

4. Пат. 88726 Україна, МПК E21B 43/08. Гравійний фільтр / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Пашенко, О.Ф. Камишацький, В.І. Тітов, О.А. Лексиков, В.П. Донцов.; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – № а200803913; заявл. 28.03.08; друк. 10.11.09, Бюл. № 21.
5. Пат. 88569 Україна, МКИ E21 B43/08. Гравійний фільтр/ А.О.Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Пашенко, О.Ф. Камишацький, В.І. Тітов, О.А. Лексиков, В.П. Донцов.; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – № а200803922; заявл. 28.03.08; друк. 26.10.09, Бюл. № 20.

Поступила 09.06.15

УДК 622.24

А. А. Игнатов

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепрпетровск, Украина*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

Рассмотрены вопросы движения промывочной жидкости сквозь систему лопастей устройства для очистки каверн. Показано распределение скоростей обусловленных работой исполнительного органа проектируемого механизма. Аналитически обоснованы условия применения разработанного устройства для обработки кавернозной зоны.

Ключевые слова: скважина, устройство для обработки, шарнирный механизм, промывочная жидкость, скорость, лопасть, энергия.

Введение

Основными задачами теории работы лопастного устройства по очистке каверн являются исследования процесса энергообмена и сил взаимодействия между исполнительным механизмом и объемом жидкости. Обе эти группы вопросов относятся к задачам гидромеханики. При прохождении очистного агента сквозь рабочий орган устройства происходит преобразование потенциальной энергии жидкости в кинетическую (скоростной напор покидающих лопасти струй). Полнота этого преобразования – иными словами коэффициент полезного действия устройства – определяет как энергетическую, так и качественную стороны рассматриваемых явлений. Функция активных струй жидкости, формирующихся лопастным органом, заключается в разрушении (размыве) глинисто-шламовых паст находящихся в кавернах [1].

При изучении явлений происходящих в результате работы лопастного устройства необходимо, прежде всего, выделить главное, от чего зависит характер процесса, и отбросить те обстоятельства, которые не имеют существенного значения. Такое некоторое упрощение подходов совершенно необходимо, без него исследование многих даже простейших реальных явлений привело бы к возникновению чрезвычайно сложных, неразрешимых задач. Подтверждением правильности сказанного является, к примеру, использование в гидравлике так называемых моделей жидкости, что позволяет привлекать к решению различных задач математический аппарат. Поэтому, в зависимости от характера исследований реального объекта, необходимо отдавать предпочтение тем или иным его физическим свойствам.

В общем случае задачи гидромеханики лопастного устройства могут быть представлены двумя направлениями. В состав первого входит поиск результирующего эффекта при условии, что явления, происходящие внутри рассматриваемой области, могут быть известны лишь приближенно. Внутренние связи исключаются из рассмотрения на основе принципа равенства действия противодействию. Сюда можно отнести задачи, решаемые, в том числе, с помощью теоремы о количестве движения. Второе направление объединяет исследования явлений внутри объема жидкости, а именно распределение давлений и скоростей с помощью энергетических уравнений. Как правило, такие задачи в меньшей степени доступны теоретическому анализу и их строгое решение возможно в ограниченном числе случаев [2].

Цель настоящей работы – изучить основные закономерности движения промывочной жидкости в интервале лопастной системы устройства для очистки каверн.

Методика исследования

Исходя из назначения устройства по очистке каверн, в общем случае как трансформатора энергии, формулируются и определенные конструктивно-технологические требования к его исполнению. Задача проектирования устройства состоит в том, чтобы исходя из теоретических основ действия механизма получить достаточный материал для ведения практического расчета лопастного элемента. При этом такое аналитическое исследование должно давать четкие представления о геометрии лопастного органа, а также его гидравлических, динамических и прочностных характеристиках.

Принцип работы устройства по очистке каверн – это силовое взаимодействие лопасти с обтекающим ее потоком. Сила воздействия лопасти на объем жидкости создает вынужденное движение потока, с сообщением ему определенных скорости и давления, иными словами механической энергии. Бесспорно то, что приращение энергии промывочной жидкости в лопастном механизме будет зависеть от сочетания скорости протекания потока, частоты вращения устройства, размеров и формы исполнительного органа.

Расчет тех или иных машин, использующих в качестве рабочего органа лопасти, в основном базируется на выводах аэрогидродинамики, исследующей взаимодействие крылового профиля с потоком газа и определяющей, главным образом, направление развития авиационного машиностроения. Некоторые положения теории крыла могут быть вполне распространены и на пояснение работы лопастного элемента. Однако следует тут заметить, что характер движения лопастного элемента в каждом из его использующих устройств очень разнообразен и сложен, а также сопровождается различными явлениями, для объяснения которых до сих пор не существует вполне удовлетворительной теории [3].

Последовательное применение теоремы о количестве движения и закона сохранения энергии приводит к следующей формулировке процесса взаимодействия лопастного органа с объемом промывочной жидкости. Система, состоящая из двух лопастей, каждая из которых закреплена одним концом в соответствующем пазе, а другим – имеющим радиальное перемещение – соединена с шарнирным механизмом, при раскрытии последнего в каверне и вращении бурильной колонны, описывает вокруг оси скважины окружность. В связи с тем, что бурильная колонна имеет достаточно большое число оборотов, то система лопастей, по сути, обращается в сплошной диск. Это предположение вполне оправдано, если соответствующим образом подобрать число оборотов устройства и геометрические параметры лопастей. Такие условия не в полной мере будут выполняться только для участков лопастей вблизи корпуса устройства и их оконечностей. Вместе с тем совершенно очевидно, что зона примыкания лопастей к корпусу находится в контурах ствола скважины, где их возмущающее действие на объем жидкости вовсе не обязательно. Для противоположных концов лопастей, проходя которые жидкость может получить отклонение от требуемого направления, необходимо заметить следующее: участок такого течения невелик и не может оказать существенного воздействия на характер работы всей системы.

Для того чтобы получить вполне однозначные гидравлические характеристики проектируемого устройства при заданной его частоте вращения и скорости осевого перемещения, необходимо установить какие параметры будет иметь жидкость в различных сечениях проточной части лопастного органа. Эту задачу невозможно решить без применения уравнения Бернулли, которое устанавливает связь между энергией отданной потоку, кинетической энергией его и давлением.

Центр массы потока жидкости протекающей сквозь систему лопастей устройства движется в осевом направлении. В целом в таком механизме исключена возможность работы центробежных сил и как результат этого – радиальное перемещение потока.

Схематично в устройстве для очистки каверн можно выделить три зоны (рис. 1): подвод промывочной жидкости (I), система лопастей (II) и участок вызванных течений (III). Для использования уравнения Бернулли необходимо принять движение жидкости сквозь устройство установившимся, что при надлежащем геометрическом проектировании лопастного органа вполне допустимо [4], причем указанное обстоятельство характерно для режимов, значительно отличающихся от расчетных. В таком потоке жидкости различают:

1) внутреннее давление, вызванное силами упругости жидкости, т.е. давление одной частицы на другую, называемое статическим p ;

2) давление, необходимое для сообщения покоящейся частице некоторой скорости c , называемое динамическим давлением потока жидкости плотностью ρ

$$H_a = \frac{\rho \tilde{n}^2}{2}; \quad (1)$$

3) полное давление потока H_m в некоторой точке m , равно алгебраической сумме статического и динамического давлений в этой точке

$$H_m = p_m + \frac{\rho \tilde{n}_m^2}{2}. \quad (2)$$

Для доступности теоретического изучения в области лопастной системы из рассмотрения были исключены радиальные перемещения струек. При этом условии частица жидкости, находящаяся на расстоянии r от оси в начальный момент, во все время движения должна оставаться на цилиндрической поверхности данного радиуса. Следовательно, поверхности тока будут иметь цилиндрическую форму (рис. 1).

Выражение (2) является видоизмененной формой записи уравнения Бернулли и используется для решения многих задач прикладной гидромеханики. Строго говоря, уравнение Бернулли относится к движению идеальной жидкости вдоль линии тока, а также к элементарной струйке жидкости, но вместе с тем его распространяют на конечные объемы жидкости и, в частности, на движение жидкости в трубах, что несколько идентично скважинным условиям. Такая возможность достигается благодаря энергетическому смыслу, которым обладает уравнение Бернулли [5].

На рис. 1 показаны два контрольных сечения в интервале устройства: 1 – 1 и 2 – 2, расположенные перед системой лопастей и за ней соответственно; кроме того, на схеме также выделена элементарная кольцевая струйка толщиной dr , расположенная на радиусах r_1 и r_2 . Толщина цилиндрической струйки тока dr выбрана столь малой, что в ее пределах скорость, давление и плотность можно считать неизменными.

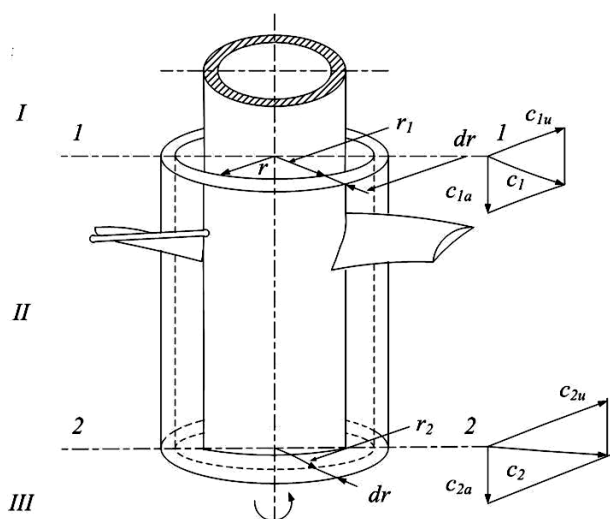


Рис. 1. Схема цилиндрической струйки тока в интервале устройства для очистки каверн

Проходя через систему лопастей жидкость совершает сложное движение, которым определяется гидромеханические свойства устройства для очистки каверн. Материальными границами потока промывочной жидкости в интервале корпуса устройства являются наружные стенки последнего и ствол скважины. Стенки корпуса неподвижны и скорости потока относительно них, а при статическом положении устройства и стенок скважины, являются скоростями абсолютного движения. Система лопастей вращается, т.е. они подвижны и, проходя их жидкость, будет совершать относительное движение. Для характеристики потока промывочной жидкости в некоторой области достаточно установить величину и направление скорости в каждой точке рассматриваемого участка в зависимости от

времени, иными словами задать поле скоростей (рис. 2). При этом абсолютная скорость c в области лопастного органа может быть получена как сумма относительной w и переносной u , что в векторной форме имеет вид

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u}. \quad (3)$$

Переносным движением является вращение лопастного колеса с угловой скоростью ω относительно неподвижной оси. При расстоянии рассматриваемой частицы от оси устройства равном R , величина переносной скорости

$$u = \omega R = 2\pi R n, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения устройства, рад/с; n – частота вращения устройства, с⁻¹.

Этот подход позволяет использовать известный из механики метод построения планов скоростей.

Таким образом, подвижная система отсчета, связанная с лопастным элементом, вращается относительно оси с угловой скоростью ω . Расположив начало отсчета на оси вращения, получим для некоторой точки m , определяемой радиус-вектором \vec{r} , значение переносной скорости \vec{u} , как векторное произведение угловой скорости $\vec{\omega}$ на радиус-вектор \vec{r} (рис. 2)

$$\vec{u} = \vec{\omega} \times \vec{r}. \quad (5)$$

Направление скорости \vec{u} определяется нормалью к плоскости, образованной осью вращения ω и радиус-вектором \vec{r} . Откуда абсолютная скорость равна

$$\vec{c} = \vec{w} + (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (6)$$

Величина переносной скорости u также может быть определена из выражения

$$u = \omega r \sin \omega \wedge r. \quad (7)$$

Энергия dE , подводимая в абсолютном движении элементам dr (рис. 1) лопастей к элементарному объему промывочной жидкости dV , равна сумме секундной работы сил давления $dE_{\text{дав}}$, приращения кинетической энергии $dE_{\text{кин}}$ секундной массы dm и потерь энергии $dE_{\text{тр}}$, связанных с вязкостью очистного агента

$$dE = dE_{\text{дав}} + dE_{\text{кин}} + dE_{\text{тр}}. \quad (8)$$

Обозначив площадь сечения струйки через $dF = 2\pi r dr$ с соответствующим местоположением индексом контрольного сечения, получим следующие величины.

Секундная масса промывочной жидкости, проходящая через контрольное сечение 1 – 1, будет

$$dm_1 = \rho_1 dV_1 = \rho_1 2\pi r_1 dr_1 c_{1a} = \rho_1 c_{1a} dF_1. \quad (9)$$

Для сечения 2 – 2 она будет

$$dm_2 = \rho_2 dV_2 = \rho_2 2\pi r_2 dr_2 c_{2a} = \rho_2 c_{2a} dF_2, \quad (10)$$

где c_{1a} и c_{2a} – составляющие абсолютной скорости c , нормальные соответствующим площадям сечения dF_1 и dF_2 .

В связи с обозначенными ранее ограничениями рассматривается только установившееся движение жидкости при неизменности линии тока. Струйка тока образована поверхностями тока, проходящими через контуры, обозначенные согласно схеме (рис. 1) окружностями следующих радиусов r_1 и $r_1 + dr$ и r_2 и $r_2 + dr$.

Согласно определению струйки тока [5], поток может входить или выходить из выделенного участка ее только через торцевые сечения dF_1 и dF_2 . Следовательно уравнение неразрывности $dm_1 = dm_2 = dm$, в соответствии с которым секундная масса остается неизменной для любого сечения струйки, можно записать в форме:

$$\rho_1 c_{1a} dF_1 = \rho_2 c_{2a} dF_2 = \rho c_a dF. \quad (11)$$

Учитывая что жидкость практически несжимаема – это и было положено в основу аналитического рассмотрения принципа работы устройства, можно считать $\rho_1 = \rho_2$. При этом выражение (11) принимает вид

$$c_{1a} dF_1 = c_{2a} dF_2 = c_a dF \quad (12)$$

или

$$dV_1 = dV_2 = dV. \quad (13)$$

Секундная работа сил давления в сечении 1 – 1

$$dE_{\text{дав}} = p_1 2\pi r_1 dr_1 c_{1a} \quad (14)$$

Кинетическая энергия элементарной секундной массы dm_1

$$dE_{1\text{кин}} = \frac{dm_1 c_1^2}{2}. \quad (15)$$

По той же схеме запишем секундную работу сил давления для сечения 2 – 2

$$dE_{\text{дав}} = p_1 2\pi r_1 dr_1 c_{1a}, \quad (16)$$

а кинетическая энергия элементарной секундной массы dm_2

$$dE_{2\text{кин}} = \frac{dm_2 c_2^2}{2}. \quad (17)$$

Согласно записанному

$$dE_{\text{дав}} = (dE_2 - dE_1)_{\text{дав}} = p_2 dV_2 - p_1 dV_1; \quad (18)$$

$$dE_{\text{кин}} = (dE_2 - dE_1)_{\text{кин}} = \frac{dm_2 c_2^2}{2} - \frac{dm_1 c_1^2}{2}. \quad (19)$$

Из уравнения (19) четко видно, что необходимым условием получения приемлемых гидромеханических характеристик в устройстве для очистки каверн, является установление вполне определенного режима обтекания лопастей, который влияет на величину и направление вызванных скоростей. Это выражается в следующем: абсолютная скорость на выходе из лопастной системы должна быть больше ее значения на входе. Для элементарной кольцевой струйки тока такое увеличение может осуществляться за счет использования определенного профиля, характеризующегося изменением угла входа потока в лопасть и выхода из нее.

Выводы

1. Обоснована возможность применения уравнения Бернулли к исследованию гидромеханических характеристик потока, проходящего сквозь лопастную систему устройства для очистки каверн.
2. Показано распределения поля скоростей потока в абсолютном и относительном движениях промывочной жидкости.
3. Аналитически доказана необходимость гидромеханического подхода к решению задач проектирования геометрии лопастей устройства.

The subject of the article are questions of motion of bore mud through the system of impeller blades of device for cleaning of cavities. Distribution of speeds is shown during work of executive branch of the designed mechanism. The terms of application of the worked out device are analytically reasonable for treatment of cavity area.

Key words: bore hole, device for treatment, linkwork, bore mud, speed, impeller blade, energy.

Розглянуто питання руху промивальної рідини крізь систему лопатей пристрою для очищення каверн. Показано розподіл швидкостей обумовлених роботою виконавчого органу проектного механізму. Аналітично обґрунтовано умови застосування розробленого пристрою для обробки кавернозної зони.

Ключові слова: свердловина, пристрій для обробки, шарнірний механізм, промивальна рідина, швидкість, лопать, енергія.

Литература

1. Давиденко А. Н., Игнатов А. А., Яцык В. В. Усовершенствование устройства для обработки скважины // Научный вестник НГУ. – 2008. – № 4. – С. 36–37.
2. Федяевский К.К. Гидромеханика / К. К. Федяевский, Я. И. Войткунский, Ю. И. Фадеев – Л. : Судостроение, 1968. – 568 с.
3. Насосы, вентиляторы, компрессоры / А.Н. Шерстюк. – М.: Высшая школа, 1972. – 338 с.
4. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 639 с.
5. Гидромеханика / М.Я. Алферьев – М. : Речной транспорт, 1961. – 327 с.

Поступила 18.05.15

УДК 622.24

А. Н. Давиденко, д-р техн. наук, **А. А. Игнатов**, **П. П. Полищук**

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск, Украина*

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ГИДРОТРАНСПОРТА КЕРНА ПОТОКОМ ВЯЗКО- ПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Представлен анализ теории и практики бурения с гидротранспортом керна. Показаны направления совершенствования технологии бурения и поставлены задачи, решение которых позволит более эффективно применять указанную технологию. Изучены вопросы взаимодействия глинистых пород с различными очистными агентами.

Ключевые слова: двойная колонна бурильных труб, глинистые породы, очистной агент, поверхностно-активное вещество, керн, адсорбция.