращения катастрофического поглощения бурового раствора остается актуальной [5].

Анализ основных характеристик поглощения бурового раствора

Поглощение бурового раствора в процессе бурения скважин — это потеря определенного объема или всего количества бурового раствора вследствие его ухода в пласт внутри скважины. Основные причины поглощения бурового раствора внутри скважины делятся на два вида: геологические и технологические [6]. Поглощение бурового раствора, вызванное геологическими причинами, возникает из-за наличия в буримом районе высокопроницаемых пластов, каверн, трещин и пористостей, а также вследствие



1 – бурильная колонна, 2 – кольцевой зазор скважины, 3 – долото, 4 – пора (пустота)

Рис. 1. Поглощение бурового раствора в крупно-размерных порах

Fig. 1. Drilling fluid absorption in large-sized pores

низкого пластового давления [7]. Поглощение бурового раствора, вызванное техническими причинами, возникает в результате низкого качества и недостаточного количества бурового раствора, неправильного способа бурения, высокой скорости спуска — подъема бурильной колонны, а также неудовлетворительного технического оснащения [8].

Проявление признаков поглощения бурового раствора различно и в большей степени зависит от геологических условий и параметров бурения. Признаками начинающегося поглощения служат изменение уровня и давления жидкости, появление пузырьков воздуха во возвращающемся промывочном растворе [9]. При дальнейшем и более интенсивном поглощении давление резко снижается, полностью прекращая циркуляцию. Отсутствие своевременных мероприятий по ликвидации поглощения приводит к катастрофическому поглощению, сопровождающемуся обрушением стенок скважины [10].

При анализе основных геологических факторов, обуславливающих поглощение бурового раствора в пределах геологического района Кызылкум, установлено, что данное явление возникает из-за наличия в регионе высокопроницаемых пластов, крупных пористых зон и пород высокой трещиноватости. Потери бурового раствора в районе преимущественно наблюдаются при бурении горных пород со значительной пористостью, трещиноватостью и кавернозностью. Кроме того, во многих случаях высокая проницаемость пластов служит дополнительным фактором, усиливающим интенсивность потерь [11]. В подобных условиях предотвращение поглощения промывочной жидкости считается весьма затруднительным.

На рис. 1 показано поглощение промывочной жидкости крупноразмерной пористостью.

При бурении скважин незначительные или частичные поглощения бурового раствора устраняются путем добавления в его состав наполнителей и тампонажных материалов, а также изменением параметров режима бурения, после чего буровые работы могут быть продолжены [12, 13].

Однако при возникновении среднего или полного поглощения указанные методы не всегда оказываются эффективными. В таких случаях применяются методы цементирования стенок скважины, установки крепежных колонн в отдельные интервалы ствола скважины и другие. Эти мероприятия, в свою очередь, усложняют процесс проходки скважины [14].

Разработка математической модели, позволяющей рассчитать объемы полости

Определение и оценка интенсивности поглощения бурового раствора создает определенные трудности, что в свою очередь приводит к росту трудовых затрат и расходов на ликвидацию поглощения.

Интенсивность поглощения бурового раствора, определение эффективного способа ликвидации поглощения зависят от трещиноватости, пористости и объема пор в стенке скважины [15, с. 49–50]. Для предварительного определения и расчета объема пор разработана математическая модель.

Основное поглощение в процессе трещинообразования вызвано объемом трещин и разницей давлений в трещинах и в скважине. Важным параметром определения этого явления является горизонтальный угол трещины или угол, образованный между трещиной и горизонтом [16].

При этом определена функциональная зависимость площади поглощения жидкости от координат длины трещин $\omega = f(x, y)$.

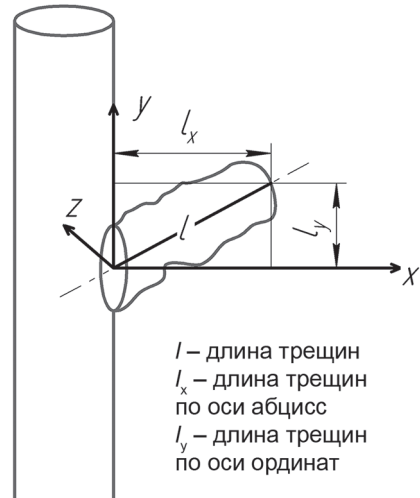


Рис. 2. Расположение трещин на забое скважины по осям

Fig. 2. Illustration of the location of cracks at the well bottom along the axes

$$\begin{cases} l_x = l \cdot \cos \alpha \\ l_y = l \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (1)$$

где α — угол трещин относительно оси абсцисс, град.

На рис. 2 показано расположение полости скважины по осям.

Если условия (1) $\alpha = 0^\circ$; 2, $\alpha = 45^\circ$; 3, $\alpha = 90^\circ$ не выполняются, при угле наклона трещины α относительно оси абсцисс функция ширины трещины имеет следующий вид:

$$\omega(x, y) = \frac{4(1-v^2)}{E} \cdot (P_o - S_n) \sqrt{x_f^2 - x^2 + y_f^2 - y^2} \quad (2)$$

где v — коэффициент динамической вязкости бурового раствора, Па·с; P_o — внутреннее давление трещины, Па; x_f — ширина трещины по оси ординат, м; x — ширина трещины по оси абсцисс, м; y_f — длина трещины по оси ординат, м; y — длина трещины по оси абсцисс, м; E — коэффициент Пуассона.

Длина и расположение образовавшейся в скважине трещины не могут пол-

ностью определить поглощающую способность этой трещины, поэтому важно установить начальную поверхность образовавшейся в скважине трещины, для этого введем уравнение второго порядка, с учетом того, что линия трещины изогнута [17, с. 12]:

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + F = 0; \quad (3)$$

1. если $A = C$, то форма трещины – круг;
2. если $A \cdot C > 0$ и $A \neq C$, то – эллипс;
3. если $A \cdot C < 0$, то – гипербола;
4. если $A \cdot C = 0$; $A^2 + C^2 \neq 0$, то – парабола.

На основе вышеприведенных условий, для того, чтобы форма трещины была близкой к круглой или эллипсоидной, введем уравнения на основе (1) и (2):

$$Ax^2 + 2Bxy + Ay^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0, \quad (4)$$

где A – коэффициенты при квадратных членах (определяют кривизну по x и y); B – коэффициент при смешанном члене xy (степень поворота трещины); D, E – коэффициенты, пропорциональные смещению центра кривой; F – свободный член, влияющий на положение фигуры.

$$A(x^2 + y^2) + 2(Bxy + Dx + Ey) + F = 0 \quad (5)$$

$$x^2 + y^2 = R^2;$$

$$x^2 + y^2 = \frac{-2(Bxy + Dx + Ey) - F}{A} \quad (6)$$

$$(x^2 + y^2) = -\frac{2(Bxy + Dx + Ey) + F}{A} = R^2 \quad (7)$$

(круг);

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z$$

параболоидное уравнение, (8)

где z – длина трещины, м.

Используя вышеприведенные уравнения, образуем следующее выражение:

$$\frac{4(1-v^2)}{E} \cdot \sqrt{x_f^2 + y_f^2 - x^2 - y^2} = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \quad (9)$$

С учетом вышеизложенного, объем трещин составит:

$$V_f = \omega(x, y) \cdot S_{\text{вх}};$$

$$V_f = \frac{4(1-v^2)}{E} \cdot z \cdot (P_0 - S_h) \cdot \sqrt{x_f^2 + y_f^2 - (l \cos \alpha)^2 - (l \sin \alpha)^2} \quad (10)$$

$$V_f = \frac{4(1-v^2)}{E} \cdot z \cdot (P_0 - S_h) \sqrt{x_f^2 + y_f^2 - l^2}$$

где $S_{\text{вх}}$ – площадь входа в трещину, м².

Для того чтобы уравнение не было равно нулю, действительны следующие условия:

$$l > l_x; \quad l > l_y P_0 > S_h; \quad z > 0;$$

$$x_f > l_x; \quad y_f > l_y; \quad \frac{\pi}{2} > \alpha > 0.$$

Если проанализировать приведенную формулу с условием, что площадь входа трещины математически не больше диаметра скважины, то необходимо, чтобы $R > x_f, R > y_f$.

Соответствующим образом:

$$V_f = f(x, y, z);$$

$$V_f = f(x, y, z) + q_e$$

где q_e – объем фильтрации, м³.

Выразим объем трещин длинами трех координат:

$$V_f = \frac{4(1-v^2)}{E} \cdot z \cdot (P_0 - S_h) \cdot \sqrt{x_f^2 + y_f^2 - l^2} + \frac{C \cdot A}{\sqrt{t-T}} \quad (11)$$

Обобщив выражение (11), получим определение объема трещины:

$$V_f = \frac{4(1-\nu^2)}{E} \cdot z \cdot (P_0 - S_h) \cdot \sqrt{x_f^2 + y_f^2 - (l \cos \alpha)^2 - (l \sin \alpha)^2} + \frac{0,172 \cdot x_f \cdot y_f^2}{\mu \sqrt{t-T}} \cdot k(P_w - P_p) \Phi \quad (12)$$

где z — координата изменения высоты трещины; S_h — давление, образованное в трещине, Па; t — общее время бурения, с; T — время заполнения трещины жидкостью; μ — коэффициент вязкости жидкости, входящей в трещину; k — проводимость горной породы; Φ — степень пористости; P_0 — давление на забое скважины, Па; P_w — давление трещины, Па; P_p — давление внутри трещины, Па.

При определении объема поглощающей среды получена математическая модель с тремя неизвестными. Это дает возможность определить форму и объем поглощающего участка, приближенные к действительным, путем ввода промежуточных значений по соответствующим координатам [18, с. 17].

Разработка конструкции бурового снаряда, позволяющая прикрывать обсадной трубой отдельные участки скважины, поглощающей промывочный раствор

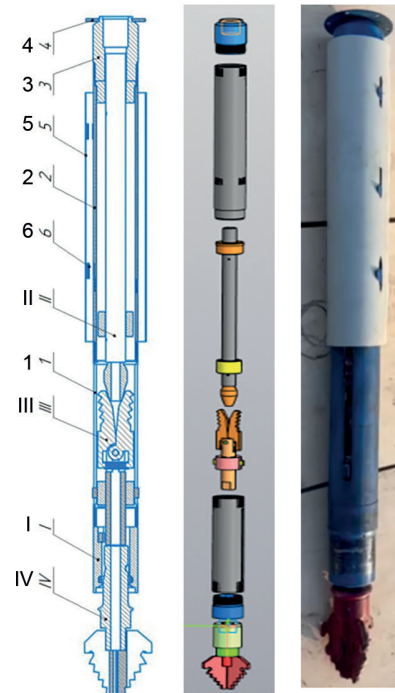
В случае катастрофического поглощения промывочного раствора при бурении скважин, если это поглощение произошло в результате крупных пор и трещин, участок поглощения жидкости в скважине герметизируют отдельной обсадной трубой [19]. Однако в этом случае диаметр скважины уменьшается на толщину стенок установленной обсадной трубы, что в свою очередь вы-

зывает ряд технологических трудностей [20, с. 4].

Разработана конструкция бурового снаряда, позволяющая закрыть зону поглощения при бурении скважин в случае полного, т.е. катастрофического, поглощения промывочного раствора обсадной трубой с сохранением начального диаметра скважины (рис. 3).

Конструкция бурового снаряда, позволяющего закрывать отдельные участки скважины обсадной трубой, состоит из 4 отдельных частей, образующих единую конструкцию, выполняющую общую функцию.

Втулковая часть бурового снаряда, выполняющая функцию соединитель-



I — втулка; II — штанга; III — расширитель; IV — породоразрушающий инструмент; 1 — переходник; 2 — расширяющаяся труба; 3 — головка; 4 — соединительная часть; 5 — обечайка; 6 — ушки

Рис. 3. Конструкция бурового снаряда, позволяющая укрепить отдельные участки скважины:

Fig. 3. Drill assembly design for strengthening individual sections of the borehole

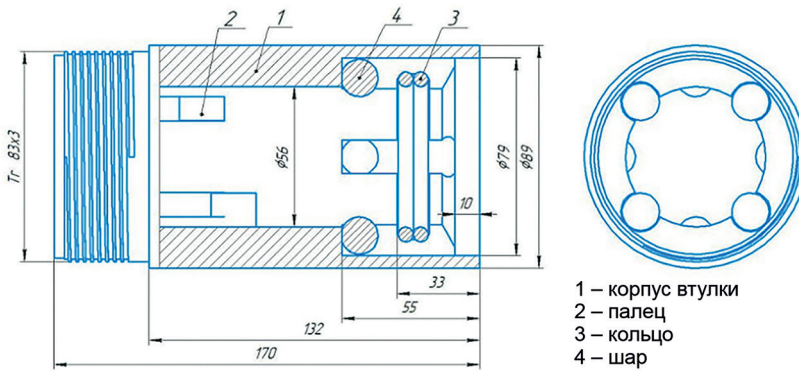


Рис. 4. Втулка бурового снаряда
Fig. 4. Drilling tool bushing

ного элемента между породоразрушающим инструментом и расширителем, состоит из корпуса, пальца, кольца и шара (рис. 4). Расстояние между стволом скважины и зоной поглощения промывочной жидкости обеспечивается изменением длины втулки.

Штанга бурового снаряда служит отверстием расширителя и состоит из

расширителя, втулок и трубки. Общий вид штанги показан на рис. 5.

Расширитель бурового снаряда, позволяющий расширять стенку скважины до определенных размеров на заданной глубине, состоит из трубы, внутренней втулки, расширяющего резца и пружины. Во время спуска бурового снаряда в скважину пружина удерживает

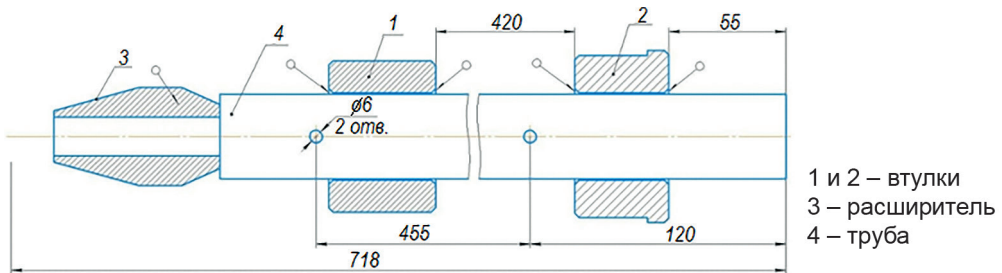


Рис. 5. Штанга
Fig. 5. Rod

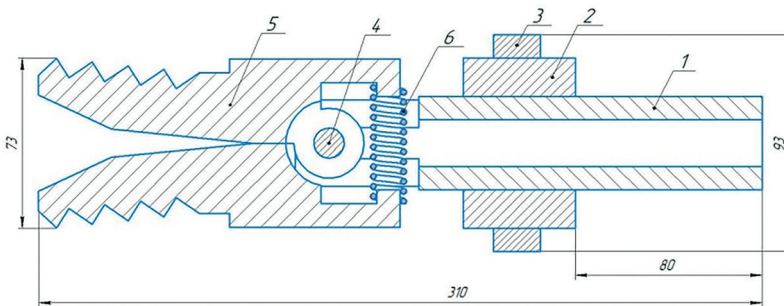


Рис. 6. Расширитель
Fig. 6. Expander

резцы расширителя в сомкнутом состоянии. Когда породоразрушающий инструмент достигает забоя скважины, расширяющийся наконечник штанги раскрывает расширяющие резцы. Общий вид расширителя показан на рис. 6.

Конструкция бурового снаряда, позволяющая укрепить отдельные участки скважины, работает следующим образом. В процессе бурения скважины при возникновении поглощения бурового раствора рабочая колонна поднимается и в скважину спускается предлагаемый буровой снаряд (см. рис. 3). Перед спуском этого снаряда на буровую трубу 2 устанавливается расширяющаяся труба 5. Расширяющаяся труба 5 изготовлена из профильного материала и имеет продольный разрез, а на ее корпусе предусмотрены прорезы, в которые входят ушки 6. Два разрезанных края расширяющейся трубы совмещаются и фиксируются с помощью ушек, расположенных на буровой трубе. Диаметр расширяющейся трубы в закрытом состоянии составляет 90 мм, а после раскрытия — 122 мм.

После спуска бурового снаряда, позволяющего перекрывать отдельные интервалы скважины обсадной трубой, породоразрушающий инструмент *IV* врезается в забой, после чего под действием осевой нагрузки расширяющая насадка *3* и штанги *II* раскрывают резцы расширителя *III*. При этом резцы расширителя увеличивают диаметр от 73 до 122 мм. Расширитель разрабатывает стенки поглощающего интервала скважины на глубину, равную длине расширяющейся трубы. Затем вращение бурильной колонны останавливают и колонну немного поднимают — в этот момент резцы расширителя закрываются. После этого колонну вращают в обратную сторону на 4—5 оборотов, в результате чего расширяющаяся труба 5 отсоединяется от ушек и закрепляется на стенках скважины.

На корпусе расширяющейся трубы 5 установлены обратные зацепы в виде концевых лепестков, которые при обратном вращении выдвигаются и обеспечивают надежное закрепление расширяющейся трубы на стенках скважины.

После закрепления расширяющейся трубы на стенке поглощающего интервала колонна полностью поднимается, при этом первоначальный диаметр скважины сохраняется. После укрепления стенок поглощающего участка буровые работы продолжают обычным буровым снарядом.

Экспериментальные исследования конструкции бурового снаряда были проведены в геологоразведочной экспедиции акционерного общества «Навоийский горно-металлургический комбинат». В процессе бурения скважины глубиной 160 м и диаметром 112 мм на глубине около 107 м были вскрыты крупномасштабные трещины, вызывающие интенсивное поглощение промывочной жидкости. Горные породы данного интервала относятся к VI категории буримости.

Для ликвидации поглощения стенки скважины в зоне трещиноватости были предварительно расширены предлагаемым расширителем в интервале 106—108 мм, при этом диаметр скважины был увеличен с 112 до 122 мм. После расширения данный участок был перекрыт расширяющейся обсадной трубой длиной 2 м, обеспечивающей герметизацию поглощающего интервала и прилегающих участков ствола скважины. Диаметр обсадной трубы в процессе установки был увеличен с 104 до 122 мм, что обеспечило ее надежное закрепление на стенках скважины.

При применении конструкции бурового снаряда, позволяющего перекрывать отдельные участки скважины обсадной трубой, спуск трубы на участок поглощения и надежное его закрепле-

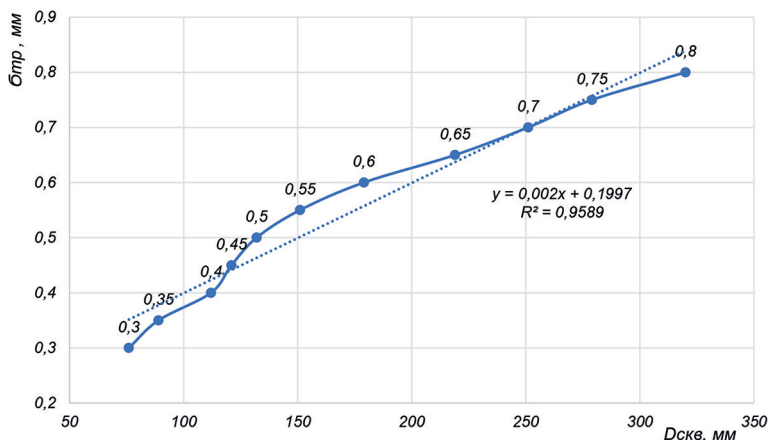


Рис. 7. Зависимость толщины стенки расширяющейся трубы буровой колонны, позволяющей перекрыть отдельные участки скважины обсадной трубой, от диаметра скважины

Fig. 7. Dependence of the wall thickness of the expanding pipe of the drill string, which allows blocking individual sections of the well with casing, on the diameter of the well

ние после спуска является сложной задачей. При этом сила сопротивления, действующая на сужение расширительной трубы, является важным показателем. Так как расширительная труба изготавливается из оцинкованного профильного листа, его сила сопротивления на сжатие зависит от толщины.

При наблюдении поглощения промывочной жидкости в скважинах малого диаметра использование расширяющейся трубы из профильного листа большой толщины очень сложно. В этом случае в качестве материала для расширительной трубы предпочтительнее использовать лист большой толщины, поскольку благодаря высокой прочности на сжатие он прочно крепится к стенке скважины и обладает высокой надежностью. Однако спуск и размещение такой трубы на забое скважины очень затруднены; велик риск открытия такой трубы в процессе спуска, бурения и расширения, поэтому целесообразно использовать профильные листы толщиной 0,3 – 0,45 мм.

В скважинах большого диаметра при использовании профильного листа малой толщины радиальная жесткость рас-

ширяющейся трубы оказывается недостаточной. Это приводит к снижению контактного давления между трубой и стенками скважины, вследствие чего труба не раскрывается в требуемой степени и не обеспечивает надежного закрепления в расширенном интервале.

В результате обработки результатов экспериментальных испытаний по оптимальному подбору толщины стенки расширяющейся обсадочной трубы в зависимости от диаметра скважины установлена зависимость толщины стенки расширяющейся профильной трубы от величины диаметра скважины (см. рис. 7).

В результате аналитического, корреляционного и статистического анализа результатов проведенных экспериментальных исследований и показателей, приведенных на рис. 7, получено выражение определения оптимальной толщины стенки расширительной трубы бурового снаряжения, укрепляющей отдельные участки скважины при наблюдении поглощения промывочного раствора в процессе бурения:

$$\delta_{mp} = k \cdot D_{ск} + b, \quad (13)$$

где $\delta_{\text{тр}}$ — толщина стенки расширительной трубы, мм; $D_{\text{ск}}$ — диаметр скважины, мм; b — поправочный коэффициент (при $D_{\text{ск}} = 76 \div 151$ мм $b = 0,1997$; при $D_{\text{ск}} = 719 \div 320$ мм $b = 0,21$).

С использованием полученных результатов была получена функция путем задания значения переменной $f(x)$ как толщины расширяющейся стенки трубы $\delta_{\text{тр}}$, аргумента x как диаметра скважины $D_{\text{ск}}$, и действительных чисел k и b , равных соответственно 0,002 и 0,1997 [18, с. 21].

Заключение

Проведенные исследования показали следующие результаты, имеющие теоретическую и практическую значимость:

- разработана математическая модель, позволяющая рассчитать объем


пустот в скважине с учетом геометрических размеров и угла залегания трещин в стволе скважины и точек координат;

- разработана конструкция бурового снаряда, позволяющая перекрыть отдельные участки стенок скважин обсадной трубой при возникновении полного поглощения бурового раствора, сохраняя начальный диаметр скважины;

- установлено, что эффективность применения бурового снаряда, предотвращающего полное поглощение бурового раствора, зависит от толщины стенки расширяющейся обсадной трубы в зависимости от диаметра скважины; получено выражение, позволяющее определить оптимальный размер толщины стенки расширяющейся трубы в зависимости от диаметра скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахапов Р. Р. Анализ причин поглощения бурового раствора // Теория и практика современной науки. — 2020. — № 10 (64). — С. 72 — 75.
2. Овезов М., Аманиязов Я., Хуммиев А. Причины поглощения бурового раствора // Вестник науки. — 2022. — № 12 (57). — С. 497 — 500.
3. Yang J., Sun J., Bai Y., Lv K., Zhang G., Li Y. Status and prospect of drilling fluid loss and lost circulation control technology in fractured formation // Gels. 2022, vol. 8, no. 5, article 260. DOI: 10.3390/gels8050260.
4. Bai Y., Liu Ch., Sun J., Shang X., Lv K., Zhu Yu., Wang F. High temperature resistant polymer gel as lost circulation material for fractured formation during drilling // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2022, vol. 637, article 128244. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.128244.
5. Feng Yo., Gray K. E. Review of fundamental studies on lost circulation and wellbore strengthening // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017, vol. 152, pp. 511 — 522. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.01.052.
6. Щепетов О. А. Системная классификация аварий в бурении // Вестник АГТУ. Серия Управление, вычислительная техника и информатика. — 2009. — № 2. — С. 36 — 42.
7. Антонов К. В., Жумабаев Д. Д., Грабовская А. П. Осложнения и аварии при бурении эксплуатационных скважин и боковых стволов // International trends in science and technology. — 2021. — № 4. — С. 17 — 26. DOI: 10.31435/rsglobal_conf/30042021/7528.
8. Krishna Sh., Ridha S., Vasant P., Ilyas S., Sophian A. Conventional and intelligent models for detection and prediction of fluid loss events during drilling operations: A comprehensive review // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2020, vol. 195, article 107818. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107818.
9. Третьяк А. Я. Буровой раствор для строительства скважин в сложных условиях // Нефтяное хозяйство. — 2016. — № 2. — С. 28 — 31.
10. Савенок О. В., Аль М. М. Методы исследования и ликвидации катастрофических поглощений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). — 2017. — № 4. — С. 21 — 50.
11. Ghazali N. A., Alias N. H., Mohd T. A., Adeib S. I., Noorsuhana M. Y. Potential of corn starch as fluid loss control agent in drilling mud // Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials, Switzerland. 2015, pp. 682 — 687. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.682.
12. Предеин А. А., Гаршина О. В., Мелехин А. А. Технология ликвидации поглощений сшивающимся тампонажным материалом на основе цемента и сшитого полимера // Записки Горного института. — 2024. — Т. 266. — С. 295 — 304.

13. Нигматов Л. Г. Технические способы снижения аварийности при бурении направленных скважин // *Наукофера*. — 2024. — № 10. — С. 210–216. DOI: 10.5281/zenodo.14021197.
14. Бганцев А., Лоскутникова И., Богданова И. Анализ причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий при бурении и добыче газа // *Безопасность техногенных и природных систем*. — 2017. — № 4. — С. 25–38. DOI: 10.23947/2541-9129-2017-4-25-38.
15. Винниченко В. М., Гончаров А. Е., Максименко Н. Н. Предупреждение и ликвидация осложнений и аварий при бурении разведочных скважин. — М.: Недра, 1991. — 170 с.
16. Гайнанов Ш. Х., Аптуков В. Н., Середин В. В. Математическое моделирование трещиноватости пород в пределах локальных структур // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. — 2024. — Т. 335. — № 1. — С. 184–193. DOI: 10.18799/24131830/2024/1/4541.
17. Улькин Д. А. Методы моделирования образования и развития трещин в горных породах. Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2011. — 22 с.
18. Норманов К. Х. Разработка технических решений по предотвращению технологических аварий и геологических осложнений при бурении скважин: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Навои, 2024. — 44 с.
19. Джураев Р. У., Кахаров С. К., Кологривко А. А., Мустафаев О. Б. О возможности предупреждения и ликвидации поглощений бурового раствора при бурении скважин в осложненных геологических условиях // *Горная механика и машиностроение*. — 2021. — № 2. — С. 13–18.
20. Насери Я. Разработка технологических решений предупреждения аварий при бурении скважин моделированием резбовых соединений бурильного инструмента: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — М., 2019. — 24 с. 

REFERENCES

1. Sakhapov R. R. Analysis of the causes of drilling mud absorption. *Theory and Practice of Modern Science*. 2020, no. 10 (64), pp. 72–75. [In Russ].
2. Ovezov M., Amaniyazov Ya., Khummiev A. Causes of drilling mud absorption. *Vestnik nauki*. 2022, no. 12 (57), pp. 497–500. [In Russ].
3. Yang J., Sun J., Bai Y., Lv K., Zhang G., Li Y. Status and prospect of drilling fluid loss and lost circulation control technology in fractured formation. *Gels*. 2022, vol. 8, no. 5, article 260. DOI: 10.3390/gels8050260.
4. Bai Y., Liu Ch., Sun J., Shang X., Lv K., Zhu Yu., Wang F. High temperature resistant polymer gel as lost circulation material for fractured formation during drilling. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022, vol. 637, article 128244. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.128244.
5. Feng Yo., Gray K. E. Review of fundamental studies on lost circulation and wellbore strengthening. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017, vol. 152, pp. 511–522. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.01.052.
6. Shchepetov O. A. System classification of accidents in drilling. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2009, no. 2, pp. 36–42. [In Russ].
7. Antonov K. V., Zhumabaev D. D., Grabovskaya A. P. Complications and accidents during drilling of production wells and sidetracks. *International trends in science and technology*. 2021, no. 4, pp. 17–26. [In Russ]. DOI: 10.31435/rsglobal_conf/30042021/7528.
8. Krishna Sh., Ridha S., Vasant P., Ilyas S., Sophian A. Conventional and intelligent models for detection and prediction of fluid loss events during drilling operations: A comprehensive review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020, vol. 195, article 107818. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107818.
9. Tretyak A. Ya. Drilling fluid for well construction in difficult conditions. *Oil industry*. 2016, no. 2, pp. 28–31. [In Russ].
10. Savenok O. V., Al M. M. Methods of studying and eliminating catastrophic absorptions. *Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)*. 2017, no. 4, pp. 21–50. [In Russ].
11. Ghazali N. A., Alias N. H., Mohd T. A., Adeib S. I., Noorsuhana M. Y. Potential of corn starch as fluid loss control agent in drilling mud. *Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials, Switzerland*. 2015, pp. 682–687. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.682.
12. Predein A. A., Garshina O. V., Melehin A. A. Technology for eliminating absorption by cross-linking plugging material based on cement and cross-linked polymer. *Journal of Mining Institute*. 2024, vol. 266, pp. 295–304. [In Russ].
13. Nigmatov L. G. Technical methods for reducing accidents during drilling of directional wells. *Naukosphere*. 2024, no. 10, pp. 210–216. [In Russ]. DOI: 10.5281/zenodo.14021197.

14. Bgancev A., Loskutnikova I., Bogdanova I. Analysis of the causes and factors contributing to the occurrence and development of accidents during drilling and gas production. *Safety of technogenic and natural systems*. 2017, no. 4, pp. 25 – 38. [In Russ]. DOI: 10.23947/2541-9129-2017-4-25-38.

15. Vinnichenko V. M., Goncharov A. E., Maksimenko N. N. *Preduprezhdenie i likvidatsiya oslozhnennykh i avariyn pri burenii razvedochnykh skvazhin* [Prevention and elimination of complications and accidents during drilling of exploratory wells], Moscow, Nedra, 1991, 170 p.

16. Gaynanov Sh. Kh., Aptukov V. N., Seredin V. V. Mathematical modeling of rocks fracture within local structures. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024, vol. 335, no. 1, pp. 184 – 193. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2024/1/4541.

17. Ul'kin D. A. *Metody modelirovaniya obrazovaniya i razvitiya treshchin v gornykh porodakh* [Methods for modeling the formation and development of cracks in rocks], Candidate's thesis, Moscow, 2011, 22 p.

18. Normaev K. Kh. *Razrabotka tekhnicheskikh resheniy po predotvrashcheniyu tekhnologicheskikh avariyn i geologicheskikh oslozhneniy pri burenii skvazhin* [Development of technical solutions for the prevention of technological accidents and geological complications during well drilling], Candidate's thesis, Navoi, 2024, 44 p.

19. Juraev R. U., Kakharov S. K., Kologrivko A. A., Mustafaev O. B. On the possibility of preventing and eliminating drilling mud absorption when drilling wells in complicated geological conditions. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2021, no. 2, pp. 13 – 18. [In Russ].

20. Naseri Ya. *Razrabotka tekhnologicheskikh resheniy preduprezhdeniya avariyn pri burenii skvazhin modelirovaniem rez'bovykh soedineniy buril'nogo instrumenta* [Development of technological solutions for preventing accidents during well drilling by modeling threaded connections of drilling tools], Candidate's thesis, Moscow, 2019, 24 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хатамова Дилшода Нармуратовна¹ — д-р техн. наук, профессор,
e-mail: dilyon_hat@bk.ru, ORCID ID: 0009-0002-8336-9884,

Джуряев Рустам Умарханович¹ — д-р техн. наук,
профессор, e-mail: r.u.djuraev@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2712-3003,

Асанов Анвар Тошмуродович¹ — ассистент,
Нормаев Кобилбек Хусанович¹ — доктор философии
по техническим наукам (PhD), доцент,

Пардаева Сарвиноз Ботировна¹ — ассистент,
e-mail: pardayevobid551@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-0933-0438,

¹ Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан.

Для контактов: Хатамова Д.Н., e-mail: dilyon_hat@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

D.N. Khatamova¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: dilyon_hat@bk.ru, ORCID ID: 0009-0002-8336-9884,

R.U. Juraev¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: r.u.djuraev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2712-3003,

A.T. Asanov¹, Assistant,
K.H. Normaev¹, Doctor of Philosophy
in Technical Sciences (PhD), Associate Professor,

S.B. Pardayeva¹, Assistant, e-mail: pardayevobid551@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0006-0933-0438,

¹ Navoi State University of Mining and Technological, 210100, Navoi, Uzbekistan.

Corresponding author: D.N. Khatamova, e-mail: dilyon_hat@bk.ru.

Получена редакцией 09.12.2025; получена после рецензии 26.02.2026; принята к печати 10.06.2026.

Received by the editors 09.12.2025; received after the review 26.02.2026; accepted for printing 10.06.2026.