

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАБОЧИХ КОЛЕС ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ**

*Брусова О.М., Тимирханов Б.Б.,  
Лагунова Ю.А.*

### *Аннотация*

В статье рассматриваются вопросы выбора оптимального материала для изготовления рабочих колес грунтовых насосов. Износостойкость материалов рабочего колеса грунтовых насосов, работающих в условиях гидроабразивного износа, определяется их химическим составом, режимом термической обработки и, следовательно, микроструктурой и механическими свойствами [1]. Проводятся испытания в лаборатории на стенде для проведения исследований режимов работы насосов, при этом испытывают насосы с рабочими колёсами из различных материалов (чугун, сталь, резина и полиуретан). По результатам исследований сделан вывод, что использование полиуретана позволит повысить КПД насоса, данный материал проще ремонтируется после износа и повышает производительность.

**Ключевые слова:** грунтовый насос, гидроабразивный износ, исследовательский эксперимент, рабочее колесо, рентгено-флуоресцентный спектрометр, полиуретан.

### *Введение*

Из существующих транспортных устройств одним из самых выгодных является гидравлический транспорт, который предназначен для транспортирования смесей на большие расстояния [2].

Достоинствами гидротранспортных установок являются: простота устройства и эксплуатации, возможность непрерывного транспортирования материалов по сложной трассе на значительные расстояния.

Недостатками при работе гидравлического транспорта являются: быстрое изнашивание рабочих органов грунтовых насосов. Скорости в каналах грунтовых насосов достигают величины 30 м/сек, при этом твердые включения бомбардируют внутренние поверхности проточных каналов под всевозможными углами, что создает условия быстрого изнашивания грунтовых насосов [3].

### *Материалы и методика исследований*

Конструкция одного из видов грунтового насоса представлена на рисунке 1.

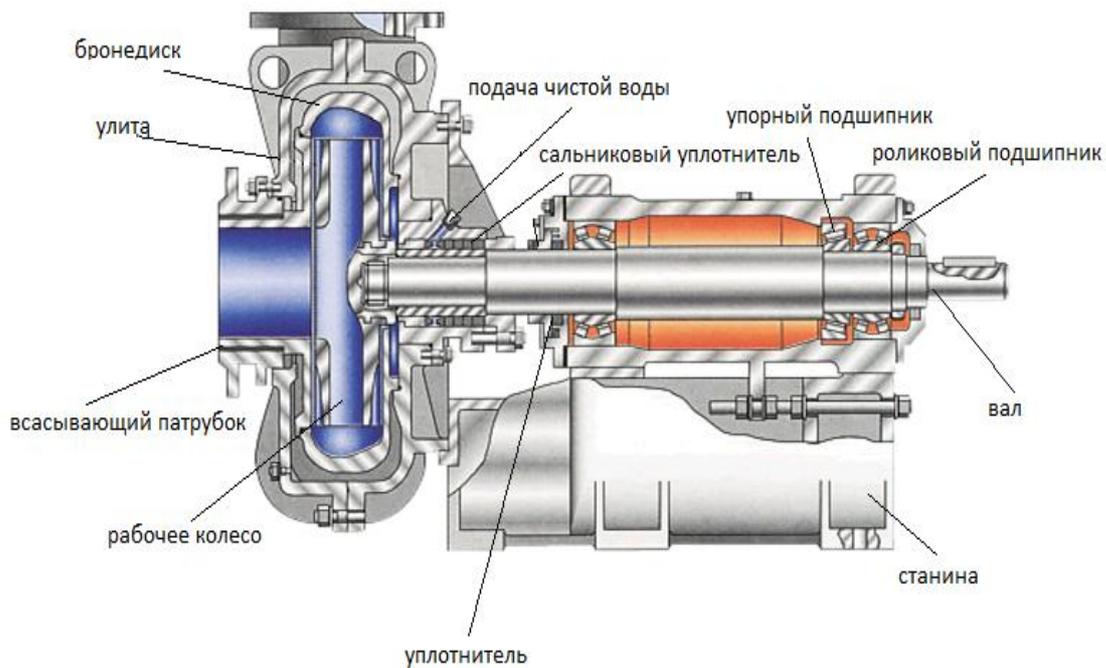


Рисунок 1 - Внешний вид грунтового насоса серии Гр

Рабочее колесо является основным рабочим элементом насоса, так как именно лопатки колеса передают жидкости механическую энергию. Правильный выбор материала рабочего колеса насоса обеспечивают высокую эффективность работы [1,5].

Конструкция рабочего колеса представлена на рисунке 2.

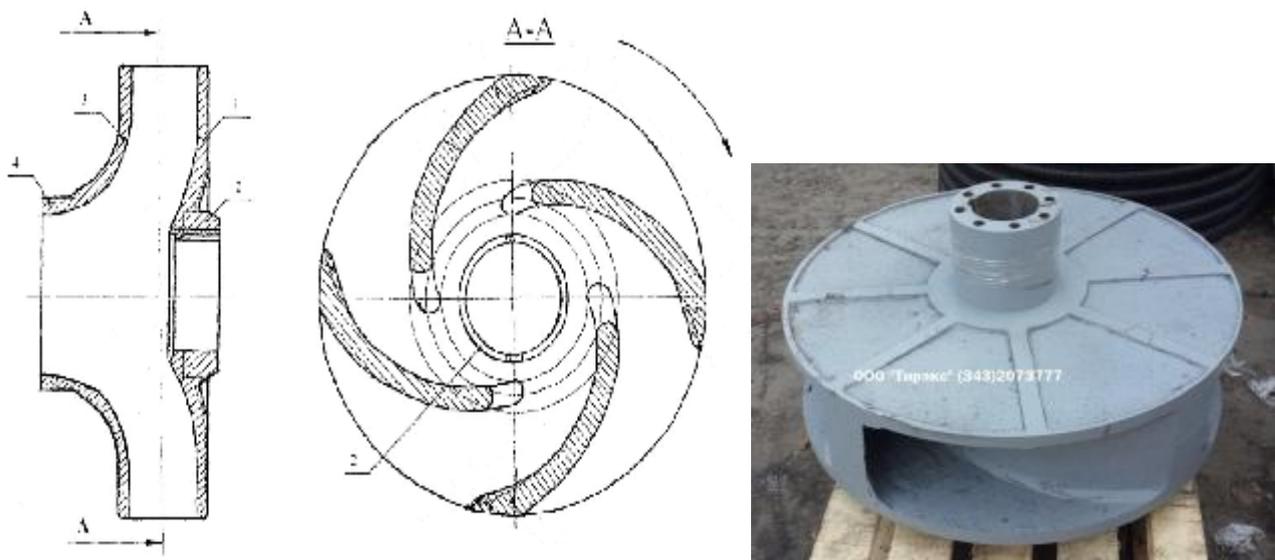


Рисунок 2 - Конструкция рабочего колеса грунтового насоса  
1 – Ведущий диск; 2 – втулка; 3 – ведомый диск; 4 – всасывающий патрубок

Износостойкость материалов рабочего колеса грунтовых насосов,

работающих в условиях гидроабразивного

в условиях износа,

определяется их химическим составом, режимом термической обработки и, следовательно, микроструктурой и механическими свойствами [4]. Поэтому научно-исследовательские работы по изысканию новых износостойких сплавов включают установление степени влияния различных химических элементов, структуры и механических свойств на износостойкие качества, выбор рациональной технологии отливки и режимов термообработки. Несмотря на различие в экспериментальных установках, на которых производят исследования по определению износостойкости материалов в различных организациях, метод испытания во всех сводится к определению коэффициента относительной износостойкости, показывающего, во сколько раз данный материал является более износостойким, чем материал, принятый за эталон.

Следствием гидроабразивного изнашивания деталей насоса являются [5]:

- снижение напора, развиваемого насосом и его КПД, что приводит к уменьшению рабочей подачи;
- ухудшение всасывающей способности насоса, что вызывает появление кавитации;
- появление сквозного износа в элементах насоса, разгерметизация стыков, течь через сальник;
- разбалансировка рабочего колеса, что вызывает появление неуравновешенных радиальных усилий, действующих на ротор и

подшипник, и приводит к снижению долговечности последних;

- повышение давления на сальники и осевого усилия в насосах вследствие изнашивания торцовых лопаток на заднем диске рабочего колеса.

Выбор материалов для быстроизнашивающихся деталей зависит обычно от конструкций и назначения узла, технологии изготовления детали, условий её эксплуатации, требований к общей прочности и металлоемкости деталей, сроку их службы при учете стоимости материала и его дефицитности, расходов на изготовление деталей из данного материала и эксплуатационных расходов.

Детали грунтовых насосов подвергаются ударному воздействию меньшей интенсивности без скольжения или со скольжением. Для такой группы деталей износостойкие стали обычно не применяются. В условиях абразивного изнашивания в нейтральной среде максимальной износостойкостью обладают хромомолибденовые чугуны марок ИЧ300Х16МТ и ИЧ290Х12М. Дороговизна и дефицитность молибдена сдерживают широкое распространение хромомолибденовых износостойких чугунов [6].

Высокохромистые чугуны с карбидами  $M_7C_3$  первоначально использовались как жаро- и коррозионностойкие. По износостойкости они уступают хромомолибденовым и хромомарганцевым чугунам с мартенситной структурой. Тем не

менее, хромоникелевый износостойкий чугун ИЧХ28Н2 до настоящего времени очень широко применяется для изготовления многих быстроизнашивающихся деталей технологического оборудования. В условиях гидроабразивного изнашивания при малых углах атаки износостойкость будет тем выше, чем больше карбидов содержится в сплаве. Для повышения износостойкости белых чугунов кроме наличия карбидов необходимо иметь высокую прочность металлической основы. Даже незначительное содержание в структуре основы мягких продуктов распада аустенита резко снижает износостойкость чугуна.

Химико-термическая обработка применяется для деталей не контактирующих с абразивной средой, так как изнашивается только тонкий слой, находящийся в зоне контакта при трении. Однако при борировании глубина получаемого слоя (до 2 мм) в несколько раз больше, чем при других методах (до 0,6 мм). Чем больше содержание углерода в стали, тем тоньше образуется на ней поверхностный слой. Благодаря снижению хрупкости борированного слоя этот способ увеличивает износостойкость деталей машин и позволяет им работать в условиях ударных нагрузок. В связи с этим борирование при литье рекомендуется использовать для повышения гидроабразивной износостойкости рабочих колес и корпусов грунтовых насосов в условиях сильных ударных нагрузок при переработке строительных песков [6].

Для защиты от износа деталей оборудования эффективно применение монолитного поликристаллического карбида кремния (МПК). МПК – новый износостойкий конструкционный материал, широко применяемый в углеобогащении. Его физико-механические свойства следующие: плотность  $2900 \div 3100 \text{ кг/м}^3$ , микротвердость основной фазы (карбида кремния)  $2,8 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ ; микротвердость фазы кремния  $(1 \div 1,2) \cdot 10^4 \text{ МПа}$ , предел прочности при сжатии 35 ГПа, пористость общая  $0,5 \div 3\%$ . Высокая износостойкость деталей из МПК позволяет в течение длительного времени поддерживать неизменными геометрические параметры изделия и обеспечивать благодаря этому стабильные технологические показатели работы оборудования и увеличение межремонтных сроков службы [7].

Наряду с высокой износостойкостью карбид кремния, как и все твердые, но хрупкие материалы имеет низкую ударную прочность, что несколько ограничивает область его применения. Детали из карбида кремния целесообразно применять для оборудования, подвергающегося гидроабразивному изнашиванию при высоких скоростях и малой крупности абразивных частиц.

В последние годы большое внимание уделяется работам по борьбе с абразивным износом путем гуммирования деталей оборудования специальными сортами резин.

Из каучуков специального назначения к перспективным для

гуммирования горно-обогатительного оборудования относятся полиуретаны. К их недостаткам чаще всего относят склонность к гидролизу. Несмотря на высокую стоимость и недостатки, применение полиуретановых эластомеров в некоторых случаях экономически целесообразнее вследствие значительного увеличения сроков службы изделий из них. Например, насос 5Гр-8 изготовленный в гуммировочном исполнении проработал непрерывно более 2400 часов. В тех же условиях насосы 4Гр с улитой и рабочим колесом, изготовленными из сплава ИЧХ28Н2, работали не более 2000 часов. Применительно к гуммированным деталям, работающим при гидроабразивном изнашивании, т. е. в струе абразивных частиц, в зависимости от степени соударения можно получить различные состояния резиновой поверхности при одной и той же температуре эксплуатации: при небольших скоростях соударения – стеклообразное состояние, а при высоких скоростях – стеклообразное состояние эластомера [8].

Жидкие каучуки (низкомолекулярные полимеры) позволяют изготавливать не только высококонцентрированные, но и совсем безрастворные жидкие гуммировочные и герметизирующие составы, что открывает возможности получения бесшовных, т. е. однородных покрытий, наносимых принятыми в лакокрасочной технологии прогрессивными (окраской кистью, опусканием детали в раствор или распылением, в том числе механизированными

методами. Упрощается технология гуммирования оборудования, особенно крупногабаритного со сложной конфигурацией поверхности, которые невозможно оклеить листовой резиной (рабочего колеса насосов). Для гуммирования этим методом применяется синтетический каучук – низкомолекулярный полихлоропрен или наирит. К его важнейшим эксплуатационным преимуществам относится способность образовывать после вулканизации при 100°C эластичные покрытия с хорошими физико-механическими показателями, а также более высокой химической и гидроабразивной износостойкостью [8].

Для выбора оптимального материала для грунтового насоса испытания проводились в лаборатории «Горной механики» Рудненского индустриального института (рисунок 3). Для этого использовался стенд для проведения исследований режима работы совместно работающих грунтовых насосов 3 Гр-8 (ГрТ-50/16). Стенд позволяет включать насосы параллельно и последовательно. Для эксперимента были изготовлены четыре рабочих колеса из различных материалов: чугун (КЧ 50-5), сталь (30ХЧГ2Т, нормализация), резина и полиуретан [9].

Для исследования состава материала, из которого изготовлены рабочие колеса, использовался рентгено-флуоресцентный спектрометр Niton® XLсерии 3tGOLDD+. Он создан специально для выполнения наиболее ответственных аналитических задач

[8]. Он может работать в следующих режимах:

- исследовательский режим (почвы) - обнаруживает 33 элемента
- для анализа проб с содержанием искомых элементов менее 1%;

- рудный режим - обнаруживает 36 элементов - режим быстрого определения содержания металлов и минералов в пробах. Идеален для анализа руд, пород, кернов, концентратов и т.п.;

- режим анализа сплавов металлов - одновременное определение концентрации 29-и химических элементов.

Анализаторы ThermoNitonXL-3т объединяют мощнейшую вычислительную электронику и последние достижения в материаловедении с наиболее мощными и совершенными рентгеновскими трубками из когда-либо применявшихся в портативных

. Имеет методику поверки и сертификат РК.

рентгеновских инструментах [10]. Основными прямыми достоинствами прибора является: получение результатов в реальном времени, точное определение легких и неметаллических элементов, высочайшие точностные характеристики, воплощенные в прочном корпусе проверенного годами дизайна [8]. Обладая невероятными скоростью и точностью анализа, большим встроенным цветным сенсорным дисплеем, фиксирующимся под любым углом, настраиваемыми меню для удобства и простоты работы, портативные эргономичные анализаторы Niton® XL-3тGOLDD+ являются самыми компактными и легкими, надежными, прочными и быстрыми в мире. Данный прибор внесен в Госреестр средств измерений Казахстана



### Рисунок 3 – Стенд для исследования совместной работы грунтовых насосов

Стенд позволяет проводить одновременный испытания двух насосов. Эксперименты проводились на гидросмеси кварцевого песка. Средневзвешенный диаметр твердых частиц -  $d_{св} = 0,1$  мм; объемная концентрация твердого материала –  $c_v = 0,25$ . Водопесчаная гидросмесь перекачивалась по кольцевому трубопроводу и после прохождения через насосы возвращалась в расходный бак. Общее время наработки насоса составило 500 часов работы. Показания

контрольно-измерительных приборов грунтовых насосов снимались каждый день работы и заносились в специальный журнал. Производительность насоса по пульпе, определялась по расходомерам, установленным на выходе нагнетательного трубопровода. Средняя производительность находилась путем деления показания расходомера на количество отработанных часов в неделю насосом [9].

Фотография рабочего колеса из полиуретана приводится на рисунке 4.



Рисунок 4 – Рабочее колесо насоса из полиуретана

Коэффициент полезного действия насосного агрегата определяется по формуле [6]

$$h_H = \frac{N_n}{N_g} \times 100\% , \quad (1)$$

где  $N_n$  – полезная мощность, кВт;

$N_g$  – мощность на валу двигателя, кВт.

Полезная мощность находится из выражения

$$N_n = \frac{Q \times \rho \times g \times H}{1000 \times 3600}, \quad (2)$$

где  $Q$  – подача, м<sup>3</sup>/час;

$\rho$  – плотность воды,  $\rho=1300$  кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – напор, м. вод.ст.

Мощность на валу двигателя определяется

$$N_e = \sqrt{3} \times U \times I \times \eta_{об} \times \eta_c \times \cos\phi \times 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $U$  – напряжение в сети,  $U=380$  В;

$I$  – сила тока потребляемая из сети, А

$\eta_{дв}$  – КПД двигателя,  $\eta_{дв}=0,9$ ;

$\eta_c$  – КПД сети,  $\eta_c=0,95$ ;

$\cos\phi=0,87$

Изменение коэффициента полезного действия от времени работы насоса при установке рабочих колес из различных материалов на насосный агрегат представлено на рисунке 5.

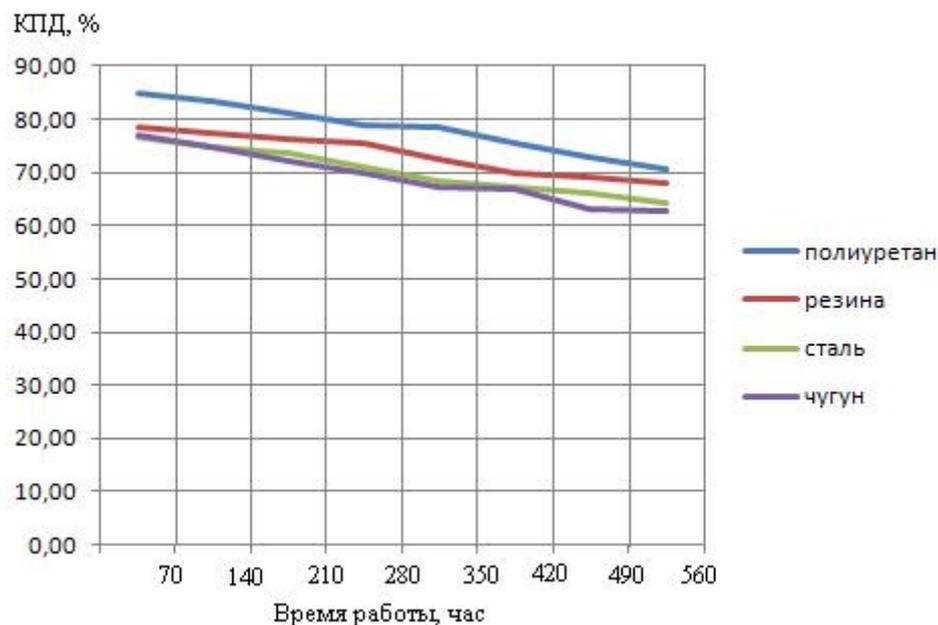


Рисунок 5 – Зависимость влияния времени работы насоса на его КПД

Доверительная вероятность измерений составляет 95%.

В начале эксперимента первоначальная масса колес составляла для чугуна – 26,2 кг, стали – 28,4 кг, полиуретана – 8,25 кг, резины – 12,65 кг. После проведения эксперимента она составила: для чугуна – 25,4 кг, сталь – 27,6 кг, полиуретан – 7,75 кг и резина – 11,95 кг. Потеря массы для различных материалов составляет: чугун – 3,1%, сталь – 2,8%; полиуретан – 6% и резина – 5,5%.

### ***Результаты эксперимента***

Исходя из проведенных исследований, принимается к установке рабочее колесо из полиуретана, так как у него выше значение КПД и оно проще ремонтируется, возвращаясь после износа в исходное состояние.

В настоящее время на фабриках Донского ГОКа применяется гуммирование всех деталей насоса соприкасающегося с пульпой полиуретаном (ПУЭ). Так

как ПУЭ имеет более высокую гидроабразивную стойкость по сравнению с металлом, то значительно удлиняется срок работы корпуса грунтового насоса. Известно, что устойчивость ПУЭ в гидроабразивной среде в 8 раз превосходит износостойкость углеродистой стали. В связи с этим предусматривается увеличение прочности деталей и как следствие увеличение срока службы [10].

### **Список литературы**

- 1 Животовский Л.С., Смойловская В.А. Лопастные насосы для абразивных гидросмесей. – М.: Машиностроение, 1978. – 223 с.
- 2 Suchanek J. Erosive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials. / J. Suchanek, J. Smrkovsky, P. Bias. Wear, vol. 233-235, p. 229-236, April 2009.
- 3 Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
- 4 Александров В.И. Снижение удельной энергоемкости гидротранспортных комплексов.// В.И. Александров, А.А. Кулешов / Горные машины и автоматика. - №6, 2004. - 16-17с.
- 5 Karimi A. Microstructure and Hydroabrasive wear behaviour of high-velocity oxy-fuel thermally sprayed Wc-Co (Cr) coatings / A. Karimi, C. Verdon, G. Barbezat. Surface and Coating Technology, vol. 57, num. 1, 2003, p 81-89.
- 6 Поветкин В.В. Гидроабразивный износ грунтовых и песковых насосов //В.В.Поветкин, В.П. Лем/ Вестник КазНТУ- №6, 2008. – 59-63 с.
- 7 Применение вибродиагностики для определения технического состояния грунтовых насосов на обогатительных фабриках АО ССГПО //Брусова О.М., Кузьмин С.Л. / Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромышленного оборудования. 2014. Т. 1. № 1. - 109-114 с.
- 8 Zavertkin P. Simulation and calculation of system hydraulic lifting of mineral coarse solid particles from seabed to the water surface / Международная научная конференция, Фрайберг, Германия, 2007. – 114-119 с.
- 9 Исследование материала рабочего колеса грунтового насоса //Кузьмин С.Л., Брусова О.М. / В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. Сер. "Чтения памяти В.Р. Кубачека". 2015. - 319-322 с.

10 К вопросу повышения срока службы грунтовых насосов // Брусова О.М. / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2014. № 10. - 98-106 с.

## Түйін

Мақалада жер асты сулары сораптарның жұмыс дөңгелегін дайындауға қажет оңтайлы материалын таңдау қарастырылады. Жер асты сулары сораптары гидроабразивтік тозу жағдайында жұмыс істейді.

Жер асты сулары сораптарының жұмыс дөңгелегі материалының тозуға төзімділігі оның химиялық құрамына, термиялық өңдеу режимдеріне, микроқұрылымына және механикалық қасиеттеріне байланысты.

Сынау зертханада сорап жұмысының режимдерін сынауға арналған стендте жүргізілді. Сынауға әр түрлі материалдардан (шойын, болат, резина және полиуретан) жасалған жұмыс дөңгелектері алынды.

Зерттеу нәтижелері бойынша қорытынды: полиуретанды қолдану арқылы дөңгелектің өнімділігін, пайдалы жер коэффициентің арттырып, тозуды қолпына келтіру уақытын азайтуға болады.

## Summary

The article deals with choice issues of an optimum material for the manufacture of groundwater pumps impellers. Durability of ground materials impeller pumps, working under the conditions of waterjet wear, is determined by their chemical composition, heat treatment regime and hence the microstructure and mechanical properties. Tests have been conducted in the laboratory on the bench for research of operating modes of the pumps, and the pumps are tested with impellers made of different materials (cast iron, steel, rubber and polyurethane). According to the research the following conclusion is drawn : the use of polyurethane will improve pump efficiency, this material is easier to be repaired after the wear and improves performance.