

УДК: 52.47.15; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-6.03>
<https://orcid.org/0000-0002-4947-5686>
<https://orcid.org/0000-0003-4707-3322>
<https://orcid.org/0000-0002-3607-5106>
<https://orcid.org/0000-0002-2675-6610>
<https://orcid.org/0000-0001-9591-0071>
<https://orcid.org/0000-0001-9898-392X>

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ ВОЗДУХА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭРЛИФТА



М.Т. БИЛЕЦКИЙ¹,
 кандидат технических наук,
 доцент,
marc.biletsky@yandex.kz



Б.Т. РАТОВ¹,
 доктор технических наук,
 профессор, зав. кафедрой
 «Геофизика»,
b.ratov@satbayev.university



В.Л. ХОМЕНКО²,
 кандидат технических наук,
 доцент,
inteldriller@gmail.com



Е.А. КОРОВЯКА²,
 кандидат технических наук,
 доцент, зав. кафедрой
 «Нефтегазовой инженерии
 и бурения»,
koroviaka.ye.a@nmu.one



Б.Ф. САБИРОВ³,
 доктор PhD,
superintend_bos@mail.ru



Б.Р. БОРАШ⁴,
 докторант PhD,
bokenbay83@mail.ru

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 050043, г. Алматы, ул. Сатпаева 22

²НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ДНЕПРОВСКАЯ ПОЛИТЕХНИКА»,
Украина, 49005, г. Днепр, пр-кт Дмитра Яворницкого, 19

³ТОО «КАСПИЙ МУНАЙ ГРУПП»,
Республика Казахстан, 090013, г. Уральск, Желаяево, пром. зона 10

⁴YESSENOV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 32 мкр.

Проведен сравнительный анализ основных способов создания обратной промывки при бурении скважин с помощью центробежного насоса и эрлифта. Был использован комплексный метод исследования, включающий обзор и обобщение научных и патентных публикаций, проведение аналитических исследований методов создания обратной промывки при бурении скважин. Выявлены их достоинства и недостатки.

Наибольшее внимание уделено широко распространенному в зарубежных странах при освоении запасов подземных вод бурению скважин большого диаметра с обратной промывкой. Приведенные материалы показали явное преимущество этого способа перед другими, как в части количества и качества добываемых вод, так и в сроках эксплуатации скважин. Показано, что в местных условиях преимущества этого способа могут сказаться особенно рельефно, а его недостатки проявятся в минимальной степени.

Исследованы особенности основных способов бурения водозаборных скважин; изучены гидрогеологические условия Самского месторождения. Выполнен критический анализ основных способов бурения применительно к Самскому месторождению; обоснован выбор наиболее эффективного способа бурения. Преимущества вращательного способа с обратной промывкой над другими способами бурения можно считать доказанными. Он обеспечивает резкое повышение коэффициента использования местных ресурсов подземных вод, что является главной проблемой местного водоснабжения подземными водами. Необходимость широкого внедрения этого способа очевидна.

Изучено влияние скорости восходящего потока промывочной жидкости и ее плотности на предельную глубину бурения с обратной промывкой с помощью эрлифта. Разработано усовершенствованное устройство циркуляционной системы для бурения скважин с обратной промывкой с использованием эрлифта. Благодаря его применению появляется возможность использования серийно выпускаемых бурильных труб с обычными соединениями. Это позволит увеличить рейсовую скорость бурения за счет снижения затрат времени на спуско-подъемные операции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бурение с обратной промывкой, эрлифт, полуостров Мангистау, Самское месторождение.

ЭРЛИФТ КӨМЕГІМЕН КЕРІ ЖУЫЛАТЫН ҰҢҒЫМАЛАРДЫ БҰРҒЫЛАУҒА АРНАЛҒАН АУА БЕРУ ҚҰРЫЛҒЫСЫН ӨЗІРЛЕУ

М.Т. БИЛЕЦКИЙ¹, техника ғылымдарының кандидаты, «Геофизика» кафедрасының доценті, biletskyimarc@yandex.ru

Б.Т. РАТОВ¹, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Геофизика» кафедрасының меңгерушісі, b.ratov@satbayev.university

В.Л. ХОМЕНКО², техника ғылымдарының кандидаты, доцент, мұнай-газ инженериясы және бұрғылау кафедрасының доценті, intelldriller@gmail.com

Е.А. КОРОВЯКА², техника ғылымдарының кандидаты, доцент, мұнай-газ инженериясы және бұрғылау кафедрасының меңгерушісі, koroviaka.ye.a@ntu.one

Б.Ф.САБИРОВ³, доктор PhD, Ұңғымаларды бұрғылау және күрделі жөндеу жөніндегі бастық, superintend_bos@mail.ru

Б.Р. БОРАШ⁴, Экология және геология кафедрасының PhD докторанты, bokenbay83@mail.ru

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 050043, Алматы қ., Сәтбаев к-сі, 22

²«ДНЕПР ПОЛИТЕХНИКАСЫ»
ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТ,
Украина, 49005, Днепр Дмитр Яворницкий даңғылы, 19

³«КАСПИЙ МҰНАЙ ГРУПП» ЖШС,
Қазақстан Республикасы, 090013, Орал қ., Желаетов, пром. 10 аймақ

⁴YESSENOV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қ., 32 ш / а

Жұмыста ұңғымаларды бұрғылау кезінде кері жууды құрудың негізгі әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді: орталықтан тепкіш сорғының көмегімен және эрлифт көмегімен. Ғылыми және патенттік басылымдарға шолу мен жалпылауды, ұңғымаларды бұрғылау кезінде кері жууды құру әдістеріне аналитикалық зерттеулер жүргізуді қамтитын кешенді зерттеу әдісі қолданылды. Олардың артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Шет елдерде жер асты суларының қорларын игеру кезінде кең таралған, кері жуумен үлкен диаметрлі ұңғымаларды бұрғылауға көп көңіл бөлінеді. Жоғарыда келтірілген материалдар бұл әдістің басқаларға қарағанда, өндірілген судың мөлшері мен сапасына да, ұңғымаларды пайдалану мерзіміне де айқын артықшылығын көрсетті. Жергілікті жағдайда бұл әдістің артықшылықтары әсіресе рельефті әсер етуі мүмкін және оның кемшіліктері минималды деңгейде көрінеді. Су ұңғымаларын бұрғылаудың негізгі әдістерінің ерекшеліктерін зерттеу; Самск кен орнының гидрогеологиялық жағдайларын зерттеу.

Самск кен орнына қатысты бұрғылаудың негізгі әдістерін сыни талдау; бұрғылаудың ең тиімді әдісін таңдаудың негіздемесі. Бұрғылаудың басқа әдістеріне қарағанда айналмалы кері жуу әдісінің артықшылықтарын дәлелденген деп санауға болады. Ол жергілікті жер асты суларын пайдалану коэффициентінің күрт өсуін қамтамасыз етеді, бұл жер асты суларын жергілікті сумен қамтамасыз етудің басты мәселесі болып табылады. Бұл әдісті кеңінен енгізу қажеттілігі айқын.

Жуу сұйықтығының жоғары ағынының жылдамдығы мен оның тығыздығының эрлифтпен кері жуу арқылы бұрғылаудың шекті тереңдігіне әсері зерттелді. Эрлифт көмегімен кері жуылатын ұңғымаларды бұрғылауға арналған циркуляциялық жүйенің жетілдірілген құрылысы жасалды. Оны қолданудың арқасында кәдімгі қосылыстары бар жаппай шығарылатын бұрғылау құбырларын пайдалану мүмкіндігі пайда болады. Бұл көтеріп-түсіру операцияларына кететін уақытты азайту арқылы бұрғылаудың ұшу жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл әдісті кеңінен енгізу қажеттілігі айқындалды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: Кері жуумен бұрғылау, эрлифт, Маңғыстау түбегі, Сам кен орны.

DEVELOPMENT OF AIR SUPPLY DEVICE FOR DRILLING WELLS WITH BACKWASHING USING AIRLIFT

M.T. BILETSKIY¹, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Geophysics», biletskymarc@yandex.ru

B.T. RATOV¹, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Geophysics Department, b.ratov@satbayev.university

V.L. KHOMENKO², candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Drilling, *inteldriller@gmail.com*

E.A. KOROVIAKA², candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oil and Gas Engineering and Drilling, *koroviaka.ye.a@nmu.one*

B.F. SABIROV³, PhD, head of drilling and well workover, *superintend_bos@mail.ru*

B.R. BORASH⁴, PhD student of the Department of Ecology and Geology, *bokenbay83@mail.ru*

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
22, Satbayev st., Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

²NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
«DNIPROVSKAYA POLYTECHNIKA»,
19, Dmytro Yavornitskogo avenue, Dnipro, 49005, Ukraine

³KASPIY MUNAY GROUP LLP,
prom. zone 10, Zhelaevo, Uralsk, 090013, Republic of Kazakhstan

⁴YESSENOV UNIVERSITY,
32 md, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan

In the work, a comparative analysis of the main methods of creating backwash during well drilling was carried out: using a centrifugal pump and using an airlift. A comprehensive research method was used, including a review and synthesis of scientific and patent publications, analytical studies of methods for creating backwash during well drilling. Their advantages and disadvantages are revealed.

The greatest attention is paid to drilling of large-diameter wells with backwash, which is widespread in foreign countries in the development of groundwater reserves. The presented materials showed a clear advantage of this method over others, both in terms of the quantity and quality of produced water, and in terms of well operation. It is shown that, under local conditions, the advantages of this method can have a particularly pronounced effect, and its disadvantages will manifest themselves to a minimal extent.

The advantages of rotary backflushing over other drilling methods can be considered proven. It will provide a sharp increase in the utilization rate of local groundwater resources, which is the main problem of local groundwater supply. The need for widespread implementation of this method is obvious.

The influence of the upward flow rate of the drilling fluid and its density on the maximum depth of drilling with backwash using an airlift has been studied. An improved device of the circulation system for drilling wells with backwash using an airlift has been developed. Thanks to its use, it becomes possible to use commercially available drill pipes with conventional connections. This allows you to increase the drilling speed by reducing the time spent on tripping operations.

KEY WORDS: backwash drilling, airlift, Mangistau peninsula, Samskoye field.

Введение. Водные ресурсы Республики Казахстан весьма ограничены по сравнению со многими соседними странами. Наблюдается региональный дефицит в отдельных речных бассейнах, в результате чего происходят потери в рыбной отрасли и сельском хозяйстве, деградация озер, рек, водно-болотных угодий.

Ожидаемые тенденции роста потребления воды и снижения обеспеченности водными ресурсами угрожают ростом регионального дефицита, с которым шесть из восьми водных бассейнов Казахстана могут столкнуться к 2040 г. Если не будет повышена эффективность использования и управления водными ресурсами, то к

2040 г. нехватка воды усилится, что отрицательно скажется на обеспечении водой населения, росте валового внутреннего продукта и состоянии окружающей среды.

На территории полуострова Мангистау, где сосредоточены крупные месторождения углеводородов Республики Казахстан существует сложная ситуация с водоснабжением. Типичным месторождением подземных вод полуострова является Самское месторождение. Месторождение расположено в Бейнеуском районе и имеет общую площадь 1500 км² и является главным источником подземных вод для г. Жанаозен.

Пригодные к разработке горизонты подземных вод имеют форму линз различной формы и размера. Водовмещающие породы представлены в основном мелкозернистыми песками с небольшими примесями песков средне- и тонкозернистых. Глубина залегания пресных вод находится в пределах от 1,5 до 44 м, мощность водоносных линз по современным данным доходит до 39 м со средним значением 14 м. Горизонты слабосолоноватых вод располагаются ниже горизонтов пресных вод и отделены от них пластами водоупоров. Утвержденные по категории В эксплуатационные запасы подземных вод составляют 21,2 тыс. м³/сут по пресным водам и 14,3 тыс. м³/сут – по слабосолоноватым.

Месторождение эксплуатируется с 1970 г. Пробурен ряд скважин в основном ручным способом, а также буровыми установками УГБ-50. Эти скважины отличаются невысоким дебитом; их глубина не превышает 50 м, а диаметр – 150 мм. Суммарный водоотбор не превышает 18 % от разведанных ресурсов при этом проблема водообеспечения города Жанаозен и Бейнеу по-прежнему стоит остро.

Параметры технологии бурения играют решающую роль в эффективности бурения скважин на воду. К ним относятся: осевая нагрузка на долото, частота вращения бурильной колонны, расход и параметры промывочной жидкости. Исследования, посвященные изучению технологии бурения можно разделить на три большие группы. К первой группе относятся работы, направленные на анализ механического взаимодействия в паре «долото-порода». Как правило, поиск здесь направлен на оптимизацию соотношения осевой нагрузки и частоты вращения долота [1]. Ко второй группе относятся работы, посвященные составу и свойствам промывочных жидкостей. А к третьей группе – работы посвященные оптимизации схем промывки скважины и расхода промывочной жидкости.

Именно улучшению технологии промывки скважины и посвящена настоящая работа.

Традиционно для бурения скважин применяется прямая схема промывки.

Этот способ бурения является наиболее универсальным способом строительства скважин, включая и водозаборные скважины.

Буровая установка оснащена вращателем, который вращает колонну бурильных труб с долотом на ее нижнем конце. Продукты разрушения выносятся на поверхность промывочной жидкостью, которая подается в скважину буровым насосом. Через нагнетательный шланг и вертлюг она попадает в колонну бурильных труб, по которой движется вниз к работающему долоту. Омывая долото и забой, жидкость вместе с буровым шламом возвращается на поверхность, где после освобождения от шлама в системе очистки вновь засасывается буровым насосом, осуществляя, таким образом, циркуляцию [2].

Прямая промывка имеет недостатки, заключающиеся в низкой скорости потока бурового раствора, плохой способности удерживать частицы, серьезном повторении разрушения, низкой эффективности бурения, сильном износе бурового долота, высоком потреблении энергии и высокой частоте аварий, который может быть эффективно улучшен с помощью технологии бурения с обратной циркуляцией с помощью эрлифтного бурения [3]. Доказано, что для избежания обвалов, необходимо, чтобы расстояние от устья заполненной водой скважины до ее статического уровня было не менее 3 м [4].

Вращательное бурение с обратной промывкой позволяет бурить скважины диаметром до 1500 мм [5]. Промывочная жидкость самотеком поступает из отстойников к обсадной колонне в устье скважины, спускается по затрубному пространству, омывает забой и породоразрушающий инструмент, а затем поднимается по бурильной колонне и возвращается в отстойник.

Использование обратной промывки позволяет эффективно повысить механическую скорость бурения, снизить стоимость скважины, снизить трудоемкость процесса. При использовании этого метода дебит скважины увеличивается примерно на 30% по сравнению с бурением с прямой циркуляцией [6].

Бурение скважин в условиях поглощения промывочной жидкости является важной проблемой при бурении на воду. Традиционным способом ее решения является установка обсадных колонн. Однако их установка наиболее целесообразна только после перебуривания всего чехла непродуктивных пород. В то же время зона поглощения может быть значительно выше продуктивного горизонта.

Бурение с обратной циркуляцией эффективно решает проблемы заиливания водоносного горизонта и поглощения промывочной жидкости в скважине [7].

При бурении скважины на сланцевый газ в Чаннине, провинция Сычуань (Китай), были успешно проведены промысловые испытания закачки газа в затрубное пространство с обратной циркуляцией газлифта. Потери на поглощение снизились на 83,6%. Подтверждена целесообразность применения технологии бурения с обратной циркуляцией газлифтного затрубного газа для решения проблемы поглощений при бурении. Ключевыми параметрами технологии бурения с обратной промывкой и эрлифтной закачкой газа являются объем закачки газа и вытеснение бурового раствора, изменением которых регулируется забойное давление [8].

Нами на основании изучения геолого-технических условий Самского месторождения было обосновано, что применение вращательного способа бурения с обратной промывкой позволяет многократно увеличить дебит скважин; уменьшить их потребное число; повысить качество добываемой воды; резко сократить время освоения скважины; значительно удлинить время эксплуатации скважин; обеспечить высокие скорости углубки; уменьшить затраты на кубометр добываемой воды [9]. Одной из основных проблем эрлифтного бурения является необходимость применения специальной бурильной колонны, что ограничивает область рационального использования этого способа бурения.

Целью настоящей работы является разработка усовершенствованной циркуляционной системы для бурения с обратной промывкой с помощью эрлифта таким образом, чтобы это дало возможность использовать серийно выпускаемые бурильные трубы с обычными соединениями.

Материалы и методы исследований. Поставленные задачи решались комплексным методом исследования, который включает обзор и обобщение литературных и патентных источников, проведение аналитических исследований существующих методов совершенствования технологии бурения скважин обратно-всасывающей промывкой.

Результаты и обсуждение. Из двух известных способов создания обратной промывки обратно-всасывающая промывка ограничена тем обстоятельством, что потери на трение при движении жидкости вверх по бурильной колонне компенсируются за счет фактической высоты всасывания используемого центробежного насоса. Эта высота соответствует атмосферному давлению и в идеальном случае при промывке водой не может превышать 10 м.

Реальные насосы могут при всасывании создавать вакуум существенно меньше 1 атм. Поскольку потери на трение восходящего потока промывочного агента пропорциональны длине бурильной колонны, то начиная с некоторой глубины, они приближаются к создаваемому насосом вакууму и далее циркуляция промывочной жидкости прекращается.

Этот способ ограничивает скорость углубки, т. к. чем она выше, тем больше содержание шлама в промывочной жидкости, а значит выше ее плотность и, следовательно, – выше потери на трение потока. Поэтому в технологических регламентах указывается, что при использовании обратно-всасывающего способа промывки скважин большого диаметра скорость углубки должна быть такой, чтобы за счет содержания шлама плотность промывочной жидкости возрастала не более чем, на 10 %.

Рассмотрим данную проблему подробнее:

Потери давления на трение потока жидкости в трубопроводе (бурильной колонне) определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$P = \rho \lambda H \frac{U^2}{2d_i}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; λ – коэффициент гидравлических сопротивлений; H – длина бурильной колонны, м; d_i – ее внутренний диаметр, м; U – скорость восходящего потока, м/с.

Решим уравнение относительно H :

$$H = \frac{2Pd_i}{\rho \lambda U^2}. \quad (2)$$

В этом уравнении H – предельная глубина бурения, которую может обеспечить работающий на всасывание центробежный насос, способный создать вакуум P .

В *таблице 1* приведены результаты расчета зависимости предельной глубины бурения от скорости восходящего потока промывочной жидкости и ее плотности.

Зависимости установлены для типичных условий: бурильные трубы диаметром 146 мм с внутренним диаметром $d_i = 136$ мм; коэффициент гидравлических сопротивлений $\lambda = 0,019$. Как показано в предшествующих разделах, даже при скорости восходящего потока воды $U = 1$ м/с в тубах принятого диаметра имеет место тур-

булентный режим бурения с указанным значением коэффициента λ , причем он сохраняется для всех более высоких скоростей. Значение вакуума, который способен создать центробежный насос принято равным $P = 0,5$ атм (50 000 Па).

Таблица 1 – Зависимость предельной глубины бурения, при обратно-всасывающей промывке от скорости восходящего потока промывки и его плотности

Скорость восходящего потока, U , м/с	Плотность промывочной жидкости, ρ , кг/м ³		
	1000	1100	1400
1	2	3	4
1,0	716	651	511
1,4	365	332	262
1,8	221	201	157
2,2	147	138	106
2,6	105	96	75

Из *таблицы 1* видно, что для скорости восходящего потока свободной от шлама воды, близкой к характерной для типичной скважины ($U_w = 2,5$ м/с) способ обратно-всасывающей промывки может обеспечить бурение до глубины 105 м (т.е. практически до 100 м).

В этих же условиях значения, предельной глубины при содержании шлама, увеличивающем плотность на 10 % (упомянутое выше предельное значение, согласно рекомендациям для обратно-всасывающей промывки), т.е. на 100 кг/м³ приведены в 3-й столбце *таблицы 1*.

При весьма высоком содержании шлама (столбец 4 *таблицы 1*) предельная глубина снижается до 75 м.

В работе [10] сделан вывод об уменьшении скорости углубки при обратно-всасывающем способе промывки. Сравнивая эрлифтный способ создания обратной промывки и всасывающий, они приходят к выводу, что на малых глубинах суточная проходка при эрлифтном способе выше на 20 %, на средних – на 55 %, а на максимально-достигнутых глубинах (300 – 350 м) производительность эрлифтного способа выше почти в 4 раза.

Кроме рассмотренного принципиального недостатка, обратно-всасывающая промывка характеризуется еще и рядом других:

– Проходя через центробежный насос, частицы породы отрицательно воздействуют на работу его лопастей. Частицы песка способствуют их абразивному износу. Крупные частицы способны эти лопасти деформировать и заклинивать в корпусе. Частицы вязкой глины, налипая на лопасти, приводят к снижению создаваемого ими вакуума.

– Себестоимость бурения существенно повышается за счет высокой стоимости вакуум насоса, и связанных с ним элементов, изготовление которых требует весьма высокой точности.

– Данный способ создания циркуляции отличается малой надежностью вследствие высокой вероятности возникновения ситуаций, нарушающих герметичность системы. Это могут быть неплотности соединений бурительных труб, ухудшение условий работы лопастей насоса и т.п. Нарушение герметичности снижает созда-

ваемый центробежным насосом вакуум, что приводит к вынужденным остановкам процесса углубки.

Второй из применяемых способов обратной промывки – эрлифтный способ, не имеет вышеописанных ограничений и недостатков, поэтому является более перспективным, особенно с точки зрения строительства скважин глубиной более 50 – 100 м.

При эрлифтном способе эффективность очистки забоя от разрушенной породы и, соответственно, высокая скорость углубки обеспечиваются высокой скоростью восходящего потока воды от забоя до смесителя.

В свою очередь, эта скорость обеспечивается за счет превышения плотности находящейся в затрубном пространстве воды, над плотностью водо-воздушной смеси внутри колонны. По этой причине на уровне смесителя гидростатическое давление в кольцевом пространстве оказывается больше, чем гидростатическое давление водо-воздушной смеси внутри колонны. Разность гидростатических давлений обеспечивает преодоление потерь на трение восходящего потока, и чем больше эта разность, тем выше скорость потока.

Необходимая плотность смеси обеспечивается путем подачи требуемого количества воздуха компрессором. При выходе из смесителя размер пузырьков воздуха минимален, но в процессе движения вверх и попадания в зоны с все более низким гидростатическим давлением пузырьки расширяются, увеличивая общий объем смеси и вызывая повышение скорости восходящего потока и поднимаемого им шлама. Таким образом, в ходе движения вверх доля воздуха в объеме аэрированной смеси все возрастает, а ее плотность уменьшается.

Бурение с применением эрлифта возможно при соблюдении величины коэффициента погружения смесителя:

$$K = \frac{A}{B}, \quad (3)$$

где А – погружение смесителя под динамический уровень воды; В – высота подъема жидкости от источника ее поступления. Этот коэффициент должен быть больше единицы.

При эрлифтном способе создания обратной промывки за динамический уровень принимается уровень воды в желобе, соединяющем емкость с очищенной водой с устьем скважины. Высота подъема отсчитывается от этого уровня вверх до наибольшей высоты вертлюга и места присоединения к нему шланга сброса пульпы. Поэтому перед началом применения эрлифта необходимо создать шурф глубиной 5 – 9 м, в зависимости от высоты ведущей трубы, считая от уровня воды в устье скважины до места отвода выкидного шланга.

Повышения глубины скважин при эрлифтном способе можно достичь за счет использования более эффективной техники, а именно – компрессоров, развивающих достаточно высокое давление, тогда как всасывающий способ ограничен атмосферным давлением.

Другие преимущества эрлифтного способа:

- Отсутствие на пути жидкости препятствий в виде лопастей центробежного насоса;
- Более высокая надежность из-за существенно меньшей зависимости от степени герметичности соединений;

– Возможность допускать высокую концентрацию шлама в пульпе с соответствующим повышением темпов углубки.

Недостатки эрлифтного способа:

– Сложность конструкции бурильной колонны, связанная с необходимостью включения в нее каналов подачи воздуха;

– Невозможность использовать серийно выпускаемые трубы нефтяного сортамента без их радикальной доработки;

– Необходимость в использовании специальных соединений бурильной колонны

– Резкое увеличение затрат времени на спуско-подъемные операции и наращивания бурильной колонны.

Перечисленные недостатки существенно увеличивают затраты на буровые работы.

Таким образом, недостатки эрлифтного способа сводятся к необходимости в значительном усложнении конструкции бурильной колонны, которая не только должна обеспечивать вынос на поверхность бурового шлама, но также и подачу сжатого воздуха к смесителю (при этом обратно-всасывающий способ позволяет использовать обычную серийно-выпускаемую бурильную колонну).

Наиболее распространенный тип бурильной колонны состоит в том, что бурильные трубы соединяются приварными фланцами, имеющими три проходных отверстия. Отверстие, расположенное в центре фланца имеет диаметр, равный внутреннему диаметру бурильных труб. Два других, меньших отверстия, расположены симметрично относительно центрального отверстия. Они соответствуют внутреннему диаметру труб подачи сжатого воздуха, располагающихся снаружи бурильных труб. Фланцы с помощью болтов и герметизирующих прокладок соединяют такие тройные трубы в единую колонну. Штифты предназначены для удобства совмещения соединяемых фланцев, а также для передачи крутящего момента.

Аналогичную конструкцию имеет и ведущая труба, вращающая бурильную колонну с помощью ротора, имеющего специальные плашки с поперечным сечением, соответствующим сечению тройной ведущей трубы, причем боковые воздушные трубы защищены от скручивания приварными швеллерами. Сверху ведущая бурильная труба фланцем соединяется с вертлюгом.

Снизу над долотом на расстоянии от него не менее 1,5 м располагается смеситель. Он выполнен в виде отрезка двойной трубы с фланцевыми соединениями на его торцах. Верхний фланец имеет вышеописанную форму фланцевых соединений бурильной колонны, включающей воздухопроводные трубы. В нижнем фланце отверстия для воздушных труб отсутствуют. Внутренняя труба представляет собой отрезок бурильной трубы, на котором выполнены ряды отверстий малого диаметра, обеспечивающие подачу воздуха в виде мелких пузырьков.

Желательно, чтобы смеситель располагался как можно ближе к долоту. При этом достигается предельно возможная высота столба аэрированной жидкости, и, следовательно, – максимальная скорость восходящего потока воды.

Недостаток бурильных колонн с фланцевыми соединениями заключается в том, что такие бурильные колонны и их соединения резко отличается от стандартных серийно выпускаемых промышленностью бурильных труб и их соединений. На практике серийные трубы приходится перенарезать, удаляя резьбовые концы и на

торцы приваривать заранее изготовленные фланцы, обеспечивая их строгую параллельность (ее отсутствие нарушает герметичность колонны).

Соединение двух труб в среднем занимает 30 мин [11]. Процесс соединений занимает большую часть баланса рабочего времени при строительстве скважин. Тем не менее, фланцевые соединения получили наибольшее распространение.

Существует также ряд других способов подачи сжатого воздуха к смесителю. В частности вместо фланцев трубы могут соединяться с помощью специальных приварных замков с коническими резьбами. Диаметр замка резко увеличен с учетом присоединяемых воздушных труб, того же типа, что и при фланцевых соединениях.

Такие замки сокращают время соединений примерно вдвое [11 – 16], но они сложны и дороги в изготовлении и увеличивают стоимость бурильной колонны существенно значительнее, чем фланцевые соединения. Практика использования таких соединений показала, что они не обеспечивают надежной герметизации бурильной колонны. Кроме того, замковые соединения лишены преимущества фланцевого соединения, в части возможности, как правого, так и левого вращения бурильной колонны.

Некоторые фирмы используют концентрические двойные бурильные колонны. Во внутренней колонне создается восходящий поток пульпы, а воздух поступает по кольцевому пространству между трубами. Колонны могут иметь как фланцевое, так и замковое соединение. В последнем случае в теле замка на участках, соответствующих, межтрубному пространству выполнены сверления для прохода воздуха. Такие бурильные колонны оснащаются специальными вертлюгами. Описанный способ повышает массу и стоимость бурильной колонны и при прочих равных условиях отличается уменьшенным проходным сечением пульпо-подъемной части.

Иногда применяют метод раздельного спуска бурильной и воздушной колонн. Последняя спускается внутрь предварительно спущенной бурильной колонны и представляет собой обычную бурильную колонну малого диаметра. В ходе бурения она не вращается и имеет собственный вертлюг, расположенный выше вертлюга основной колонны. Процесс наращивания и спуско-подъема такой комбинированной бурильной колонны резко усложнен и занимает много времени. Кроме того внутренняя колонна затрудняет проход частиц шлама большого размера.

Подводя итог, отметим, что оба рассмотренных выше способа создания обратной промывки характеризуются следующими особенностями:

Важнейшие преимущества:

– Для обратно-всасывающего способа – использование серийно выпускаемых бурильных труб и соединений;

– Для эрлифтного способа – отсутствие физических ограничений в интенсификации промывки и увеличении глубины скважин.

Основные недостатки:

– Для обратно-всасывающего способа – использование в качестве привода циркуляционной системы создаваемого центробежным насосом вакуума, который ограничен атмосферным давлением.

– Для эрлифтного способа – усложнение конструкции бурильной колонны за счет добавления к функции выноса шлама еще и функции подачи воздуха к смесителю эрлифта.

Основной недостаток обратно-всасывающей промывки обусловлен фундаментальными физическими законами, и поэтому устранить его не представляется возможным.

Основной недостаток эрлифтного способа связан с конструкцией бурильной колонны и в принципе может быть устранен. Однако существующие решения этой проблемы отличаются громоздкостью и требуют больших затрат времени и средств

Устранение основного недостатка эрлифтного способа и является целью предлагаемого нами устройства.

Суть устройства состоит в том, что вместо специальных бурильных труб со специальными соединениями используется серийно выпускаемые бурильные трубы с серийно выпускаемыми соединениями.

Воздух подается от компрессора к смесителю через шланг, намотанный на включенную в состав буровой установки лебедку. Через вертлюг шланг со смесителем на конце сматываются в бурильную колонну до необходимой глубины.

Схема устройства показана на *рисунке 1*.

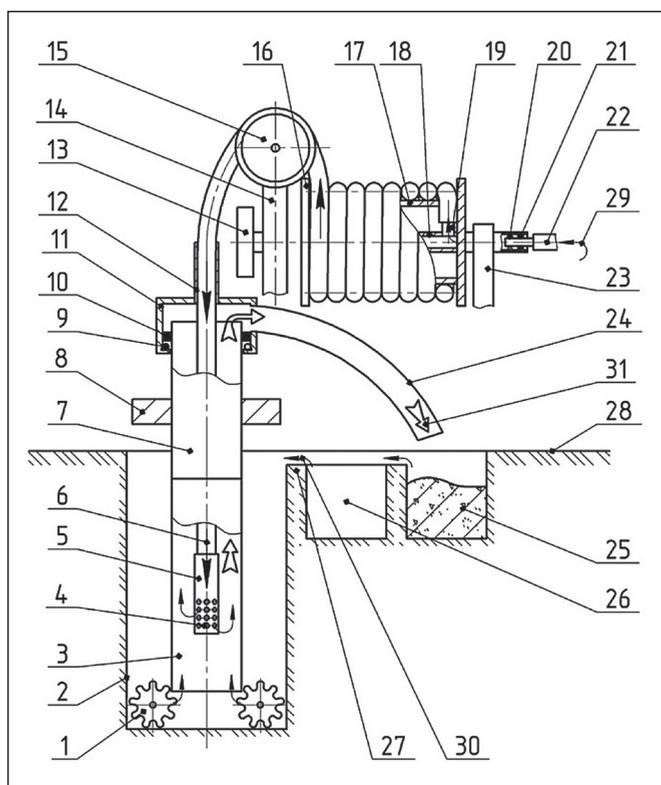


Рисунок 1 – Усовершенствованный вариант устройства циркуляционной системы для бурения скважин с обратной промывкой с использованием эрлифта: 1 – долото; 2 – стенка скважины; 3 – бурильная колонна; 4 – смеситель; 5 – утяжеляющая труба; 6, 22 – шланг; 7 – ведущая бурильная труба; 8 – ротор; 9, 20 – подшипник; 10, 21 – уплотнение; 11 – корпус вертлюга; 12 – направляющая труба; 13 – приводная шестерня; 14, 23 – опора вала лебедки; 15 – шкив; 16 – лебедка; 17 – барабан; 18 – вал; 19 – штуцер; 24 – выкидной рукав; 25 – отстойник; 26 – емкость очищенной жидкости; 27 – желоб; 28 – дневная поверхность; 29 – сжатый воздух от компрессора; 30 – нисходящий поток жидкости; 31 – восходящий поток водо-воздушной пульпы

Устройство работает следующим образом. В процессе бурения сжатый воздух 29 от компрессора через шланг 22 со штуцером и сальниковой трубкой через сальник 21 и подшипник 22 входит в полый вал 18 лебедки 16. Из вала через штуцер 19 – воздух попадает в начальный виток шланга 6, намотанного на барабане 17. С барабана через шкив 15 шланг входит в направляющую трубу 12 и по ней через центральное отверстие в крышке вертлюга 11 в ведущую бурильную трубу 7 и далее – вдоль центральной оси скважины – в бурильную колонну 3. На конце шланга закреплена утяжеляющая труба 5, со смесителем 4.

Поскольку гидростатическое давление столба пульпы 31 (смеси промывочной жидкости, воздуха и бурового шлама) меньше гидростатического давления столба промывочной жидкости в пространстве между бурильными трубами и скважиной, промывочная жидкость вместе с разрушенной породой устремляется вверх к смесителю и далее – вместе с воздухом – до верхнего конца ведущей трубы. Здесь в корпусе вертлюга имеется отверстие, соединяющее вертлюг со шлангом 24. По нему пульпа сливается в отстойник (шлamosборник 25), где шлам оседает, а очищенная жидкость перетекает по желобу 27, и, переполняя емкость 26, попадает в кольцевое пространство скважины и далее возвращается на забой к работающему там долоту. Так завершается цикл промывки.

По мере углубки скважины периодически освобождается тормоз лебедки 16 (тормоз на фигуре не показан) и утяжеляющая труба 5 вызывает сматывание шланга на соответствующую длину (либо с помощью привода запускается вращение барабана в сторону спуска).

Перед наращиванием бурильной колонны или перед спускоподъемными операциями шланг, с помощью лебедки 16, извлекается из бурильной колонны, до тех пор, пока утяжеляющая труба 5 со смесителем 4 не скроются внутри ведущей бурильной трубы 7. При проведении операций по соединению бурильных труб шланг удерживается тормозом лебедки в отведенной в сторону от устья ведущей трубе. После завершения операции свинчивания бурильных труб и соединения ведущей трубы с бурильной колонной, тормоз отпускается, и труба 5 со смесителем и шлангом снижаются в скважину до требуемого положения.

Заключение. Таким образом, предложенный усовершенствованный вариант устройства циркуляционной системы для бурения скважин с обратной промывкой с использованием эрлифта позволяет устранить главный недостаток этой схемы бурения – необходимость применения специальных бурильных колонн. Благодаря этому удастся значительно снизить затраты времени на выполнение спуско-подъемных операций и на наращивание бурильной колонны, и, следовательно, повысить рейсовую скорость бурения. Для повышения практической ценности предложенной циркуляционной системы необходимо разработать методику определения рабочих характеристики основных конструктивных элементов – шланга, утяжелителя, направляющей трубы лебедки и роликов.

Выводы. Разработано усовершенствованное устройство циркуляционной системы для бурения скважин с обратной промывкой с использованием эрлифта. Его сущность состоит в отказе от использования бурильной колонны в функции канала

подачи сжатого воздуха к смесителю. У нее сохраняются только ее традиционные функции, и таким образом появляется возможность использования серийно выпускаемых бурильных труб с обычными соединениями. 

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № АР АР14869271).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ratov B. T., Fedorov B.V., Khomenko V. L., Baiboz A. R., Korgasbekov D. R. Some features of drilling technology with PDC bits // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2020. – №3. – P. 13–18. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/013>.
- 2 Rashed K.A., Abduljawad A.M. A guide to designing water wells. Seventeenth International Water Technology Conference, IWTC. – 2013. – 17.
- 3 Cheng L., Man G.X., Zhu L.Q., Wang H. L., Ren L. K., Wang K. (2014). Application of ventilation pipe air-lift reverse circulation drilling technology in large diameter well drilling construction // Drilling engineering. – 2014. – N 3. – P. 44–47. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-7428.2014.03.015>.
- 4 Kenzhetaev Z.S., Kuandykov T.A., Togizov K.S., Abdraimova M.R., Nurbekova M.A. Selection of rational parameters for opening and drilling of technological wells underground uranium leaching // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2022. – N 3(453). – P. 115-127. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.184>.
- 5 Sudakov A., Chudyk I., Sudakova D., Dziubyk L. Innovative isolation technology for swallowing zones by thermoplastic materials / E3S Web of Conferences. – 2019. – N 123. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301033>.
- 6 Xiumin M., Yue C., Luheng Q. Research and Application of Gas-lift Reverse Circulation Drilling Technology to Geothermal Well Construction in Dalian Jiaoliu Island // Procedia Engineering. – 2014. – N 73. – P. 252–257. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.195>.
- 7 Yong, Z., Jianliang, Z. Technical Improvements and Application of Air-lift Reverse Circulation Drilling Technology to Ultra-deep Geothermal Well // Procedia Engineering. – 2014. – N 73. – P. 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.194>.
- 8 Li Q., Zhang X., Li Z., Li J., Dai F. Annular Aerated Gas-lift Reverse Circulation Drilling Technology and Key Parameters Design // Journal of Southwest Petroleum University. – 2020. – N 43(4). – P. 35.
- 9 Biletskiy M.T., Ratov B.T., Khomenko V.L., Borash B.R., Borash A.R. Increasing the Mangystau peninsula underground water reserves utilization coefficient by establishing the most effective method of drilling water supply wells // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2022. – N 5 (455). – P. 51–62. https://doi.org/10.32014/2518-170X_2022_5_455_51-62.
- 10 Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду. – М.: Недра, 1988. – 347 с. [Special'nye raboty pri burenii i oborudovanii skvazhin na vodu. – М.: Nedra, 1988. – 347 s.]
- 11 Овчинников П., Фролов, А., Грачев, С. Справочник бурового мастера. Том I. – М.: Инфра-Инженерия, 2022. – 608 с. [Ovchinnikov P., Frolov, A., Grachev, S. Spravochnik burovogo mastera. Tom I. – М.: Infra-Inzheneriya, 2022. – 608 s.]
- 12 Rasulov S.R., Hasanov G.T., Zeynalov A.N. Acoustic testing of rheological properties of oil in borehole // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan,

- Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – N 2(440). – P. 141-147 <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.41>
- 13 Ratov B. T., Fedorov B. V., Omirzakova E. J., Korgasbekov D. R. Development and improvement of design factors for PDC cutter bits / Mining Inf. Anal. Bull. – 2019. – N 11. – P. 73-80. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-0-73-80> (in Eng.).
 - 14 Sudakov A., Dreus A., Kuzin Y., Sudakova D., Ratov B., Khomenko O. A thermomechanical technology of borehole wall isolation using a thermoplastic composite material // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 109. – P. 00098. Essays of Mining Science and Practice. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900098>
 - 15 Buravleva A.A., Fedorets A.N., Vornovskikh A.A. et all. Spark Plasma Sintering of WC-Based 10wt%Co Hard Alloy: A Study of Sintering Kinetics and Solid-Phase Processes // Materials. – 2022. – N 15(3). – P. 1091:13. <https://doi.org/10.3390/ma15031091>
 - 16 Fedorov B., Ratov B., Sharauova A. Development of the model of petroleum well boreability with PDC bore bits for Uzen oil field (the Republic of Kazakhstan) // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – P. 16-22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.99032>