



УДК 622.24+621.694.2

**ЭЖЕКТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА**© А.П. Мельников<sup>1</sup>, Н.А. Буглов<sup>2</sup><sup>1</sup>Геологоразведочный техникум Иркутского национального исследовательского технического университета, 640074, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 104.<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, 640074, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассмотрено основное предназначение струйных насосов в процессе бурения нефтегазовых скважин, а именно создание депрессии на пласт при первичном вскрытии скважины. Определены преимущества и недостатки использования струйных насосов при первичном вскрытии продуктивного пласта. Разработана гидравлическая схема компоновки низа бурильной колонны с использованием струйного насоса. Описана методика определения параметров эжекторного устройства для создания депрессии на пласт, а также необходимого давления на выходе буровых насосов для создания заданного уровня депрессии.

*Ключевые слова:* бурение; струйный насос; эжектор; относительный напор; коэффициент эжекции; первичное вскрытие; депрессия пласта.

**EJECTOR DEVICE FOR PRODUCTION HORIZON PRIMARY OPENING****A.P. Melnikov, N.A. Buglov**

Geological Prospecting College of Irkutsk National Research Technical University, 104 Lermontov St., Irkutsk, 640074, Russia.

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article deals with the main purpose of jet pumps under drilling of oil and gas wells, namely, under reservoir drawdown creation under the initial opening of the well. The advantages and disadvantages of jet pump application in the initial opening of the production horizon are determined. A hydraulic scheme of the bottom hole assembly using a jet pump is developed. The procedure for the determination of ejector parameters to create a pressure drawdown as well as required pressure at mud pump discharge to create a target level of drawdown is described.

*Keywords:* drilling; jet pump; ejector; relative pressure; ejection coefficient; initial opening; reservoir drawdown.

Одним из путей повышения технико-экономических показателей бурения является использование забойных устройств на базе струйных насосов, обеспечивающих снижение дифференциального давления в призабойной зоне с сохранением противодавления в стволе скважины. Как показывает опыт бурения, поддержание дифференциального давления на минимально допустимом уровне при вскрытии продуктивного горизонта способствует улучшению условий работы долота и увеличению скорости бурения. Рациональная эксплуатация скважинных струйных насосов определяет перспективность их применения в нефтегазовом бурении для первичного вскрытия продуктивного горизонта.

Несмотря на значительное количество разработанных конструкций и широкий

спектр применения, эффективность использования скважинных струйных насосов не всегда соответствует необходимым требованиям. Поэтому выполнение комплекса работ по исследованию условий эффективной эксплуатации струйных насосов в процессе сооружения нефтегазовых скважин, а также нормирование требований изготовления, эксплуатации и ремонта скважинных струйных насосов в условиях нефтегазовых предприятий является актуальной задачей.

Известны случаи применения струйных насосов для создания переменных депрессий-репрессий при освоении скважин в Западной Сибири (Приобская, Федоровская и Южно-Сургутская площади). Данная методика разработана в Ивано-Франковском университете нефти и газа (Украина) и опи-

<sup>1</sup>Мельников Александр Павлович, преподаватель, тел.: +7(904) 1230633, e-mail: melnikov200910@yandex.ru  
Melnikov Aleksandr, Lecturer, tel.: +79041230633, e-mail: melnikov200910@yandex.ru

<sup>2</sup>Буглов Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой нефтегазового дела.

Buglov Nikolay, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oil and Gas Business.

сана в работе Р.С. Яремийчука [9]. Возможность струйного насоса создавать обратное местное промывание в забое скважины нашло отображение в конструкциях компоновки низа бурильной колонны, предназначенных для отбора керна.

Известны работы, посвященные струйным насосам, таких авторов, как Ю.А. Сазонов [5], П.Н. Каменев [1], Ю.Л. Кирилловский [2], Е.Я. Соколова [6] и др.

Целью работы является повышение эффективности использования скважинных струйных насосов в процессе бурения нефтяных и газовых скважин.

Основные задачи исследования:

– определить критерии оценки эффективности эксплуатации струйных насосов при бурении скважин;

– предложить методы повышения эффективности использования струйных насосов при бурении скважин.

Необходимо выяснить, возможно ли использование струйного насоса для создания оптимального значения депрессии на пласт при первичном вскрытии с условием обеспечения оптимальных режимов бурения.

Объект исследования: скважинный струйный насос для бурения скважин.

Предмет исследования: технология применения скважинных струйных насосов для первичного вскрытия продуктивного горизонта при бурении нефтегазовых скважин.

В ходе исследования использовалось математическое моделирование процесса с применением законов сохранения, непрерывности массы и количества движения жидкости потоков.

К основному недостатку струйных насосов относится низкий КПД, в самых совершенных конструкциях не превышающий 42%. Правда, данный недостаток в процессе работы на забое скважины малосущественный: важным показателем является функциональность устройства и его воздействие на процесс бурения.

Значительные гидравлические потери на рабочей насадке струйного насоса для используемых значений расхода бур-

ового раствора являются серьезным препятствием по внедрению струйных насосов в бурение. Большинство попыток по внедрению данных технологий показало, что в большинстве случаев струйные насосы работают в предельных режимах (отрицательные коэффициенты инжекции), т.е. не выполняют основную свою функцию.

Известно устройство для бурения скважин [7, с. 114]. Гидравлическая схема устройства изображена на рис. 1. Устройство состоит из долота, наддолотного переводника с размещенным в нем струйным насосом. Струйный насос данного устройства состоит из рабочей насадки, диффузора и камеры смешения. Рабочая насадка соединена с каналом колонны бурильных труб, диффузор соединен с промывочным каналом долота, а камера смешения – с наддолотным пространством. Устройство работает следующим образом: за счет потока промывочного раствора в колонне бурильных труб создается рабочий поток струйного насоса, который на выходе рабочей насадки 1 создает зону пониженного давления, за счет чего инжектируется жидкость с наддолотного пространства по гидравлической линии из точки Б в точку А (см. рис. 1). Смешанный поток рабочей и инжектируемой жидкости поступает в гидравлическую систему долота.

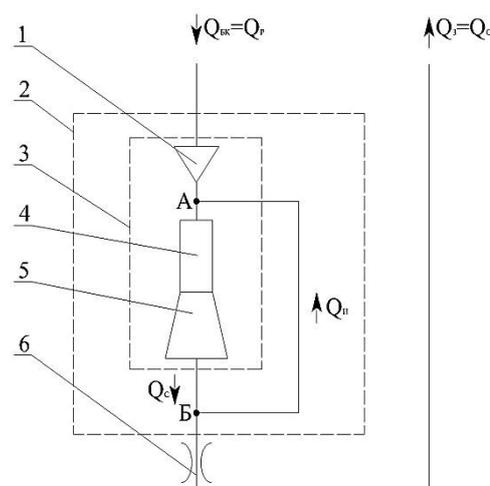


Рис. 1. Гидравлическая схема устройства для бурения скважин:

1 – рабочая насадка; 2 – наддолотный переводник; 3 – струйный насос; 4 – камера смешения; 5 – диффузор; 6 – долото

Недостатком заданной гидравлической схемы является значительное гидравлическое сопротивление, которое создает рабочая насадка струйного насоса, многократно превышающее гидравлическое сопротивление гидромониторных насадок долота. Данное обстоятельство сильно усложняет техническую сторону бурения с точки зрения эксплуатации буровых насосов и привода буровой в целом.

В Ивано-Франковском национальном техническом университете нефти и газа была разработана полезная модель, которая позволяет уменьшить гидравлические потери на рабочей насадке струйного насоса и, как следствие, избежать предельных режимов работы гидравлической системы (рис. 2).

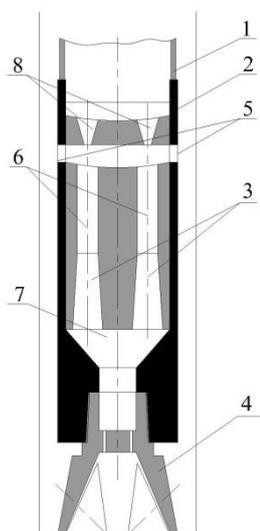


Рис. 2. Устройство для бурения скважин:

- 1 – буровая колонна; 2 – наддолотный переводник; 3 – диффузор;  
4 – гидромониторное долото;  
5 – радиальный канал; 6 – камера смешения;  
7 – напорная камера; 8 – рабочая насадка

Положительный эффект достигается с помощью разделения потока рабочей жидкости на параллельные потоки [3]. К недостатку такой конструкции относится низкий гидравлический КПД, правда, как было подчеркнуто выше, для условий бурения этот недостаток не является решающим.

Устройство для бурения скважин установлено между колонной буровых труб 1 и гидромониторным долотом 4. Данное устройство состоит из переводника 2 с

радиальными каналами 5, в котором размещены рабочие насадки 8, камеры смешивания 6 и диффузоры 3. Диффузоры 3 соединяются с напорной камерой 7 гидравлической системой гидромониторного долота.

Устройство для бурения скважин работает следующим образом. Промывочная жидкость через колонну буровых труб 1 поступает на рабочие насадки 8. Далее поток жидкости через камеры смешивания 6, диффузоры 3 и напорную камеру 7 поступает на гидромониторное долото 4. Рабочий поток из рабочих насадок 8 создает разрежение, которое инжектирует жидкость из затрубного пространства скважины через радиальные каналы 5, за счет чего интенсифицируется промывка забоя скважины.

Очевидна технико-экономическая эффективность от внедрения разработанного устройства:

- увеличение механической скорости бурения до 15,21%;
- увеличение проходки на долото до 15,45%.

Значение депрессии на пласт в зоне отверстий 5 (см. рис. 2) изменяется посредством регулирования давления на выходе буровых насосов  $P_{БН}$  с учетом фактического коэффициента инжекции  $i$ .

Рабочее давление скважинного струйного насоса определяется по формуле

$$P_P = P_{БК} + P_{БН} - \Delta p_{БК} - \Delta p_P, \quad (1)$$

где  $P_{БК}$  – статическое давление столба жидкости в канале буровых труб над струйным насосом, Па;  $\Delta p_{БК}$  – значение гидравлических потерь на перекачивание бурового раствора по каналу буровых труб, Па;  $\Delta p_P$  – потери давления в рабочей насадке струйного насоса, Па.

Давление на выходе струйного насоса определяется с учетом необходимости транспортировки бурового раствора со шламом на поверхность:

$$P_C = P_{КП} + \Delta p_{КП} + \Delta p_D, \quad (2)$$

где  $P_{КП}$  – статическое давление столба



жидкости в кольцевом пространстве между бурильной колонной и стенками скважины (обсадной колонной), Па;  $\Delta p_{\text{КП}}$  – гидравлические потери давления на транспортировку смеси бурового раствора и шлама из забоя на устье скважины, Па;  $\Delta p_{\text{Д}}$  – потери давления на гидромониторных насадках долота, Па.

Потери давления  $\Delta p_{\text{БК}}$  и  $\Delta p_{\text{КП}}$  определяются по известным выражениям [6]:

$$\Delta p_{\text{БК}} = 8\lambda_{\text{БК}}\rho_{\text{Р}}HQ_{\text{БН}}^2 / (\pi^2 d^5), \quad (3)$$

$$\Delta p_{\text{КП}} = \frac{8\lambda_{\text{КП}}\rho_{\text{С}}HQ_{\text{БН}}^2}{(\pi^2 (D - d_{\text{В}})^3 (D + d_{\text{В}})^2)}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{БК}}$  и  $\lambda_{\text{КП}}$  – коэффициент гидравлического трения в бурильной колонне и кольцевом пространстве соответственно;  $\rho_{\text{Р}}$  и  $\rho_{\text{С}}$  – плотности очищенного бурового раствора и смеси бурового раствора со шламом, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина установки струйного аппарата, м;  $Q_{\text{БН}}$  – подача буровых насосов, м<sup>3</sup>/с;  $d$  и  $d_{\text{В}}$  – соответственно внутренний и внешний диаметр бурильной трубы, м;  $D$  – диаметр скважины (внутренний диаметр обсадной колонны), м;  $\Delta p_{\text{Р}}$  – потери давления в рабочей насадке струйного насоса, Па.

Потери давления в рабочей насадке струйного насоса  $\Delta p_{\text{Р}}$  зависят от совершенства изготовления и регулировки струйного насоса [4].

Потери давления на гидромониторных насадках долота  $\Delta p_{\text{Д}}$  зависят от конструкции долота.

Значение давления в приемной камере струйного насоса 5 (см. рис. 2) определяется по формуле

$$p_1 = p_{\text{пл}} - \Delta p - \rho_{\text{С}}gH, \quad (5)$$

где  $p_{\text{пл}}$  – пластовое давление, Па;  $\Delta p$  – необходимая депрессия на пласт, Па.

Используя известные зависимости [7], получим формулу для определения необходимого давления на выходе буровых насосов  $P_{\text{БН}}$  для создания необходимого

уровня депрессии  $\Delta p$  при первичном вскрытии пласта:

$$P_{\text{БН}} = \frac{P_{\text{КП}} - \Delta p_{\text{КП}} - \Delta p_{\text{Д}}}{\bar{h}} - p_{\text{БК}} + \Delta p_{\text{БК}} + \Delta p_{\text{Р}} - \left[ \frac{p_1 (1 - \bar{h})}{\bar{h}} \right], \quad (6)$$

где  $\bar{h}$  – относительный напор струйного насоса (аппарата).

Методика определения характеристики струйного насоса описана в работе Е.Я. Соколова и Н.М. Зингера [6]. В случае использования параллельного соединения струйных насосов (см. рис. 2) используется зависимость [8]

$$\bar{h} = \left( 1 + z \frac{n \cdot d_{\text{Н}}^2}{d_{\text{РН}}^2} \cdot (1 + i)^2 \right)^{-1}, \quad (7)$$

где  $z$  – число параллельно соединенных струйных насосов;  $n$  – число гидромониторных насадок долота;  $d_{\text{Н}}$  – диаметр насадок гидромониторного долота, мм;  $d_{\text{РН}}$  – диаметр рабочей насадки струйного насоса, мм;  $i$  – коэффициент инжекции струйного насоса.

Пара значений  $\bar{h}$  и  $i$  определяется графоаналитическим методом [3].

Научная новизна работы заключается в следующем: изменен характер распределения потоков в гидравлической системе скважинного струйного насоса. В дальнейшем это позволит усовершенствовать:

- структуру уравнения напорной характеристики струйного насоса;
- схему гидравлических связей элементов эжекционной системы для бурения скважин.

Ценность работы заключается в разработке общих принципов создания математических моделей работы эжекционной системы на отдельных этапах сооружения нефтегазовых скважин.

Использование параллельного соединения струйных насосов при бурении скважин для интенсификации процесса бурения по сравнению с аналогами уменьшает гидравлические потери на рабочей



насадке струйного насоса при тех же значениях коэффициента инжекции. На основе этого предложена конструкция устройства для бурения скважин, которая позволит минимизировать гидравлические потери на рабочей насадке струйного насоса и уменьшит нагрузку на буровые насосы. Результатом внедрения данной схемы является более интенсивная инжекция промывочной жидкости с затрубного пространства при меньших гидравлических потерях на рабочей насадке и более интенсивное промывание забоя скважины. Также очевидно, что использование струйных насосов в процессе первичного вскрытия пласта дает не только возможность создавать полезный эффект депрессии на пласт, но и позволяет

регулировать значение депрессии посредством изменения режима работы буровых насосов.

Негативные эффекты от использования струйных насосов в процессе бурения можно свести до минимума с помощью метода разделения гидравлических потоков.

Главной задачей в исследованиях струйных насосов остается разработка методов повышения эффективности их эксплуатации в промышленности, в частности в бурении нефтяных и газовых скважин. Это связано с тем, что КПД струйного насоса не превышает значения в 42%.

*Статья поступила 11.11.2015 г.*

#### **Библиографический список**

1. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве. М.: Стройиздат, 1970. 416 с.
2. Кирилловский Ю.Л., Подвидз Л.Г. Рабочий процесс и основы расчета струйных насосов // Тр. / ВИГМ. М., 1960. Вып. 26. С. 96–135.
3. Мельников А.П., Паневник А.В. Повышение эффективности использования струйных насосов в бурении // Нефтяное хозяйство. 2012. № 1065. С. 41–43.
4. Мельников А.П., Паневник А.В. Эксплуатация струйных насосов на буровых предприятиях нефтегазовой отрасли // Нефтяное хозяйство. 2014. № 4. С. 46–47.
5. Сазонов Ю.А. Разработка устройства, снижающего дифференциальное давление на забое скважины и повышающего скорость бурения: дис. ... канд. техн. наук: 130602. Москва, 1989. 176 с.
6. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергия, 1970. 288 с.
7. Султанов Б.З. Управление устойчивостью и динамикой бурильной колонны. М.: Недра, 1991. 208 с.
8. Теория и практика заканчивания скважин: в 5 т. / А.И. Булатов [и др.]: под ред. А.И. Булатова. М.: Недра, 1998. С. 152–160.
9. Яремийчук Р.С. Создание депрессий на пласт с помощью струйных // Нефтяное хозяйство. 1981. № 11. С. 12–14.

УДК 621.01:534

## **ВЛИЯНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИВОДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ В ТРЕХМАССОВОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЕ**

© А.Ю. Перельгина<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Дается описание расчетной схемы и уравнений движения трехмассовой мехатронной системы по одной степени подвижности. Исследована эффективность системы активного гашения колебаний с учетом места расположения компенсирующего привода. Также приведены результаты численного моделирования колебательных процессов рассматриваемой системы в переходных режимах работы. Произведен анализ рационального применения привода, установленного на подвижном основании, для компенсации упругих колебаний трехмассовой мехатронной системы.

*Ключевые слова:* трехмассовая система; упругие колебания; активный способ гашения колебаний; численное моделирование.

<sup>1</sup>Перельгина Александра Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и строительной механики, тел.: 89500510911, e-mail: alexlomova@mail.ru  
Perelygina Aleksandra, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Strength of Materials and Structural Mechanics, tel.: 89500510911, e-mail: alexlomova@mail.ru