

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ПО ОЧИСТКЕ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

А. Давиденко^{1*}, Б. Ратов², А. Игнатов¹

¹Кафедра техники разведки месторождений полезных ископаемых, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

²Кафедра технологии и техники бурения скважин, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан

*Ответственный автор: e-mail aleks_dan1610@rambler.ru, тел. +380562466346, факс: +380562466346

DETERMINATION OF BASIC CALCULATION AND EXPERIMENTAL PARAMETERS OF DEVICE FOR BORE HOLE CLEANING

O. Davydenko^{1*}, B. Ratov², A. Ighnatov¹

¹Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Technology and Technique of Drilling Wells Department, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: e-mail aleks_dan1610@rambler.ru, tel. +380562466346, fax: +380562466346

ABSTRACT

Purpose. To substantiate the design and operating technological parameters of the device for the interval bore hole cleaning departing from the set dependences of active jets formation in the flow through the blade element.

Methods. Application of bench and analytical research techniques allowed to establish the fundamental principles of active jets formation in the flow through the blade element of the designed device and the nature of their impact on the processed objects.

Findings. Bench testing of the device for the interval bore hole cleaning resulted in defining aspects of the mechanism of active fluid jets formation. We studied the distribution of speed components in the workflow. The use of tilted surface for the formation of the blade profile has been justified. As a result of studying the physical model of the device working body, we received data regarding its structural design. Information about the peculiar hydrodynamics of the flow around the blade node with respect to the process of removing clay-mud agglomerates has been provided. The indicators of the effectiveness of the designed device were designated.

Originality. The steady flow through the blade element and consequently the removal of clay-mud agglomerates is provided by well-defined structural design characteristics which determine hydrodynamic aspects of the unit operation.

Practical implications. The results of laboratory and analytical studies are the base for designing the operating parameters of the process of preparing a bore hole for casing running and subsequent plugging of the bore hole with a guaranteed provision of high technical and economic indicators. Data for the study of the flow mode through the blade element are the basis for the hydrodynamic calculation of the device for the interval cleaning.

Keywords: bore hole, vugg, clay-mud agglomerates, device for cleaning, drilling fluid, active jet, flow rate

1. ВВЕДЕНИЕ

Надежность эксплуатации скважины, как канала, предназначенного для разведки или отработки пластов полезных ископаемых, почти целиком определяется качеством выполнения работ по креплению и тампонированию ее ствола. Особенно существенным этапом в цикле обозначенных операций, без преувеличения, являются мероприятия, связанные с обработкой ствола скважины и конкретно его кавернозных интервалов (в более общем случае местных

уширений) – объектов интенсивного шламакопления со всеми вытекающими из этого последствиями (Budnikov, Bulatov, & Makarenko, 1996). Отмеченное в равной мере относится к нефтегазовым, гидрогеологическим и геотехнологическим скважинам, чему нередко не уделяется должного внимания. В полном соответствии со сказанным, поиск путей совершенствования схемы подготовительных работ: весьма актуальное и перспективное направление (Ashok, Ambrus, Van Oort, Zenero, & Behounek, 2015). Этому обстоятельству и была подчинена идея создания ряда

устройств поинтервальной очистки, использующих энергию активных струй, формирование которых осуществляется посредством реализации тех или иных гидродинамических явлений в жидкости. Детальные стендовые исследования таких механизмов подтвердили правильность и обоснованность заложенных в них конструктивных схем исполнения (Davydenko, Ratov, Ighnatov, & Tulepbergenov, 2016). В то же время, был обнаружен и достаточно сложный характер их работы, связанный с особенностями, как скважинных условий функционирования, так и процессов протекания жидкости сквозь исполнительный орган устройств, а в данном случае – лопастной.

Задачи, стоящие перед рассматриваемыми устройствами, накладывают свой ощутимый отпечаток на всю структурную схему их расчета и технологических основ работы, что было установлено в результате комплексного изучения всего цикла: от моделирования шламакопления в кавернозных интервалах до удаления отложений.

Несмотря на распространенность лопастных машин во многих отраслях техники (Bansal, 2005) и существование удовлетворительных методик проектирования последних, проведенные исследования обнаружили целый спектр бесспорно важных частных вопросов, не имеющих своего отражения в теоретических работах в рамках указанной тематики и неукоснительно требующих своего разрешения. Только на основе рассмотрения ключевых принципов действия устройства поинтервальной очистки скважины и разработки подробной его технологической характеристики возможно кардинальное повышение показателей буровых работ.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проблематика, связанная с движением жидкости, встречается во многих сферах науки и техники (Hussian, Abdullah, & Alimuddin, 2009), причем классифицировать круг возникающих задач можно по типу формирующихся течений, а именно по наличию или отсутствию свободной поверхности, а также замкнутости или безграничности пространства (Hydraulics, 1992). Все перечисленные обстоятельства являются взаимозависимыми и вносящими коррективы в гидравлику течений.

Рассматривая особенности кинематики лопастного узла устройства поинтервальной очистки, можно увидеть, что его конструктивное оформление придает ему возможность обладать сложным движением – вращательным и поступательным.

При вращении устройства, под действием сил давления рабочего органа на жидкость, создается ее вынужденное перемещение. Максимальная степень эффективности применения устройства поинтервальной очистки проявится только в случае приобретения активным потоком жидкости заданных гидравлических характеристик, являющихся производной числа оборотов лопастного органа с соответствующими видоизменениями, обусловленными геометрией исполнительного механизма и канала течения.

Течения жидкости, вызванные рабочим органом устройства поинтервальной очистки, могут быть

классифицированы по направлениям линий тока, визуализировать которые удалось введением в поток малоинерционных твердых частиц, при этом можно различить три их главных типа: осевое (аксиальное), радиальное, тангенциальное. На Рисунке 1 представлено схематичное распределение скоростей при вращении лопастного механизма исследуемого устройства, безотносительно к его форме, где стрелками показаны наиболее характерные траектории перемещения струй активного потока и его пространственная структура.

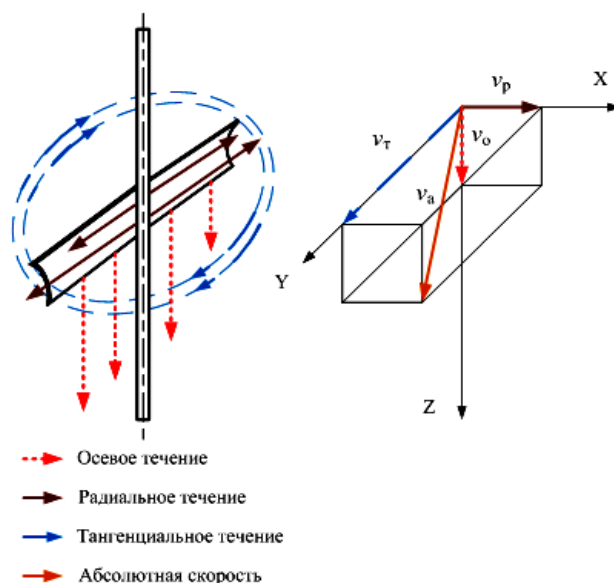


Рисунок 1. Схема разложения абсолютной скорости на составляющие при работе устройства

Совершенно очевидно, что форма лопасти напрямую будет влиять на механизм формирования активного потока и соотношение в нем составляющих абсолютной скорости. Проведенными ранее стендовыми исследованиями (Ighnatov, 2016) была убедительно доказана ведущая роль в процессе разрушения шламовых скоплений именно осевой составляющей активного потока, вместе с тем, наличие прочих течений в некоторой степени также способствует интенсификации удаления содержимого каверн. Согласно принятой конструктивной схеме изготовления лопасти, в основу ее образования положена винтовая поверхность, в связи с чем программой опытов было предусмотрено экспериментальное обоснование целесообразности такого решения.

В соответствии со сказанным, стендовые исследования были направлены на изучение влияния технологического решения в конструкции лопасти в аспекте формирования рабочего потока с детализацией составляющих его абсолютной скорости. Следует отметить, что в ходе проведения опытов был установлен довольно сложный механизм взаимодействия лопастного узла с промывочной жидкостью, проявляющейся не только в строго индивидуальном гидродинамическом характере каждой формы рабочего органа, наличии всей группы составляющих потока, но и зависимости от целого ряда скважинных факторов. Полученные в результате обработки экспери-

ментальных материалов опытные данные, представлены в Таблице 1; в ней указан процентный вклад каждой из скоростей, формируемых конкретным исследуемым лопастным элементом в интегральный показатель – абсолютную скорость потока. При этом

под коэффициентом перекрытия K_n подразумевается отношение расстояния от оси вращения устройства до контрольной точки к общей длине лопасти.

Таблица 1. Структура потока при различных формах рабочего органа устройства поинтервальной очистки

Тип лопастей	Составляющие абсолютной скорости, %											
	осевая				радиальная				тангенциальная			
	v_o				v_p				v_m			
	Коэффициент перекрытия											
K_n												
	0.25	0.50	0.75	1.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Пластинчатая	6	4	3	1	11	9	5	3	83	87	92	96
Постоянного шага	26	23	20	18	72	65	36	30	2	12	44	52
Профилированная	43	42	39	32	53	52	51	49	4	6	10	19
Винтовая	75	74	68	57	23	22	28	31	2	2	4	12

Анализ приведенных в Таблице 1 данных, убедительно подтверждает вывод о кардинальном влиянии формы лопасти на структуру активных струй. В случае пластинчатых лопастей поток характеризуется, в целом, лишь тангенциальной составляющей и ничтожно малыми значениями прочих; отсюда следует, что такая форма лопастей практически непригодна для проектируемого устройства. Претерпевает значительного изменения картина обтекания при использовании других форм; они отличаются высокими показателями значений радиальной и осевой составляющих скорости потока, причем в отношении формирования последней винтовые наиболее эффективны. Обозначенное, в отдельных случаях, трансформируется при изменении частоты вращения устройства; для лопастей постоянного шага и профилированных при количестве оборотов в минуту равном 150 и более возрастают тангенциальные, и, в особенности, радиальные составляющие при одновременном значительном снижении осевых, а дальнейший рост частоты вращения приводит к их однообразию в отношении гидродинамики обтекания. Сравнительно мало подвержены влиянию частоты вращения на циркуляционные процессы винтовые лопасти; в широком диапазоне величин оборотов они отличаются достаточно устойчивым режимом обтекания. Хотя профилированные лопасти и несколько проще в изготовлении по сравнению с винтовыми и по гидродинамическим характеристикам приближаются к ним, но все же их применение требует соблюдения определенных режимных параметров работы устройства и скважинных условий, что не всегда возможно обеспечить. Кроме того, следует отметить, что параметры потока изменяются в зависимости от положения по высоте относительно плоскости вращения лопастного органа измерительных приборов – это свидетельствует о наличии взаимного влияния контролируемых составляющих. Таким образом, обоснованность применения винтовой поверхности для образования контура лопасти можно считать экспериментально подтвержденной.

Анализируя форму контура винтовой лопасти, можно убедиться, что радиальной и тангенциальной составляющей абсолютной скорости потока ее гид-

родинамические особенности можно характеризовать лишь косвенно. Эти параметры для указанной формы лопасти будут влиять на значения скоростей потока, рассматриваемого в сложном движении относительно рабочего элемента и корпуса устройства, и измерение величин которых прямыми методами вызывает значительные затруднения (Deych & Zaryankin, 1984). На Рисунке 2 представлена подвижная система координат, связанная с лопастным элементом и вращающаяся относительно оси с угловой скоростью ω .

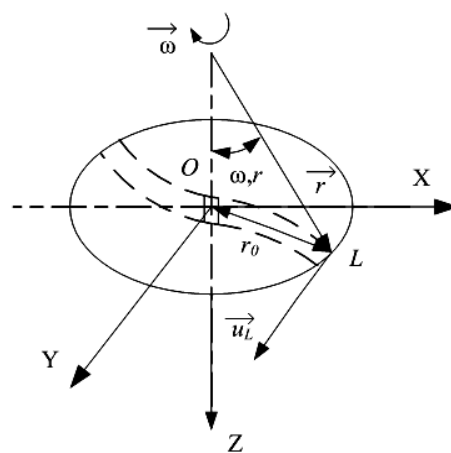


Рисунок 2. Схема движения лопастного элемента устройства во вращающейся системе координат

Для произвольной точки L , положение которой задается радиус-вектором \vec{r} , значение переносной скорости \vec{u} , найдется как векторное произведение угловой скорости $\vec{\omega}$ и радиус-вектора \vec{r} (Рис. 2)

$$\vec{u} = \vec{\omega} \times \vec{r} . \tag{1}$$

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

$$\vec{c} = \vec{w} + (\vec{\omega} \times \vec{r}), \tag{2}$$

где:

\vec{w} – относительная скорость потока жидкости.

Уравнение движения жидкости в абсолютной системе координат для любой произвольной точки примет вид (Shterenlikht, 2008):

$$\rho \frac{d\vec{c}}{dt} = \rho \vec{E} + \vec{\nabla} p + \mu \nabla^2 \vec{c}, \quad (3)$$

где:

p – давление, Па;

\vec{E} – напряженность массовых сил;

$\vec{\nabla}$ – оператор Гамильтона;

μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

Применяя векторное соотношение, будем иметь:

$$\nabla^2 \vec{c} = -\text{rot rot } \vec{c}, \quad (4)$$

согласно чему, получим следующую форму уравнения (3):

$$\frac{d\vec{c}}{dt} = \vec{E} - \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p - \nu \text{rot rot } \vec{c}, \quad (5)$$

где:

ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

Однако при работе устройства будет присутствовать также его перемещение вдоль оси скважины \vec{w}_o , для учета этого необходимо преобразовать (5), выразив все величины в системе координат, связанной с лопастным органом. Обозначим через \vec{w}_L относительную скорость жидкости в точке $L(\vec{r})$, а \vec{u}_L переносную скорость в той же точке, тогда:

$$\vec{u}_L = \vec{w}_o + (\vec{\omega} \times \vec{r}); \quad (6)$$

$$\vec{c} = \vec{w}_L + \vec{u}_L = \vec{w}_L + \vec{w}_o + (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (7)$$

После проведения соответствующих преобразований окончательно получим следующее уравнение движения, учитывающие реальные условия работы устройства в скважине:

$$\frac{d\vec{c}}{dt} = \vec{E} - \vec{\nabla} \left(\frac{p}{\rho} + \frac{u_L^2}{2} - \frac{\omega^2 r_0^2}{2} \right) - \nu \text{rot rot } \vec{c}, \quad (8)$$

где:

r_0 – расстояние от рассматриваемой точки до оси вращения устройства.

Пользуясь гипотезой Н.Е. Жуковского о стационарности движения (Falkovich, 2011) примем, что оно установившееся в системе координат, связанной с устройством. Тогда будем иметь: $\vec{w}_o = \text{const}$, $\vec{\omega} = \text{const}$, а массовые силы обладают потенциалом $\vec{E} = -\vec{\nabla} U$. При таких условиях уравнение (8) запишется в виде:

$$\frac{d\vec{c}}{dt} = -\vec{\nabla} \left(U + \frac{p}{\rho} + \frac{w^2}{2} - \frac{\omega^2 r_0^2}{2} \right) - \nu \text{rot rot } \vec{c}, \quad (9)$$

где:

U – потенциал поля напряжения массовых сил.

Предположение о стационарности применительно к рассматриваемому устройству будет трактоваться

следующим образом. Движение жидкости относительно лопастного элемента рассматривается во вращающейся системе координат, а значит при таких условиях оно установившееся. Кроме того, исследование характера изменения скорости активного потока v_o (Рис. 3) позволило установить, что ее величина является периодической функцией времени, зависящей от частоты вращения n и повторяющей свои значения после каждого полного цикла оборота лопастного элемента устройства t_u .

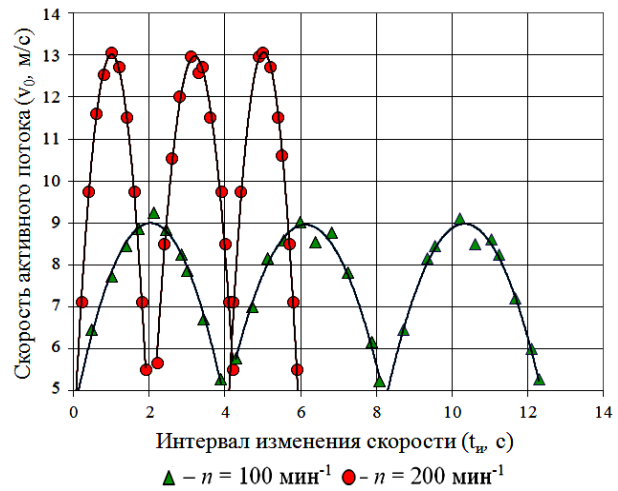


Рисунок 3. Циклический график изменения скорости активного потока в зависимости от частоты вращения устройства

Таким образом, уравнение (9) будет вполне справедливым в приложении к условиям работы механизма, но все величины, входящие в него должны быть не мгновенными, а средними. Следует подчеркнуть, что представленные на Рисунке 3 зависимости, являются результатом обработки экспериментальных данных по одной форме лопасти минимальной ширины; с ее увеличением пики кривых становятся более пологими и практически сливаются в прямую, параллельную оси абсцисс.

Для проверки адекватности полученных результатов были проведены исследования, конечной целью которых было сравнение аналитически и экспериментально полученных значений скорости активного потока (Рис. 4).

Данные Рисунка 4 дают основание говорить о хорошей корреляционной сходимости величин скоростей (Shmoylova, 2002). Изучение совокупности данных выявило следующее: расхождение 74% расчетных и опытных значений не превышает 12%.

В отношении изложенного материала нужно заметить, что приведенные экспериментально-аналитические зависимости позволяют рассматривать лопастной механизм как сплошной диск или отдельно действующие элементы, с соответствующими ограничительными условиями, бесспорно влияющими на конечный результат. Довольно интересные результаты обнаружили опытные работы, обращенные на изучение процесса формирования лопастным органом осевой составляющей активного потока.

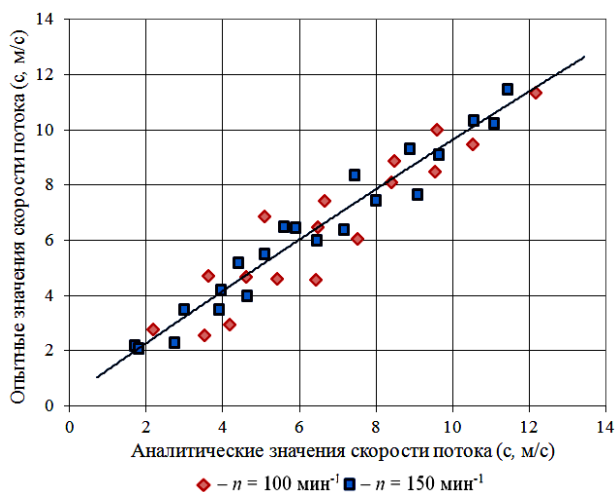


Рисунок 4. Корреляционный график сходимости значений скорости потока

В качестве вариационных параметров исследуемого рабочего элемента были частота вращения и угловые характеристики его профильного сечения, изменялись также структурно-механические свойства жидкости; сравнение полученных данных осуществлялось с аналитически рассчитанными. На Рисунке 5 показан один из характерных графиков.

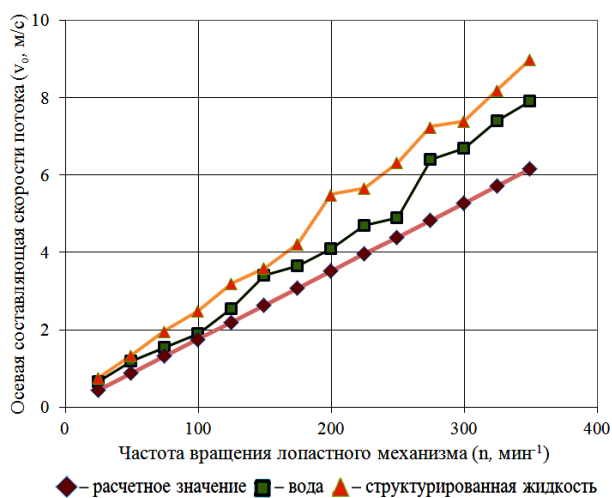


Рисунок 5. Значения осевой составляющей скорости активного потока

Исходя из анализа графических зависимостей, изображенных на Рисунке 5 можно сделать ряд важных выводов. Экспериментальные значения осевой составляющей скорости потока заметно превышают таковые, полученные аналитическим путем, причем эта тенденция справедлива для всего диапазона рациональных величин угловых характеристик лопастного элемента (Ighnatov, 2016). За их пределами картина течения активного потока резко изменяется, в особенности для ньютоновских жидкостей (Shterenlikht, 2008). Наличие определенных структурно-механических свойств положительно сказывается на процессе формирования струй, причем, в отдельных случаях, даже для тех форм лопастного органа, для которых при использовании воды устойчивый режим

течения не наблюдается. Значительный объем массива опытных данных и ограниченность возможности подробного их изложения не позволяют привести весь материал исследований, однако общая его направленность и тематичность обозначены.

Заслуживающими внимания будут и данные относительно продолжительности времени обработки кавернозных интервалов, которые представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Продолжительность цикла обработки кавернозных скоплений

Тип лопастей	Коэффициент кавернозности						
	K						
	2 – 3			3 – 4			
Частота вращения устройства, мин ⁻¹							
n							
		100	200	300	100	200	300
Винтовые		14	8	7	12	10	9
Профилированные		20	14	12	16	13	12

Из материалов, приведенных в Таблице 2, следует, что на продолжительность цикла обработки влияет не только частота вращения, но и конструктивное исполнение формы лопасти. Очевидно следующее: рост частоты вращения приводит к более яркому проявлению радиальной составляющей абсолютной скорости, которая в целом положительно сказывается на результатах обработки каверн. Последнее может быть объяснено более масштабным влиянием на местные уширения значительных поперечных размеров.

3. ВЫВОДЫ

Стеновыми и теоретическими исследованиями выявлены основные гидродинамические характеристики потока, определяющие направленность и результаты процесса обработки кавернозных зон. В результате моделирования работы лопастного органа устройства поинтервальной очистки обоснована винтовая форма профильного сечения рабочего органа. Детально изучен механизм формирования осевой составляющей скорости активного потока. Достоверность полученных данных доказана методами математической статистики. Итогом построения физической модели работы рассматриваемого устройства стало установление действительных форм течения жидкости сквозь лопастную систему и взаимодействия со шламовыми кавернозными скоплениями. Комплексные стендовые исследования являются обязательным этапом на пути создания эффективной технологии подготовки ствола скважины к креплению.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы считают необходимым выразить слова признательности всем сотрудникам кафедр техники разведки месторождений полезных ископаемых (Национальный горный университет, Днепропетровский, Украина) и технологии и техники бурения скважин (Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан), так или иначе принимавшим участие в проведении стендовых исследований.

REFERENCES

- Ashok, P., Ambrus, A., Van Oort, E., Zenero, N., & Behounek, M. (2015). Plug the Value Leak: Fix Your Drilling Data. *World Oil*, 236(10), 35-42.
- Bansal, R. (2005). *Fluid Mechanics and Hydraulic Machines*. New Delhi: Laxmi publications LTD.
- Budnikov, V., Bulatov, A., & Makarenko, P. (1996). *Problemy mekhaniki i zakanchivaniia skvazhin*. Moskva: Nedra.
- Davidenko, A., Ratov, B., Ighnatov, A., & Tulepbergenov, A. (2016). K voprosu o neobkhodimosti obrabotki kavernozykh zon skvazhin. *Vestnik KazNITU*, 114(2), 139-147.
- Deych, M., & Zaryankin, A. (1984). *Gidrogazodinamika*. Moskva: Energoatomizdat.
- Falkovich, G. (2011). *Fluid Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
<http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511794353>
- Hussain, Z., Abdullah, M., & Alimuddin, Z. (2009). *Basic Fluid Mechanics and Hydraulic Machines*. Malaysia: CRC Press.
- Hydraulics*. (1992). Moline, IL.
- Ighnatov, A. (2016). Technological Characteristics of the Device for Bore Hole Cleaning. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 85-90.
- Shmoylova, R. (2002). *Obschaya teoriya statistiki*. Moskva: Finansy i statistika.
- Shterenlikht, D. (2008). *Hidravlika*. Moskva: Energoatomizdat.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтування конструктивного виконання технологічних і режимних параметрів роботи пристрою поінтервального очищення стовбура свердловини виходячи із встановлених закономірностей формування активних струменів рідини при обтіканні лопатевого елемента.

Методика. Стендовими і аналітичними прийомами досліджень встановлені основні принципи формування активних струменів при обтіканні лопатевого елемента проектного пристрою і характер їх впливу на об'єкти обробки.

Результати. В результаті проведення стендових досліджень пристрою поінтервального очищення стовбура свердловини встановлені аспекти механізму формування активних струменів рідини. Вивчено розподіл швидкісних складових в робочому потоці. Обґрунтовано застосування гвинтової поверхні для утворення контуру лопаті. На основі розгляду фізичної моделі робочого органу пристрою отримані дані щодо його конструктивного оформлення. Наведено відомості про особливості гідродинаміки обтікання лопатевого вузла стосовно процесу видалення шламових скупчень. Визначені показники результативності застосування проектного пристрою.

Наукова новизна. Стійкому режиму обтікання лопатевого органу і як наслідок видалення шламових скупчень відповідають цілком певні конструктивні характеристики, що визначають гідродинамічну сторону функціонування пристрою.

Практична значимість. Отримані результати лабораторних та аналітичних досліджень є базовими для проектування режимних параметрів процесу підготовки свердловини до спуску обсадної колони і подальшого тампонування стовбура з гарантованим забезпеченням високих техніко-економічних показників. Дані по вивченню режиму обтікання лопатевого елемента являють собою основу гідродинамічного розрахунку пристрою поінтервального очищення.

Ключові слова: свердловина, каверна, шламові скупчення, пристрій для обробки, промивальна рідина, активний струмінь, швидкість потоку

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обоснование конструктивного исполнения и режимных технологических параметров работы устройства поинтервальной очистки ствола скважины, исходя из установленных закономерностей формирования активных струй жидкости при обтекании лопатного элемента.

Методика. Стендовыми и аналитическими приемами исследований установлены основополагающие принципы формирования активных струй при обтекании лопатного элемента проектируемого устройства и характер их воздействия на объекты обработки.

Результаты. В результате проведения стендовых исследований устройства поинтервальной очистки ствола скважины установлены аспекты механизма формирования активных струй жидкости. Изучено распределение скоростных составляющих в рабочем потоке. Обосновано применение винтовой поверхности для образования контура лопасти. На основе рассмотрения физической модели рабочего органа устройства получены данные относительно его конструктивного оформления. Приведены сведения об особенностях гидродинамики обтекания лопатного узла применительно процессу удаления шламовых скоплений. Обозначены показатели результативности применения проектируемого устройства.

Научная новизна. Устойчивому режиму обтекания лопатного органа и как следствие удаления шламовых скоплений соответствуют вполне определенные конструктивные характеристики, определяющие гидродинамическую сторону функционирования устройства.

Практическая значимость. Полученные результаты лабораторных и аналитических исследований являются базовыми для проектирования режимных параметров процесса подготовки скважины к спуску обсадной колонны и последующему тампонированию ствола с гарантированным обеспечением высоких технико-экономических показателей. Данные по изучению режима обтекания лопатного элемента представляют собой основу гидродинамического расчета устройства поинтервальной очистки.

Ключевые слова: скважина, каверна, шламовые скопления, устройство для обработки, промывочная жидкость, активная струя, скорость потока

ARTICLE INFO

Received: 23 June 2016

Accepted: 3 August 2016

Available online: 30 September 2016

ABOUT AUTHORS

Oleksandr Davydenko, Doctor of Technical Sciences, Head of the Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 9/409, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: aleks_dan1610@rambler.ru

Boranbai Ratov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Technology and Technique of Drilling Wells Department, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, 22 Satpayeva St, 050013, Almaty, Republic of Kazakhstan. E-mail: ratov69@mail.ru

Andrii Ighnatov, Senior Instructor of the Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 9/409, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: A_3000@i.ua