

УДК 622.24

В. И. Пилипец<sup>1</sup>, В. В. Радченко<sup>2</sup>, С. А. Зинченко<sup>3</sup>, Е. Н. Халимендигов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

<sup>2</sup> ГП «Институт «УкрНИИпроект», Киев, Украина

<sup>3</sup> Компания «Донецксталь», Донецк, Украина

## Разработка одноколонного эрлифтного насоса для бурения в условиях поглощения промывочной жидкости

Разработана конструкция одноколонного эрлифтного насоса ОЭН-73 для создания местной призабойной циркуляции жидкости при бурении в зонах поглощения бурового раствора в скважинах с низким динамическим уровнем. В отличие от существующих конструкций в насосе ОЭН-73 скорость движения восходящего потока водовоздушной смеси можно регулировать в зависимости от диаметра скважины, типа породоразрушающего инструмента, давления и подачи используемого компрессора. При этом наличие кольцевой щели пары «конусный наконечник - раструб» позволяет дополнительно увеличить скорость водовоздушной смеси за счет использования кинетической энергии струи. Эрлифтный насос ОЭН-73 можно использовать при колонковом бурении с отбором керна. Причем в этом случае эрлифтный насос позволяет создавать в колонковой трубе обратную циркуляцию, что положительно сказывается на проценте выхода керна. Насос также можно использовать при безкерновом бурении, например при перебурировании зон влияния горных выработок или сильнотрещиноватых пород, а также для откачки нефти или зашламленной жидкости из скважин. Конструкция насоса простая и позволяет изготовить его в мастерских геологоразведочных предприятий. Предложена математическая модель работы насоса и технология его использования при бурении в зонах осложнений, сопровождающихся падением уровня жидкости в скважине.

Ключевые слова: скважина, эрлифт, призабойная циркуляция, поглощения, динамический уровень.

При сооружении скважин различного целевого назначения, в том числе дегазационных, когда в геологическом разрезе встречаются многочисленные зоны осложнений, в том числе водопоглощающие горизонты с небольшим пластовым давлением, возникают осложнения, связанные с поглощением дорогостоящего бурового раствора.

Для перебурирования зон с частичным поглощением бурового раствора используются различные технические и технологические средства, в частности приходится снижать вес столба жидкости в скважине за счет уменьшения удельного веса бурового раствора путем добавки в него дорогостоящих реагентов или использования азрированных растворов. Если уровень жидкости не восстанавливается, то для возобновления циркуляции с целью обеспечения выноса выбуренной породы из скважины приходится постоянно подвозить и подавать в скважину буровой раствор или техническую воду, что часть невыгодно, а иногда и невозможно из-за обрушения стенок скважины. [1, 2].

Более эффективным способом перебурирования зон осложнений в условиях поглощения бурового раствора является бурение на остаточном столбе жидкости с использованием различных погружных насосов, создающих внутрискважинную циркуляцию, которые отличающихся конструктивно и по принципу действия. [3]. Одними из эффективных типов насосов, удовлетворяющих различным условиям эксплуатации, являются пневмоприводные насосы и в частности эрлифты.

Эрлифт относится к одному из наиболее простых способов создания внутрискважинной циркуляции на различной глубине, ввиду того, что для работы эрлифта используется сравнительно недорогой вид энергии – сжатый воздух. Кроме того они имеют большой моторесурс из-за отсутствия движущихся деталей, эффективно работают в среде с большим содержанием твердой фазы.

Однако для нормальной работы эрлифта необходимо обеспечить в скважине перепад давления жидкости в пределах 0,4–0,5 МПа при заглублении смесителя в жидкость на 70–80 м. Кроме того, необходимо опускать в скважину две колонны труб (воздухоподающую и водоподъемную), что в скважинах небольшого диаметра снижает область применения эрлифта. [4].

С целью расширения области применения эрлифта, а именно для создания местной призабойной циркуляции жидкости в скважинах с низким динамическим уровнем (до 10–12 м) и обеспечения возможности использования в качестве водоподъемных труб стенок скважины диаметром 76 мм и более, разработан одноколонный эрлифтный насос ОЭН-73.

Наличие одной буровой колонны для бурения и создания местной циркуляции позволяет значительно сократить время на спуско-подъемные операции, что особенно важно при скоростном поточном бурении дегазационных скважин.

В отличие от существующих конструкций в насосе ОЭН-73 скорость движения восходящего потока водовоздушной смеси можно регулировать в зависимости от диаметра скважины, типа породоразрушающего инструмента, давления и подачи используемого компрессора. При этом наличие кольцевой щели пары «конусный наконечник – раструб» позволяет дополнительно увеличить скорость водовоздушной смеси за счет использования кинетической энергии струи.

Эрлифтный насос ОЭН-73 можно использовать при колонковом бурении с отбором керна. В этом случае эрлифтный насос позволяет создавать в колонковой трубе обратную циркуляцию, что положительно сказывается на проценте выхода керна.

Насос можно использовать при безкерновом бурении, например при бурении дегазационных скважин, перебурировании зон влияния горных выработок или сильнотрещиноватых пород, а также для откачки нефти или зашламленной жидкости из скважин.

Конструкция насоса простая и позволяет изготовить его в мастерских угольных или геологоразведочных предприятий.

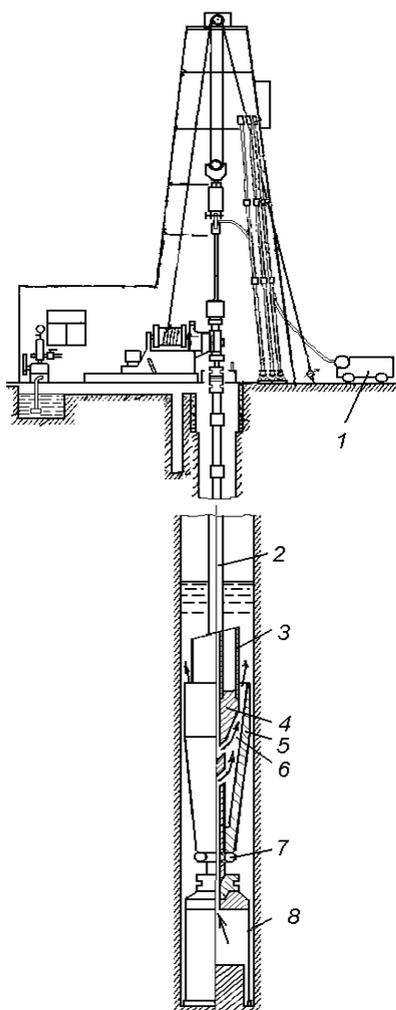


Рис. 1. Одноколонный эрлифтный насос ОЭН-73

Одноколонный эрлифтный насос представляет собой воздушнотруйный водоподъемник, состоящий из конусного наконечника 4 с изменяющимся углом наклона, установленного в раструбе 5 (рис. 1).

Причем кольцевой зазор между наконечником 4 и раструбом 5 регулируется от 0 до 15 мм путем смещения раструба по резьбе в зависимости от глубины установки насоса ниже динамического уровня жидкости в скважине и требуемой скорости восходящего потока перекачиваемой смеси. Для фиксации раструба в определенном положении используется контргайка 7.

Компрессором 1 сжатый воздух подается по шлангу, через сальник-вертлюг, ведущую и бурильные трубы в камеру смешения 6 эрлифтного насоса, где сжатый воздух смешивается с жидкостью.

При насыщении жидкости воздухом, ее удельный вес снижается, и возникает перепад давления в сообщающихся каналах «камера смешения – скважина».

Смесь воздуха и жидкости, вследствие разности удельных весов в камере смешения и скважине поднимается в кольцевой зазор между конусным наконечником 4 и раструбом 5, где струя смеси сужается, скорость ее увеличивается, в камере смешения 6 создается пониженное на величину скоростного напора потока смеси давление.

Выходя из камеры смешения поток водовоздушной смеси поднимается вверх по зазору между шламовой трубой и стенками скважины.

При этом из колонковой трубы жидкость начинает засасываться в камеру смешения, т. е. создается обратная промывка.

При изливе водовоздушной смеси в районе залегания динамического уровня жидкости в скважине воздух отделяется от жидкости и поднимается к устью скважины, а жидкость остается в скважине.

Таким образом, кинетическая энергия потока смеси в камере смешения частично передается засасываему из колонковой трубы потоку жидкости, что позволяет эрлифтному насосу работать в скважинах с небольшим по сравнению с обычным эрлифтом заглублением под динамический уровень.

Поскольку гидростатическое давление жидкости на стенки скважины при бурении в условиях поглощения бурового раствора отсутствует, то слабоустойчивые породы могут обрушаться. Если проектная глубина скважины значительная, то целесообразно неустойчивые интервалы, до уровня жидкости, крепить обсадными трубами или проводить послойную цементацию.

Для предохранения незакрепленных стенок скважины от размыва жидкостью, выходящей из эрлифтного насоса, конструкцией предусмотрено, что верхний торец раструба 5 при любом его положении всегда находится выше конусного наконечника 4 и поэтому выходящая из кольцевой щели жидкость направляется вверх, не размывая стенки скважины.

При использовании эрлифтного насоса в составе бурового снаряда перед включением в работу бурового станка необходимо убедиться в запуске насоса и наличии циркуляции жидкости.

Поэтому после спуска в скважину бурового снаряда включается компрессор и сжатый воздух подается в эрлифтный насос. При запуске эрлифтного насоса, давление сжатого воздуха возрастает до определенной величины (в пределах 1,0–1,5 МПа) в зависимости от глубины скважины и величины заглубления насоса, а затем несколько падает и стабилизируется на постоянной отметке. Величина давления сжатого воздуха контролируется по манометру, установленному на нагнетательной линии компрессора.

Стабилизация давления свидетельствует о наличии циркуляции жидкости и после этого включается буровой станок и инструмент с вращением доводится до забоя. Создается осевая нагрузка и осуществляется бурение.

С увеличением числа оборотов, особенно в породах глинистого комплекса, возможен срыв циркуляции из-за закупорки окон породоразрушающего инструмента при быстром его внедрении в горную породу. Закупорка сопровождается понижением давления сжатого воздуха, что фиксируется по показанию манометра. При возникновении данного явления, необходимо снизить осевую нагрузку и приподнять буровой снаряд на 5–10 см, затем продолжить бурение с меньшим осевым усилием.

Следует учесть, что в условиях поглощения промывочной жидкости скважина только частично заполнена водой. Поэтому при прекращении вращения бурового снаряда происходит быстрое оседание шлама. С целью максимального уменьшения количества шлама на забое целесообразно применять шламовые трубы 3 открытого типа.

Расчет рабочих параметров эрлифтного насоса, включенного в состав бурового снаряда можно определить, представив общее уравнение эрлифтного насоса в таком виде: [5]

$$P_a V_a \ln \frac{P_1}{P_a} = \gamma Q (h + h_1),$$

где  $P_a$  и  $P_1$  – соответственно атмосферное и первоначальное давление воздуха;  $V_a$  – объемный расход воздуха, приведенный к атмосферному давлению;  $\gamma$  – удельный вес поднимаемой жидкости;  $Q$  – количество поднимаемой жидкости, м<sup>3</sup>/час;  $h$  – в данном случае высота подъема жидкости и одновременно глубина погружения насоса под динамический уровень;  $h_1$  – потери энергии на относительное движение и на трение.

Первый член уравнения представляет собой энергию, необходимую для подъема  $\gamma Q$  жидкости на высоту  $h$ .

Для расчета подачи эрлифтного насоса можно использовать методику, основанную на балансе напора в эрлифтного насоса [5].

Уравнение баланса напора с учетом сопротивлений ниже смесителя имеет вид:

$$h \gamma_{жс} = \lambda_c \frac{H}{D-d} \frac{V_c^2}{2g} \gamma_c + H \omega / V_c \gamma_{жс} + \lambda V_0^2 \frac{l_2}{d_o 2g} \gamma_{жс},$$

где  $\gamma_{жс}$ ,  $\gamma_c$  – соответственно удельный вес жидкости в скважине и водовоздушной смеси, Н/м<sup>3</sup>;  $\lambda_c$ ,  $\lambda$  – коэффициенты сопротивления движения водовоздушной смеси и жидкости;  $D$  и  $d$  – соответственно наружный диаметр конусного наконечника и диаметр раструба в расчетном сечении, м;  $V_c = (q_{\text{в}} + \omega F) \gamma_{жс} / F \gamma_c$  – средняя скорость смеси в кольцевом зазоре между конусным наконечником и раструбом эрлифтного насоса, м/с;  $F$  – площадь сечения кольцевого зазора между конусным наконечником и раструбом, м<sup>2</sup>;  $\omega$  – скорость проскальзывания воздуха в жидкости, м/с;

$q_3$  – максимальная подача эрлифтного насоса, м<sup>3</sup>/с;  $l_3$  – длина всасывающей линии эрлифтного насоса, м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $d_0$  – внутренний диаметр колонковой трубы, заполненной керном, м;  $V_0 = \frac{q_2}{F_0}$  – скорость движения жидкости в колонковой трубе, м/с; где  $F_0$  – площадь кольцевого зазора между внутренней стенкой колонковой трубы и керном, м<sup>2</sup>.

Из уравнения баланса напора максимальная подача эрлифтного насоса определяется из выражения:

$$q_3 = \frac{38.31 H F_0^2 d_0}{l F \sqrt{d}} \left[ \sqrt{1 - \frac{d F^2 l}{13.3 F_0^2 d_0 H} \left( \omega \sqrt{\frac{l}{d}} - 8.84 \frac{h}{H} \right)} - 1 \right].$$

Таким образом, значение  $q_3$  характеризует подачу эрлифтного насоса, необходимую для преодоления гидравлических сопротивлений.

Скорость проскальзывания воздуха в жидкости определяется из выражения:

$$\omega = 1.6 \left( 1 - \frac{H}{200} \right) + 0.00054 l, \text{ м/с.}$$

Для случая, когда колонковая труба заполнена керном скорость проскальзывания воздуха в жидкости следует принимать на 0,2 – 0,3 м/с больше расчетного значения. Подача эрлифтного насоса в таком случае рассчитывается с учетом требуемой скорости восходящего потока в колонковой трубе:

$$q_3^1 = VF_0;$$

где  $V$  – скорость восходящего потока жидкости, необходимая для выноса выбуренного шлама с учетом конкретных условия бурения, м/с.

$$V = U + C,$$

где  $U$  – скорость падения частиц выбуренной породы в потоке жидкости, м/с;  $C$  – требуемая скорость выноса частиц породы, м/с.

Скорость падения частиц выбуренной породы в потоке жидкости можно определить из выражения:

$$U = K_1 \sqrt{\frac{\delta(\gamma_{\Pi} - \gamma_{ж})}{\gamma_{ж}}},$$

где  $\delta$  – эквивалентный диаметр выбуренной породы, м;  $\gamma_{\Pi}$ ,  $\gamma_{ж}$  – удельный вес выбуренной породы и промывочной жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от формы частицы выбуренной породы.

Требуемая скорость выноса частиц породы определяется по формуле:

$$C = \frac{F_2 V_M (\gamma_{\Pi} - \gamma_{ж})}{K_2 F_1 (\gamma_1 - \gamma_{ж})},$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – соответственно площадь забоя скважины теоретическая и с учетом разработки, м<sup>2</sup>;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий винтообразное движение частиц, вследствие вращения бурильных труб;  $\gamma_1$  – удельный вес промывочной жидкости, обогащенной шламом, Н/м<sup>3</sup>.

По расчетным значениям  $q_3$  и  $q_3^1$  выбирается большее значение, которое в дальнейшем учитывается как  $q_3^{\max}$ .

По расчетным значениям  $q_3^{\max}$  определяется расход сжатого воздуха, подаваемого компрессором:

$$Q = \frac{(q_3^{\max} + \omega F) \left( \frac{\gamma_{ж}}{\gamma_c} - 1 \right) \left( \frac{P_c - P_a}{P_a} \right)}{2.3 \lg \frac{P_c}{P_a}},$$

где  $q_{\text{max}}$  – расчетная максимальная производительность эрлифта, м<sup>3</sup>/с;  $P_a$  – атмосферное давление;  $P_c$  – давление сжатого воздуха в смесительной камере, Па.

$$P_c = h \gamma_{\text{ж}} - P_{\omega} - P_T + P_a,$$

где  $P_{\omega}$  – гидравлические сопротивления в канале между стенками скважины и эрлифтным насосом с учетом проскальзывания воздуха в жидкости, Па;  $P_T$  – гидравлические сопротивления при движении жидкости ниже смесительной камеры, Па.

$$P_{\omega} = H \frac{\omega}{V_c} \gamma_c; \quad P_T = \lambda \frac{l}{d_0} \frac{V_0^2}{2g} \gamma_{\text{ж}}.$$

Для определения отношения  $\gamma_{\text{ж}}/\gamma_c$  используется уравнение баланса напора в эрлифте:

$$\gamma_{\text{ж}}/\gamma_c = \left( \frac{h}{H} - \frac{\lambda l q_{\text{с}}^2}{2g d_0 H F_0^2} \right) \frac{g d F^2}{\lambda_c (q_{\text{с}} + \omega F)^2}.$$

Давление воздуха на выходе компрессора определяется из выражения:

$$P_{\kappa} = \frac{\sqrt{P_c^2 + a(L + L_3^1)} - P_3 b L}{1 + b L},$$

где  $P_3$  – давление воздуха на входе в эрлифтный насос, Па;  $L$  – длина шланга от компрессора до сальника - вертлюга, м;  $L_3^1$  – эквивалентная длина колоны воздухоподающих труб, м,  $L_3^1 = d_3 \frac{n \xi}{\lambda}$ , м;  $d_3$  – эквивалентный внутренний диаметр воздухоподающих труб, м;  $n$  – число замковых соединений в колонне воздухоподающих труб;  $\xi$  – безразмерный коэффициент местных сопротивлений

$\xi = 1.5 \left[ \left( \frac{d_{\text{вн}}}{d_c} \right)^2 - 1 \right]^2$ ;  $d_{\text{вн}}$  и  $d_c$  – соответственно внутренний диаметр воздухоподающих труб и диаметр наименьшего проходного канала в соединении воздухоподающих труб, м;  $a$  и  $b$  – коэффициенты  $a = \lambda \frac{G^2 R T}{g d_3 F_2^2}$ ;  $b = \frac{\sin \alpha}{2 R T}$ ;  $\lambda$  – безразмерный коэффициент аэродинамических сопротивлений в воздухоподающем трубопроводе, где  $\lambda = \frac{0.009407}{\sqrt[3]{d_c - d_n}}$ ;  $G$  – массовый расход воздуха, кг/с,  $G = \frac{P_a Q}{R T}$ ;  $R$  – газовая постоянная, Дж/кг·К<sup>0</sup>,

для влажного воздуха  $R=287.4$  Дж/кг·К<sup>0</sup>;  $T$  – средняя температура потока сжатого воздуха, К<sup>0</sup>;  $\alpha$  – угол наклона оси скважины к горизонту, град;

Основные технические данные эрлифтного насоса ОЭН-73, полученные в результате аналитических и опытно-промышленных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика насоса ОЭН-73

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Диаметр воздухоподающих труб	м	0.050
Диаметр скважины	м	0.076 и более
Глубина применения	м	до 1000
Рекомендуемое погружение насоса ниже уровня жидкости в скважине	м	10-12
Рабочее давление воздуха при бурении скважины глубиной 1000 м	МПа	1.0-1.5
Подача эрлифтного насоса при расходе воздуха 1.25 м <sup>3</sup> /мин	л/мин	40
Расход воздуха при максимальной глубине применения	м <sup>3</sup> /мин	1.25

### Библиографический список

1. Разработка новых способов получения местной обратной промывки разведочных скважин для повышения выхода керна и проходки за рейс / [Г.И. Неудачин, В.С. Фоменко, В.И. Пилипец, П.В. Зыбинский] // Техника и технология бурения скважин эксплуатационной разведки на карьерах и шахтах КМА. - Белгород, 1976.
2. Пилипец В.И. Насосы для подъема жидкости: уч. пособие для Вузов / В.И. Пилипец. – Донецк: РИА, 2000. - С. 241.
3. Филимоненко Н.Т. О влиянии динамики столба жидкости в скважине на подачу пульсационного насоса / Н.Т. Филимоненко, В.И. Пилипец, А.Ф. Жебаленко // Техника и технология бурения разведочных скважин: межвуз. науч. темат. сб. Вып. 9. – Свердловск: изд. СГИ, 1986. – 112 с.
4. Неудачин Г.И. Некоторые результаты использования эрлифтных насосов для бурения с внутрискважинной обратной промывкой / Г.И. Неудачин, В.И. Пилипец, Н.Т. Филимоненко // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. - Свердловск СТИ, 1982.
5. Пилипец В.И. Повышение эффективности эрлифтных насосов / В.И. Пилипец // Наукові праці ДонДТУ: Серія гірничо-геологічна. - 2001. - Вип. 24.

Надійшла до редакції 14.10.2012

В. І. Пилипець, В. В. Радченко, С. О. Зінченко, Е. Н. Халімендіков

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна  
Компанія «Донецьксталь», Донецьк, Україна*

#### Розробка одноколонного ерліфтного насоса для буріння в умовах поглинань промивальної рідини

Розроблена конструкція одноколонного ерліфтного насоса ОЕН-73 для створення місцевої привибійної циркуляції рідини при бурінні в зонах поглинання бурового розчину в свердловинах з низьким динамічним рівнем. На відміну від існуючих конструкцій в насосі ОЕН-73 швидкість руху висхідного потоку водоповітряної суміші можна регулювати в залежності від діаметра свердловини, типу породоруйнуючого інструменту, тиску і подачі компресора, який використовується. При цьому наявність кільцевої щілини пари «конусний кінцевик - розтруб» дозволяє додатково збільшити швидкість водоповітряної суміші за рахунок використання кінетичної енергії струменя. Ерліфтний насос ОЕН-73 можна використовувати при колонковому бурінні з відбором керна. В цьому випадку ерліфтний насос дозволяє створювати в колонковій трубі зворотну циркуляцію, що позитивно позначається на відсотку виходу керна. Насос також можна використовувати при безкernовому бурінні, наприклад при перебудуванні зон впливу гірничих виробок або сильнотрещиноватих порід, а також для відкачування нафти або зашламленої рідини зі свердловин. Конструкція насоса проста і дозволяє виготовити його в майстернях геологорозвідувальних підприємств. Запропоновано математичну модель роботи насоса, що дозволяє підрахувати робочі параметри насоса, а також технологію його використання при бурінні в зонах ускладнень, що супроводжуються падінням рівня рідини в свердловині.

Ключові слова: свердловина, ерліфт, привибійна циркуляція, поглинання, динамічний рівень.

V. I. Pilipets, V. V. Radchenko, S. A. Zinchenko, Ye. N. Khalimendikov

*Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine  
Company "Donetskstal", Donetsk, Ukraine*

#### Development of a One Column Air-Lift Pump for Drilling in the Conditions of Washing Fluid Absorption

We designed a one column air-lift pump OEN-73 for creating local bottomhole fluid circulation during drilling in the areas of drilling fluid absorption in the wells with low dynamic level. In contrast to existing structures the pump OEN-73 allows adjusting the speed of the ascending water-air flow depending on the well diameter, the type of rock cutting tools, pressure and the compressor entry. The presence of the annular slot of the pair "tapered tip - bell" increases water-air mixture velocity at the expense of the jet kinetic energy. Airlift pump OEN-73 can be used in core drilling with core selection. In this case the airlift pump provides reverse circulation, which has a positive effect on the percentage of core recovery. The pump can also be used in drilling without coring, for example in the areas affected by mining excavations, for highly fractured rocks drilling, as well as for oil and slurried liquid pumping from wells. The pump is simple and can be made at the workshops of geological exploration enterprises. We propose a mathematical model of its operation and the technique of using it in complicated areas drilling, where the fluid level in wells falls.

Key words: well, airlift, bottomhole circulation, fluid absorption, dynamic level.