

УДК 622.016.222:62-9

К.В. Грядущий

Научно-исследовательский институт горной механики  
им. М.М.Федорова, г.Донецк, Украина,  
e-mail: naukoviya\_centra\_niigm@inbox.ru

## ВЛИЯНИЕ ПОДПОРА НА ВСАСЕ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ЗУМПФОВЫХ ВОДОСТРУЙНЫХ АППАРАТОВ НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ

К. V. Gryadushchiy

M.M. Fedorov Research Institute of Mining Mechanics, Do-  
netsk, Ukraine, e-mail: naukoviya\_centra\_niigm@inbox.ru

## INFLUENCE OF SUCTION HEAD OF HIGH-PRESSURE SUMP WATER JET APPARATUS ON THEIR CHARACTERISTICS AND PARAMETERS

**Цель.** Краткий анализ влияния величины и вида подпора на всасе высоконапорных зумпфовых водоструйных аппаратов и обоснование на этой основе их рациональных технологических схем и параметров.

**Методика.** Теоретический анализ выполнен на основе установленного размерного энергетического уравнения и безразмерных напорных характеристик аппаратов, учитывающих величину и вид (статического и скоростного) подпора на всасе. Фактические эксплуатационные параметры режимов работы и КПД одно- и двухступенчатых аппаратов установлены экспериментально в производственных условиях, с использованием стандартных методик исследований и известных рекомендаций.

**Результаты.** Представлено размерное энергетическое уравнение и полученные на его основе безразмерные напорные характеристики аппаратов. Дан краткий анализ результатов оценки влияния величины и вида подпора на всасе аппаратов на их характеристики и параметры. Установлено, что вариант статического подпора при разработке высоконапорных зумпфовых аппаратов экономически более выгоден по сравнению со случаем скоростного подпора. На этой основе разработана специальная двухступенчатая схема аппарата со статическим подпором на входе верхней, высоконапорной его ступени. В результате экспериментально-производственных исследований аппарата подтверждена возможность резкого повышения уровня эксплуатационной безопасности и эффективности зумпфовой водоотливки при откачке и очистке глубоких зумпфов.

**Научная новизна.** Впервые, на основе выполненной сравнительной оценки влияния величины и вида статического и скоростного подпора на всасе аппаратов на характеристики и параметры зумпфовых высоконапорных аппаратов, показано, что, в отличие от традиционных представлений и рекомендаций, экономически выгодным является использование варианта статического подпора.

Двухступенчатая схема аппарата с низконапорной предвключенной ступенью, создающей статический подпор на всасе основной высоконапорной ступени, обеспечивает повышение его КПД в 1,5÷2,5 раза по сравнению с традиционно применяемой одноступенчатой схемой.

**Практическая значимость.** Обеспечение работы высоконапорных зумпфовых аппаратов со статическим подпором на всасе является наиболее эффективным резервом совершенствования технологических схем зумпфовых высоконапорных насосно-гидроэлеваторных установок в целом.

**Ключевые слова:** зумпфовой водоотлив, водоструйный аппарат, технологические параметры, КПД, подпор, безразмерные характеристики

**Постановка проблемы.** Водоструйные аппараты являются весьма простым и надежным, пригодным для работы на зумпфовом водоотливе, гидротранспортным оборудованием. К их основным достоинствам можно отнести: возможность исключения постоянного присутствия обслуживающего персонала в зумпфах и обеспечение высокой производительности при удалении просыпи; сравнительно небольшие габаритные размеры и массу.

**Выделение нерешенной части.** Исследованию характеристик и параметров, установлению рациональных геометрических соотношений основных элементов

водоструйных аппаратов (с центральным соплом) общепромышленного назначения посвящено весьма значительное число работ, в том числе и за рубежом. Наибольшее признание и распространение на практике получили результаты исследований, методы расчета и выбора параметров одноступенчатых гидроэлеваторов, представленные в работах Подвидза Л.Г. и Кирилловского Ю.А., Соколова Е.А. и Зингера Н.М., Каменева П.Н. [1, 2]. Именно благодаря этим работам, которые рассматриваются как основополагающие, было, в основном, завершено создание современной теории и методов расчета параметров водоструйных аппаратов традиционной конструкции (с центральным соплом и цилиндрической камерой смешения), основанных, в част-

ности, на разработке их „сводных“ обобщенных „расходно-кавитационных“ характеристик.

К числу наиболее важных результатов исследований указанных работ можно отнести тот факт, что расчет водоструйных аппаратов можно полностью базировать на теоретически установленных уравнениях с использованием ограниченного числа экспериментальных параметров. Кроме того, существенным является и установление общего низкого уровня напорности аппаратов.

Низкие напорность и подача, а также КПД, аппаратов представляют собой серьезное препятствие для широкого использования их на зумпфовом водоотливе, особенно с учетом невозможности полного исключения аварийных ситуаций на рассматриваемом участке вследствие прорывов больших масс гидросмеси в глубокие зумпфы, и необходимости при этом весьма оперативной ликвидации их последствий.

Этим определяется настоятельная необходимость в проведении дальнейшего анализа с целью поиска путей, направленных на повышение напора, создаваемого аппаратами, при одновременном обеспечении приемлемого уровня их подачи и КПД.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросам повышения КПД установок с водоструйными аппаратами уделено достаточно большое внимание в работах целого ряда авторов. При этом, как показывают результаты исследований [3–5], в определенных технологических условиях использования аппаратов, при работе их с подпором, можно добиться заметного повышения как напора, так и КПД.

Решению проблемы создания эффективных высоконапорных водоструйных, в том числе зумпфовых, аппаратов были посвящены работы Г.С. Щербины, П.Н. Каменева, Н.Н. Безуглова, Г.А. Лазарева, Ю.В. Ли, Б.Ф. Лямаева (Россия), Э.И. Антонова, В.Г. Гейера, Н.С. Болотских и Б.Д. Тиховидова [1,3]. В исследованиях, проанализированных в [1,3,4], в качестве одного из основных направлений повышения напора и КПД аппаратов было обосновано обеспечение их работы с подпором на всасе. При этом создание последнего традиционно связывается с поддержанием как можно более высокого уровня скоростей на входе в камеру смешения. Однако, весьма важно отметить, что подобный подход, связанный с уменьшением площади входа всасываемого потока в камеру смешения (с целью повышения его скорости) для шахтных зумпфовых аппаратов является неприемлемым, поскольку, с одной стороны, диаметр камеры в значительной степени определяется крупностью удаляемого твердого, а, с другой, при этом будет иметь место снижение всасывающей способности аппаратов с соответствующим ухудшением основных их технико-экономических показателей, в том числе с уменьшением их подачи. Исходя из вышеизложенного, можно считать, что вопросы эффективно повышения напора и КПД водоструйных аппаратов за счет создания подпора изучены пока недостаточно.

**Формулировка цели работы.** Исходя из вышеизложенного, целью данной работы является краткий сравнительный анализ технических характеристик и параметров водоструйных аппаратов в условиях их ра-

боты со статическим, скоростным и нулевым подпором, а также с разрежением на всасе, обоснование эффективного технологического резерва повышения их напора и КПД для создания на этой основе специальных высоконапорных аппаратов, предназначенных для откачки и очистки глубоких шахтных зумпфов.

Для эффективного решения проблемы в целом необходимо, по нашему мнению, прежде всего, выполнить сравнительный анализ влияния вида (статического и скоростного) и величины подпора на всасе на напорные и энергетические характеристики аппаратов повышенного напора, в докавитационных режимах их работы.

В отличие от известных подходов, параметры аппаратов, с учетом влияния высоты всасывания, будем считать технологическими (обусловленными технологическими особенностями эксплуатации аппаратов). В рассматриваемом плане характеристики и параметры аппаратов были частично рассмотрены в работах [3–5]. Однако ряд положений последних требует дальнейшего уточнения, что в большой степени касается вопросов обоснования эффективного вида подпора как технологического резерва повышения рабочего напора и КПД зумпфовых насосно-струйных (или насосно-гидроэлеваторных) установок в целом.

**Изложение основного материала.** Для решения поставленной задачи используем энергетическое уравнение водоструйного аппарата при осуществлении подпора на всасе, полученное в работе, анализ которой дан в [1,3,4], позволяющее вести исследование как технологических, так и „нормальных“, не учитывающих влияние подпора на входе, характеристик и параметров аппаратов

$$\begin{aligned} \rho_2 g Q_2 H_3 = & \rho_p g Q_p H_p + \\ & + \rho_{\text{св}} g Q_{\text{св}} \left( H_{\text{св.ср}} + \frac{V^2 \cos^2 \psi}{2g} \right) - \\ & - \rho_{\text{св}} g Q_{\text{св}} \frac{(\varphi_2 V_{\text{св}} \cos \psi - V_2)^2}{2g} - \\ & - \rho_p g Q_p \frac{(\varphi_2 V_{p1} - V_2)^2}{2g} - \rho_p g Q_p \xi_p \frac{V_{p1}^2}{2g} - \\ & - \rho_2 g Q_2 \xi_k \frac{V_2^2}{2g} - \rho_{\text{св}} g Q_{\text{св}} \xi_{\text{св}} \frac{V_2^2}{2g} - \rho_2 g Q_2 \xi_0 \frac{V_2^2}{2g}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{св}}, \rho_{\text{св}}$  – объемный расход, плотность всасываемого потока;  $Q_2, \rho_2$  – объемный расход, плотность смешанного потока на выходе из камеры смешения;  $Q_p, \rho_p$  – объемный расход, плотность рабочего потока;  $V_{p1}$  – скорость рабочего потока (принимается равной скорости на выходе из сопла);  $V_{\text{св}}$  – скорость всасываемого потока на входе в камеру смешения;  $V_2$  – скорость смешанного потока в камере смешения;  $H_{\text{св.ср}}$  – напор (статический) на входе в аппарат;  $H_3$  – напор аппарата в выходном сечении диффузора;  $H_p$  – напор рабочего потока (перед соплом);  $g$  – ускорение свободного падения;  $\varphi_2$  – коэффициент скорости камеры смешения;  $\psi$  – угол подвода всасываемого потока.

На рис. 1 представлена схема аппарата, поясняющая процесс его работы с указанием основных параметров

потока, входящих в уравнение (1), и отвечающих им сечений аппарата. При этом принята плоскость сравнения, отвечающая отметке оси горизонтально расположенного аппарата (или сечения входа в камеру смешения при вертикальном его расположении), по отношению к которой, собственно, и ведется отсчет величины всех напоров:  $H_p, H_3$  и  $H_{ex}$ .

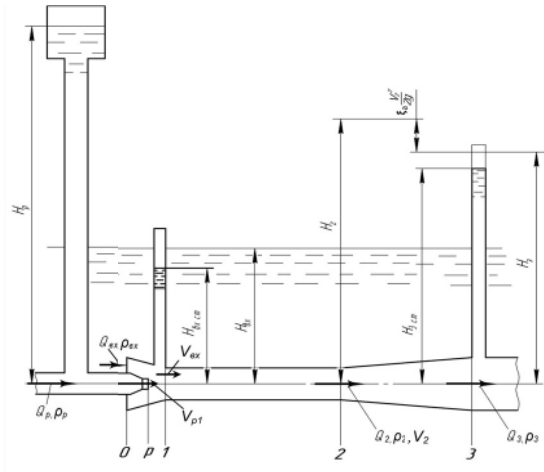


Рис. 1. Схема распределения напоров и скоростей потоков в характерных сечениях аппарата при учете влияния напора на всасывании на технологические его характеристики

В выражении (1) приняты обозначения  $\zeta_0, \zeta_{ox}, \zeta_d, \zeta_k$  – коэффициенты сопротивления сопла, входа в аппарат, диффузора, камеры смешения. Значения  $\zeta_k, \zeta_{ox}$  и  $\zeta_d$  отнесены к скорости смешанного потока  $V_2$  в камере смешения.

Уравнение (1) справедливо при выполнении следующих условий:

- критерий динамического подобия, число Рейнольдса для сопла, отвечает условию автомодельности –  $Re \geq 10^6$ ;
- работа аппарата ведется в докавитационных режимах;
- статическое давление на участке входа всасываемого потока между выходом из сопла и входом в камеру смешения сохраняет постоянное значение;
- в вариантах работы аппаратов с подпором дополнительные потери энергии при их образовании принимаются равными друг другу и при сравнительном анализе вариантов создания подпора эти затраты не учитываются.

Для дальнейшего анализа преобразуем размерную энергетическую характеристику (1) в безразмерные зависимости для вариантов работы аппаратов с нулевым, статическим и скоростным подпором, разрежением на всасе. С этой целью введем следующие относительные параметры:

- $h = H_3/H_p$  – относительный напор аппарата;  $U = Q_{ex}/Q_p$  – относительный расход аппарата;  $\delta = \rho_{ex}/\rho_p$  – относительная плотность;  $h_{ex,cm} = H_{ex,cm}/H_p$  – коэффициент статического подпора, или разрежения, на всасе аппарата;

$h_{ex,ck} = H_{ex,ck}/H_p = Z^2/(1+\zeta_c)$  – коэффициент скоростного подпора на всасе аппарата;  $Z = V_{ex}/V_p = U/n$ ;

-  $Z_0 = V_{ex,0}/V_{p,0} = u/n$  – отношение входной скорости  $V_{ex}$  к скорости рабочего потока  $V_{p,0}$  (в сечении среза сопла) при условии нулевого подпора (уровень всасываемой жидкости отвечает плоскости среза сопла аппарата);  $m = f_2/f_{p1} = d_c^2/d_k^2$  – отношение площади  $f_2$  камеры смешения к площади  $f_{p1}$  выходного отверстия сопла;  $d_k, d_c$  – диаметры камеры смешения и сопла;  $n = f_{ex}/f_p = U/Z_0$  – отношение площадей всасываемого и рабочего потоков;  $\Sigma \zeta = \zeta_{ox} + \zeta_d + \zeta_k$ .

Для аппаратов с центральным соплом при рациональной их конструкции  $n = m - 1$ .

Далее, разделив обе части уравнения (1) на  $\rho_p g Q_p H_p$ , используя вышеприведенные безразмерные параметры и выполнив соответствующие преобразования, получаем следующие безразмерные характеристики:

для случая  $h_{ex,cm} = h_{ex,ck} = 0$  имеем

$$h_0 = \frac{1}{1+u} - \frac{1}{(1+u)(1+\zeta_c)} \cdot \left[ u \left( \phi_2 Z_0 \cos \psi - \frac{1+u}{m} \right)^2 + \left( \phi_2 - \frac{1+u}{m} \right)^2 + \sum \zeta \frac{(1+u)^3}{m^2} + \zeta_c \right]; \quad (2)$$

для варианта работы аппарата со статическим подпором ( $h_{ex} = h_{ex,cm}$ ) или с разрежением ( $h_{ex,cm} = h_{ex,ck}$ )

$$h_{cm} = \frac{1}{1+u} \pm \frac{h_{ex,cm} u}{1+u} - \frac{1-h_{ex,cm}}{(1+u)(1+\zeta_c)} \cdot \left[ u \left( \phi_2 \frac{u}{n} \cos \psi - \frac{1+u}{m} \right)^2 + \left( \phi_2 - \frac{1+u}{m} \right)^2 + \sum \zeta \frac{(1+u)^3}{m^2} + \zeta_c \right]; \quad (3)$$

где верхний ряд знаков перед  $h_{ex,cm}$  отвечает варианту работы с подпором, а нижний – с разрежением (при разрежении напор  $h_{ex,cm}$  на входе в аппарат отвечает вакуумметрической высоте всасывания);

при обеспечении скоростного подпора на всасе аппарата находим, что

$$h_{ex} = \frac{1}{(1+u)} + \frac{1}{(1+u)(1+\zeta_c)} \cdot \left[ Z^2 u \cos^2 \psi - u \left( \phi_2 Z \cos \psi - \frac{1+u}{m} \right)^2 - \left( \phi_2 - \frac{1+u}{m} \right)^2 - \sum \zeta \frac{(1+u)^3}{m^2} - \zeta_c \right]; \quad (4)$$

Выражения (2)–(4) получены с учетом условия  $\rho_{ex} = \rho_p$ , или  $\delta = 1$ , что позволяет на данном этапе выполнить анализ только гидравлических характеристик аппаратов.

При этом установленные зависимости дают возможность вести анализ как частных технологических характеристик аппаратов (при  $m=\text{const}$ ), так и интегральных безразмерных их характеристик, отвечающих оптимальным значениям  $m$ , т.е. при максимальных значениях КПД аппаратов. Для рассмотрения интегральных характеристик аппаратов были получены следующие выражения для параметра  $m_{omni}$ :

- для вариантов работы аппаратов при нулевом и статическом подпоре, разрежении на всасе

$$m_{omni,0} = m_{omni,cm} = \frac{(1 + \sum \xi)(1+u)^2 n}{\phi_2 (n+u^2 \cos \psi)}; \quad (5)$$

- для варианта при скоростном подпоре на входе в аппарат

$$m_{omni,ck} = \frac{(1 + \sum \xi)(1+u)^2}{\phi_2 (Zu \cos \psi + 1)}. \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) вытекает, что, если в вариантах нулевого и статического подпора параметр  $m_{omni}$  от величины подпора не зависит, то значение  $m_{omni,ck}$  от скоростного подпора зависит существенно. При неизменном  $U$  увеличению  $Z$  в общем случае отвечает соответствующее уменьшение величины  $n$ , что, в свою очередь, приводит к уменьшению  $m_{omni,ck}$  и росту уровня скорости  $V_{ex}$  на входе в камеру смешения.

Далее, важным вопросом является обоснованный выбор величины суммарного коэффициента сопротивления  $\Sigma \xi$ , отнесенного к скорости  $V_2$  смешанного потока в камере смешения аппарата. В соответствии с данными ряда известных работ [1,2], величина  $\Sigma \xi$  может изменяться в пределах  $\Sigma \xi = 0,28 \div 0,36$ . Используя формулу (5), можно легко установить, что результаты известных экспериментальных исследований, в основном, отвечают  $\Sigma \xi = 0,28 \div 0,34$ . В то же время из данных исследований Лямаева Б.Ф. вытекает, что  $\Sigma \xi$  может превышать величину 0,4. Учитывая, что качество обработки элементов проточной части промышленных аппаратов будет, в общем случае, ниже экспериментальных образцов, в дальнейшем будет вполне обоснованным, в определенных случаях, принятие значений  $\Sigma \xi$ , больших по сравнению с приведенным их диапазоном.

С использованием зависимостей (2-4) и приведенных соображений по выбору  $\Sigma \xi$  были выполнены расчеты и построены технологические обобщенные сводные и индивидуальные напорные характеристики аппаратов. При этом принято, что  $\rho_{вх} = \rho_p$ ,  $\cos \psi = 1$ ,  $\Sigma \xi = 0,45$ . Рассмотрим кратко ряд наиболее важных, по нашему мнению, результатов анализа полученных характеристик, касающихся влияния величины и вида подпора на всасе зумпфовых водоструйных аппаратов на их технологические параметры.

При этом, прежде всего, отметим, что сводные характеристики аппаратов  $h_{omni,0}(U)$ , полученные на основе использования выражения (2) при условии нулевого подпора на всасе аппаратов, достаточно хорошо отвечают „нормальным“ сводным характеристикам, полу-

ченным экспериментально в известных работах. Установлено также, что создание подпора, как статического, так и скоростного, на входе водоструйных аппаратов приводит к повышению их технологического напора и КПД с тенденцией роста последнего по мере повышения оптимальной подачи аппаратов. В отличие от традиционных представлений, вариант работы аппаратов со статическим подпором обеспечивает более заметное снижение потерь энергии на смешение потоков и потерь в диффузоре, благодаря чему он является экономически более выгодным по сравнению с вариантом с „чисто“ скоростным подпором, отвечающим традиционно рекомендуемому повышению уровня скоростей  $V_{ex}$  на входе в камеру смешения. Одновременно следует отметить, что вариант создания статического подпора является и более простым в реализации и наиболее приемлемым с точки зрения ликвидации кавитационных режимов работы аппаратов.

В качестве иллюстрации степени влияния статического подпора на технологические характеристики аппаратов рассмотрим данные расчетов индивидуальных характеристик  $h_{cm}(U)$  и  $\eta_{cm}(U)$  аппаратов. На рис. 2, в качестве примера, представлены кривые напорных характеристик при значении параметра  $m=9$ . Отрицательные значения  $h_{ex,cm}$  отвечают соответствующим значениям разрежения на всасе аппаратов. Как видно, имеет место естественное, четко выраженное, непрерывное увеличение как технологического напора  $h$ , так и  $\eta$  аппаратов по мере повышения напора (подпора) на их всасе. При этом во всех случаях приращение напора несколько повышается с увеличением подачи  $U$ . С ростом подпора степень повышения КПД (рис. 3) снижается. Тем не менее, при  $m=9$  максимальный КПД, при вполне возможной величине подпора  $h_{ex,cm}=0,1$ , достигает значения  $\eta_{omni} > 0,4$ , что приближается к КПД грунтовых центробежных насосов.

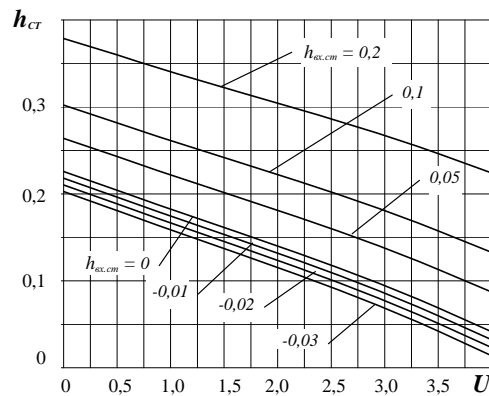


Рис. 2. Напорные характеристики аппаратов  $h_{ct}(U)$  при  $m=9$  и диапазоне  $h_{вх,ct} = -0,03 \dots 0,2$

Заслуживает внимания также факт о том, что с повышением статического подпора, а значит и напора  $h_{cm}$ , значение  $U_{omni}$  смещается в сторону больших подач  $U$ . Например, установлено, что в случае  $m=4$ , при увеличении подпора от нуля до  $h_{вх,ct} = 0,2$ , оптимальная подача увеличивается с  $U_{omni} \approx 1,30$  до  $U_{omni} \approx 1,65$ , т.е. при-

мерно в 1,27 раза. Это является достаточно важным для практики фактором с точки зрения заметного оперативного повышения подачи зумпфовых установок с водоструйными аппаратами в моменты ликвидации аварийных затоплений зумпфов.

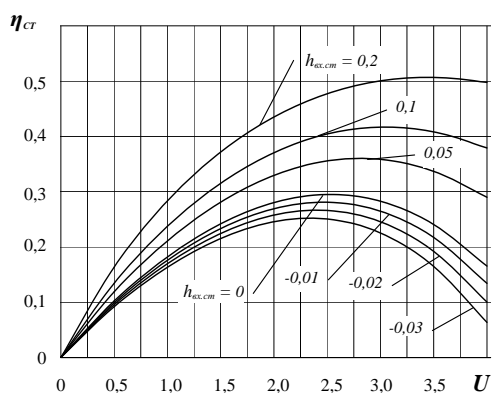


Рис. 3. Характеристики аппаратов  $\eta_{ст}(U)$  при  $m=9$  и диапазоне  $h_{вх.ст} = -0,03...0,2$

Из данных выполненного комплекса исследований вытекает также, что:

- использование статического подпора на всасе аппаратов является наиболее эффективным и простым в реализации технологическим резервом совершенствования высоконапорных аппаратов в целом;

- создание эффективных аппаратов с напором  $H_A \geq 70$ м практически невозможно без обеспечения соответствующего статического подпора на их всасе (что обусловлено, прежде всего, их кавитационными качествами).

При этом в традиционных схемах зумпфовых аппаратов обеспечение требуемого подпора за счет естественного их заглубления весьма затруднено, практически невозможно. Именно с учетом данного факта, наряду с совершенствованием технологии использования одноступенчатых аппаратов, значительный интерес представляет развитие нового в области зумпфового водоотлива направления (обоснованного в НИИГМ им. М.М. Федорова) – создание высоконапорных аппаратов с двухступенчатой технологической схемой [5].

В результате экспериментально-производственных исследований, выполненных на зумпфовых водоотливах шахт „Им. Ф.Э. Дзержинского“ ГП „Дзержинскуголь“ и „Октябрьский рудник“ ГП „ДУЭК“, доказана высокая эффективность двухступенчатых высоконапорных аппаратов [4] с низконапорной предвключенной ступенью, предназначенной для создания статического подпора на входе в вышерасположенную высоконапорную ступень [5]. При этом, в условиях исследования первой из указанных установок (гор.1146 м шахты), установлены следующие рабочие параметры: напор установки  $H_{уст} = 119,3$ м; подача –  $Q_{вс} = 69,3$ м<sup>3</sup>/ч; напор и расход рабочего потока –  $H_p = 225$ м и  $Q_p = 179,2$ м<sup>3</sup>/ч. Используя известную формулу

$$\eta_{уст} = H_{уст} \cdot Q_{вс} / H_p Q_p,$$

получаем значение КПД установки  $\eta_{уст} = 0,205$ . Это в два и более раза превышает аналогичный показатель высоконапорного одноступенчатого зумпфового аппарата, установленный нашими исследованиями и данными испытаний последнего, представленными в работе.

В целом двухступенчатая схема превосходит традиционно применяемую одноступенчатую по целому ряду важных технико-экономических показателей, в частности, по напорности, экономичности и всасывающей способности. Кроме того, при откачке и очистке глубоких зумпфов двухступенчатая схема, требуя в 1,5÷2 раза меньшего напора рабочего потока, в большей степени пригодна для запитывания непосредственно от насосов водоотлива. Это, с одной стороны, исключает необходимость установки специальных насосов, а, с другой стороны, дает возможность некоторого дополнительно повышения экономичности установки в целом и снижает интенсивность изнашивания сопел и камер смещения гидроэлеваторов.

Указанная установка эксплуатировалась в достаточно сложных, нестационарных, иногда, фактически, в аварийных условиях работы [4]. Последние, в частности, характеризовались повышением концентрации твердого в откачиваемом потоке [4]. Тем не менее, полученные результаты эксплуатации позволяют сделать заключение о том, что даже в таких условиях установка обеспечивала требуемый уровень работоспособности и эффективности.

Использование установки на шахте „Им.Ф.Э. Дзержинского“ позволило успешно решить важнейшую производственную задачу – осуществить перепуск скипового подъема на гор.1146м шахты. Это, в свою очередь, дало возможность реализовать планы развития добычи угля на данном горизонте, составляющей в настоящее время большую часть общедоступного её объема. Аналогичные результаты были достигнуты и на ранее упомянутой шахте „Октябрьский рудник“.

Выполненный комплекс работ создает реальные предпосылки для достижения резкого повышения эффективности и эксплуатационной безопасности стационарного зумпфового водоотлива отрасли при одновременном обеспечении безлюдной, или близкой к ней, откачки и очистки зумпфов практически любой глубины.

**Выводы.** Обеспечение работы высоконапорных зумпфовых аппаратов со статическим подпором на всасе является эффективным технологическим резервом повышения их напора, подачи и КПД, совершенствования технологических схем зумпфовых насосно-гидроэлеваторных установок в целом. Особую значимость приобретает возможность резкого повышения технико-экономических показателей установок зумпфовых аппаратов: в условиях образования „беззатратного“ статического подпора на их всасе, автоматически реализуемого в аварийных ситуациях откачки и очистки затопленных зумпфов; при использовании высоконапорной двухступенчатой схемы аппарата с предвключенной, „бустерной“, низконапорной ступенью, обеспечивающей требуемый статический подпор на входе в высоконапорную ступень аппарата.

## Список літератури / References

1. Расчет режимов работы двухступенчатого водоструйного аппарата / А.Н. Галанин [и др.] // Уголь Украины. – 1999. – № 9. – С. 36–38.

Galanin, A.N. (1999) "Calculation of modes of the two-stage water-jet apparatus", *Ugol Ukrainy*, no. 9, pp. 36–38.

2. Соколов Е.Я. Гидравлическая устойчивость / Соколов Е.Я. // Теплофикация и тепловые сети – М.: Изд. дом. МЭИ, 2009. – 472 с.

Sokolov, Ye.Ya. (2009), *Gidravlicheskaya ustoichivost. Teplofikatsiya i teplovye seti* [Hydraulic Resistance. Heating System and Heat Networks] Publishing House MEI, Moscow, Ukraine.

3. Антонов Э.И. Исследование влияния подпора на технологические характеристики водоструйных аппаратов / Э.И. Антонов, К.В. Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования стационарных установок: сб. научн. трудов НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 2006. – Вып. 100. – С.201–215.

Antonov, E.I. and Gryadushchiy, K.V. (2006), "Investigation of the influence of backwater on the technological characteristics of waterjet machines", *Problemy ekspluatatsiyi obladnannya shakhtnykh statsionarnykh ustanovok*, NIIGM im. M.M. Fedorova, Issue.100, Donetsk, pp. 201–215.

4. Высоконапорные гидроэлеваторные установки для очистки зумпфов / Э.И. Антонов, Б.А. Грядущий, К.В. Грядущий [и др.] // Уголь Украины. – 2010. – № 5. – С. 12–15.

Antonov, E.I., Gryadushchiy, B.A. and Gryadushchiy, K.V. (2010), "High-pressure cleaning systems for hydroelevating sumps", *Ugol Ukrainy*, no. 5, pp. 12–15.

5. Патент на корисну модель №38361, Україна, МПК F04D 1300. Шахтна зумпфова двоступінчаста гідроелеваторна установка / Е.І. Антонов, Б.А. Грядущий, К.В. Грядущий – U200811638; заявл. 29.09.2008; опубл. 12.01.2009. Бюл. № 1

Antonov, E.I., Gryadushchiy, B.A., Gryadushchiy, K.V. (2009), The patent for utility model No. 38361, Ukraine, IPC F04D 1300. Two-stage hydroelevating install of coal mine sumps, U200811638. Stated Sept. 29, 2008. Published Jan. 12, 2009. Bull. No. 1.

**Мета.** Стислий аналіз впливу величини та виду підпору на всмоктуванні високонапірних зумпфових водоструйних апаратів і обґрунтування на цій основі їх раціональних технологічних схем і параметрів.

**Методика.** Теоретичний аналіз виконаний на основі встановленого розмірного енергетичного рівняння та безрозмірних напірних характеристик апаратів, що враховують величину й вид (статичного та швидкісного) підпору на всмоктуванні. Фактичні експлуатаційні параметри режимів роботи й ККД одно- та двоступеневих апаратів встановлені експериментально у виробничих умовах, з використанням стандартних методик, досліджень і відомих рекомендацій.

**Результати.** Представлене розмірне енергетичне рівняння та одержані на його основі безрозмірні напірні характеристики апаратів. Надано короткий аналіз результатів оцінки впливу величини та виду підпору на всмоктуванні апаратів на їх характеристики й парамет-

ри. Встановлено, що варіант статичного підпору при розробленні високонапірних зумпфових апаратів економічно більш вигідний у порівнянні з випадком швидкісного підпору. На цій основі розроблена спеціальна двоступенева схема апарату зі статичним підпором на вході верхньої високонапірної її ступені. У результаті експериментально-виробничих досліджень апарату підтверджена можливість різкого підвищення рівня експлуатаційної безпеки та ефективності зумпфового водовідливу при відкачуванні й очищенні глибоких зумпфов.

**Наукова новизна.** Уперше, на основі виконаної порівняльної оцінки впливу величини та виду статичного й швидкісного підпору на всмоктуванні апаратів на характеристики й параметри зумпфових високонапірних апаратів, показано, що, на відміну від традиційних уявлень і рекомендацій, економічно вигідним є використання варіанту статичного підпору.

Двоступенева схема апарату з низьконапірною передвключеною ступінню, що створює статичний підпір на всмоктуванні основної високонапірної ступені, забезпечує підвищення ККД у 1,5÷2,5 рази в порівнянні з традиційно вживаною одноступеневою схемою.

**Практична значимість.** Забезпечення роботи високонапірних зумпфових апаратів зі статичним підпором на всмоктуванні є найбільш ефективним резервом удосконалення технологічних схем зумпфових високонапірних насосно-гідроелеваторних установок у цілому.

**Ключові слова:** зумпфовий водовідлив, водоструйний апарат, технологічні параметри, ККД, підпір, безрозмірні характеристики

**Purpose.** Brief analysis of the impact of the value and type of suction head of high-pressure sump water jet apparatus and justification on this basis of rational technological schemes and parameters.

**Methodology.** On the basis of the established dimensional energy equation and the dimensionless pressure characteristics of apparatus, taking into account the value and type (static and high-speed) of suction head. Actual parameters of operational modes and operation efficiency of one and two-stage apparatus investigated experimentally in an industrial environment, using standard techniques, known research and recommendations.

**Findings.** Presented established dimensional energy equation, and the dimensionless pressure characteristics based on it. A brief analysis of the results of assessing the impact of the value and type of suction head of apparatus on their characteristics and parameters is given. Found that the static head in the development of high-pressure sump apparatus is more economical compared to the case of high-speed head. On this basis, a special scheme of the two-stage apparatus with a static overpressure at the inlet upper high pressurized level is developed. As a result of experimentally-industrial researches of the apparatus confirmed the possibility of a sharp increase of the operational safety level and efficiency in the sump drainage pumping and cleaning deep sumps.

**Originality.** For the first time, based on the comparative evaluation of the influence of value and type of the static

and high-speed suction head of apparatus on the characteristics and parameters of high-pressure sump apparatus shown that in contrast to traditional ideas and recommendations, the cost-effective option is to use a static head (without special compulsory increase of suction flow velocity).

Two-stage scheme of an apparatus with a low-pressure preswitched on stage, creating a static suction head on the main high-pressure stage justifies 1.5-2.5 times higher operational efficiency compared with the traditionally used single-stage scheme.

**Practical value.** Operation of the high-pressure sump apparatus with a static suction head is the most effective reserve of improvement of the technological schemes of sump high-pressure booster apparatus as a whole.

**Keywords:** *sump pumping, water jet apparatus, technological parameters, efficiency, head, dimensionless characteristics*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук  
Е.І. Антоновим. Дата надходження рукопису 10.11.13.*

УДК 622.02:534.2

**В.А. Машченко<sup>1</sup>**, канд. фіз.-мат. наук, доц.,  
**І.О. Садовенко<sup>2</sup>**, д-р техн. наук, проф.

1 – Рівненський державний гуманітарний університет, м.Рівне, Україна, e-mail: volodymyr\_mashchenko @ukr.net  
2 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м.Дніпропетровськ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕФОРМАЦІЇ НЕІДЕАЛЬНО-ПРУЖНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

**V.A. Mashchenko<sup>1</sup>**, Cand. Sci. (Phys.-Math.),  
Associate Professor,  
**I.O. Sadovenko<sup>2</sup>**, Dr. Sci. (Tech.), Professor

1 – Rivne State Humanitarian University, Rivne, Ukraine,  
e-mail: volodymyr\_mashchenko@ukr.net  
2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine

## STUDY OF THE IMPERFECTLY ELASTIC ROCK DEFORMATION BEHAVIOR

**Мета.** На основі модельного підходу та інтерпретації експериментальних даних швидкостей поширення поздовжніх і поперечних акустичних хвиль проаналізувати вплив структурно-морфологічних особливостей та пружних характеристик дефектів на особливості деформації ряду пісковиків.

**Методика.** Включала проведення серії експериментальних досліджень щільності, пористості та визначення швидкостей поширення поздовжніх та поперечних акустичних хвиль у зразках пісковиків з різною структурною організацією.

**Результати.** За швидкостями поширення поздовжніх та поперечних акустичних хвиль для пісковиків з різними значеннями ефективного коефіцієнта Пуассона визначені пружні параметри дефектності структури. Проведено порівняльний аналіз відношення нормальної та тангенціальної складових деформації з ефективним коефіцієнтом Пуассона пісковиків. На основі варіації швидкостей акустичних хвиль під дією зовнішнього тиску проведено розрахунок коефіцієнта Пуассона середовища-матриці.

**Наукова новизна.** Розглянута деформаційна поведінка пісковиків на основі моделі мікронеоднорідного середовища у вигляді пружної матриці й планарних дефектів включень. Теоретичні оцінки параметрів дефектів через пружні сталі лінійної теорії пружності вказують на адекватність застосування моделі для опису деформованого стану неідеально-пружних гірських порід. Обґрунтована можливість існування від’ємного коефіцієнта Пуассона у пісковиків при високій нормальній стисливості дефектів структури із внеском контактних взаємодій.

**Практична значимість.** Розроблена методика дослідження особливостей деформованого стану неідеально-пружних гірських порід методами неруйнуючого контролю. Отримані співвідношення для оцінки нормальної й тангенціальної податливості через ефективні модулі пружності мікронеоднорідного середовища та модулі пружності й коефіцієнт Пуассона середовища-матриці. Показано, що між концентраціями дефектів, їх податливостями й ефективним коефіцієнтом Пуассона, що визначає деформаційно-пружні характеристики середовища, існує обернена залежність.

**Ключові слова:** *мікронеоднорідне середовище, пружні параметри, коефіцієнт Пуассона, поздовжня та поперечна акустичні хвилі, швидкість поширення, пісковик*

**Постановка проблеми.** Більшість задач, що розв’язуються методами лінійної акустики на різних

масштабних рівнях (від геоакустики до сейсмології), розглядають об’єкти, що досліджуються, у рамках пружних представлень і у припущенні суцільності сейсмогеологічних середовищ. Така ідеалізація випра-