

1st International Conference - Reliability and Durability
of Machines and Machinery Systems in Mining
1986 JUNE, 16-18 SZCZYZRK, POLAND

Анатолий Сидорович КУХАРЬ

Горный институт
Кривой Рог, УССР

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ПУТИ
ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ
ДЕТАЛЕЙ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ

Резюме. В докладе рассматриваются результаты анализа работы грунто-
вых насосов в условиях их эксплуатации на горно-обогатительных
комбинатах; на основании большого объема обработки статистического
материала с использованием компьютерной техники получено уравнение
математической модели долговечности деталей грунтовых насосов; ис-
следовано влияние различных факторов на износные характеристики
магнитовластов; разработана новая конструкция и технология изготов-
ления рабочего колеса для транспортирования гидроабразивных смесей
с магнитными свойствами.

1. ВВЕДЕНИЕ

Весьма важным вопросом в процессе эксплуатации любого вида машин и меха-
низмов является обеспечение надежности и долговечности на протяжении дли-
тельного времени их использования. Повышение эксплуатационной долговечности
деталей грунтовых насосов, включенных в технологическую линию обогащения
полезного ископаемого и подверженных интенсивному воздействию высокоабразив-
ных потоков, требует от исследователей особого подхода к решению этой ин-
женерно-технической и научной задачи.

2. ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Надежность грунтового насоса, как свойство выполнять заданные функции в
течение требуемого времени, обуславливается тремя основными показателями:
безотказностью, ремонтпригодностью и долговечностью, которые взаимосвязаны
между собой конструктивным исполнением деталей, их материалом, условиями
эксплуатации и транспортирования соответствующих гидроабразивных смесей.

По мере износа деталей существенно меняются и технико-экономические показатели (снижается подача, КПД и увеличивается расходуемая мощность).

Из-за недостаточной долговечности деталей грунтовых насосов увеличиваются эксплуатационные затраты (большое количество дорогостоящего материала, запчастей, многочисленность рабочих, занятых ремонтом, применение резервных насосов), которые составляют значительную статью расходов, что свидетельствует о больших экономических потерях и тех выгодах, которые можно получить, повысив долговечность насосов.

Как показали проведенные исследования, долговечность грунтовых насосов может быть обеспечена несколькими направлениями, основными из которых являются: во-первых, применение износостойких и недорогих материалов для изготовления быстрознашиваемых деталей; во-вторых, изменением конструкции некоторых деталей; в-третьих, путем упрочнения деталей; в-четвертых, оптимальных согласований режимов работы системы "Насосвнешняя сеть" и другие [1, 2].

Применение различных методов упрочнения деталей путем наплавки рабочих колес, корцусов и внутренних полукорцусов или изготовление их из износостойких сплавов при переработке высокоабразивных сред из-за ударных нагрузок движущихся частиц на изнашивание деталей не дает ожидаемого эффекта. Изыскание и выбор материала, особенно для рабочих колес грунтовых насосов, продолжает представлять собой сложную проблему.

Все отечественные и зарубежные исследования по изысканию материалов с наибольшей стойкостью против гидроабразивного износа и кавитационных разрушений были направлены на выявление зависимости этой стойкости от механических свойств материала, но выявить это пока еще не удалось.

Мы полагаем, что выбор материала для деталей должен производиться на основе комплексной оценки, учитывающей совокупность различных свойств материала и перемещаемой среды.

Такая оценка материала должна учитывать стабильность механических свойств во всем объеме детали независимо от ее формы и неравномерного распределения массы металла, однородность микроструктуры, влияние химических элементов, способы термомеханической обработки [3], а также коррозионно-усталостную прочность и технологичность материала для серийного производства.

Анализируя зависимость факторов, влияющих на долговечность деталей, следует отметить, что одним из существенных критериев, определяющих сопротивляемость материалов износу, является плотность и скорость потока, твердость и предел прочности абразива и материала, крупность твердых частиц, магнитные свойства перемещаемой среды и др.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАСОСОВ

Для определения поведения различных материалов с учетом условий эксплуатации с целью дальнейшего повышения эффективности средств защиты деталей грунтовых насосов от износа, необходимо располагать обширной информацией о

физико-механических и химических свойствах перемещаемой среды. Проводимые испытания износостойкости материалов на лабораторных установках не всегда позволяют получить полную картину износа и дать ответ на вопрос о возможности и целесообразности применения в насосостроении соответствующих материалов. Такое положение требует проведения испытаний в условиях эксплуатации, создание математического моделирования процесса износа.

За исходные данные для расчета модели были приняты результаты испытания различных материалов и сред, в которых они работают.

Наличие корреляции между рассматриваемыми величинами проверялось по значимости коэффициента корреляции и коэффициента надежности с учетом относительной ошибки аппроксимации. При больших отклонениях измеряемых величин от общей выборки их исключали из дальнейшей обработки.

Значение искомой величины скорости износа материала можно представить в виде $I = \sum A_i f_i + B/x + Z$, где f_i - функции от входных параметров; A и B - неизвестные коэффициенты, которые необходимо определить; x - закодированные факторы износа; Z - ошибка, вызванная неточностями измерения и действием неучтенных факторов. Предполагается, что Z является случайной величиной, не зависящей от f_i .

Для получения математической модели скорости износа материала деталей были приняты основные факторы: x_1 - плотность потока; x_2 - крупность абразивных частиц; x_3 - скорость потока; x_4 - концентрация твердого в жидком. Учитывая взаимосвязь между факторами приняли, что $f_0 = I$, $f_1 = x_1 \cdot x_2$; $f_2 = x_1 \cdot x_3$; $f_3 = x_1 \cdot x_4$; $f_4 = x_2 \cdot x_3$; $f_5 = x_2 \cdot x_4$; $f_6 = x_3 \cdot x_4$.

Коэффициенты A и B определялись с помощью метода наименьших квадратов, для чего составлена программа и на ЭВМ выполнен расчет математической модели, устанавливающей взаимосвязь между скоростью износа, свойством и характером перемещаемой среды. Программой был предусмотрен вывод на печать значений коэффициентов корреляции и надежности, величины A и B , а также относительной ошибки аппроксимации.

В общем виде значение I можно записать:

$$I = A_0 + \frac{B_1}{x_1} - \frac{B_2}{x_2} + A_1 x_3 + \frac{B_3}{x_4}.$$

С учетом плотности потока (x_1) - 1000-2800 кг/м³; крупности абразивных частиц в потоке (x_2) - 0,5 - 0,8 мм; скорости потока (x_3) - 1,4 - 6,8 м/с и концентрации твердого в жидком (x_4) - 9-60% математическая модель скорости износа материала имеет вид:

$$I = -1,735 + \frac{8,486}{x_1} - \frac{0,074}{x_2} + 6,149 x_3 + \frac{14,967}{x_4}.$$

Как показывает анализ полученного уравнения, наибольшее влияние на интенсивность износа оказывает скорость и плотность гидроабразивного потока.

Выборочная оценка дисперсии ошибки в полученной формуле составляет 0,1806, средняя квадратичная ошибка скорости износа 0,1228 г/ч, коэффициент корреляции равен 0,989, коэффициент надежности - 0,1595 при относительной ошибке аппроксимации 0,9062.

Используя полученную математическую модель определяли расчет скорости износа чугуна марки ИЧХ2ВН2 для условий, в которых проводились натурные испытания. При расчете учитывали значения факторов по эксплуатации грунтового насоса типа ГрТ 400/40 при следующих значениях переменных уравнения: плотность перемещаемой среды $\rho = 1,3 \text{ т/м}^3$; крупность абразивных частиц $d = 0,08 \text{ мм}$; скорость потока $v = 3,54 \text{ м/с}$ и концентрация твердого в жидком $\theta = 40\%$. Расчетное значение скорости по предложенной формуле составляет 0,26 г/ч, тогда как в условиях эксплуатации - 0,31 г/ч, т.е. результаты, полученные с помощью математической модели и опытным путем весьма близки. Таким образом, можно прогнозировать износостойкость деталей грунтовых и песковых насосов на основании математической модели, которая отражает самые важные факторы, действующие в условиях эксплуатации.

4. МАГНИТОЭЛАСТЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Из большого числа исследуемых материалов с различным химическим составом и физико-механическими свойствами было обращено внимание на некоторые особенности полимеров, смешанных с ферромагнитными частицами.

С целью установления возможности применения магнитоэластов в качестве покрытий для деталей насосов, транспортирующих среды с магнитными свойствами, были проведены экспериментальные исследования. На основании опытов определены общие закономерности гидроабразивного изнашивания.

Основным свойством, характеризующим повышенную износостойкость магнитоэласта при транспортировании сред с магнитными свойствами, является намагниченность, количество и крупность ферромагнитного материала.

От правильного выбора конструктором толщины магнитоэласта, применяемого для покрытия деталей, будет зависеть энергоотдача при гидроабразивном изнашивании и свойство самофутерования. Принимая во внимание, что эластичность зависит от количества и крупности перемещаемой среды, а намагниченность характеризует толщину футерирующего слоя, экспериментально установлено влияние некоторых факторов на износостойкость магнитоэласта при воздействии высокоабразивного потока.

Износивность изнашивания магнитоэласта испытывалась на различной крупности абразивных частиц с учетом их транспортирования в условиях обеспечения технологического процесса на горнообогатительных комбинатах (рис. 1).

Анализ результатов испытаний магнитоэластов в зависимости от транспортируемой крупности твердых частиц показал, что не менее важным фактором, характеризующим высокую работоспособность и футерируемость, является консистенция и крупность наполнителя магнитоэласта. С целью определения влияния таких факторов на износостойкость, были проведены исследования, результаты которых представлены на рис. 2.

Наблюдения за состоянием деталей показали, что все они в первоначальный период имеют равномерный износ, который характеризуется как крупностью ферромагнитных, так и абразивных частиц. С увеличением крупности абразивных частиц износ магнитоэласта с содержанием ферромагнита крупностью свыше 0,5 мм уменьшается и наоборот (рис. 2). Однако при крупности абразивных частиц до 2 мм величина изнашивания практически постоянна и не зависит от содержания ферромагнитных частиц в магнитоэласте. Такое положение дает право заключить, что для подачи мелких фракций более эффективным является применение мелких частиц ферромагнитов, обеспечивающих минимальный износ.

Для установления влияния намагниченности и толщины магнитоэласта приводились испытания на лабораторной установке (рис. 3). Скорость соударения абразивных частиц 15 м/с, угол атаки 25° , крупность частиц 1,0 мм, консистенция 200 г/л. В результате испытаний установлено, что более интенсивно изнашиваются детали, покрытые магнитоэластом толщиной 3 мм, особенно при напряженности 100 Э. Аналогичная картина и для толщин магнитоэластов 4 и 5 мм, однако интенсивность износа несколько меньше для тех же условий с увеличением напряженности магнитоэластов износ уменьшается. Таким образом, для покрытия деталей, как показывает практика, следует применять толщину магнитоэластов 3 мм, что обеспечивает экономию основного материала детали и магнитоэластов.

В зависимости от размера твердых частиц в гидроабразивном потоке в состав магнитоэласта должен входить ферромагнитный материал соответствующей крупности. Так, для гидроабразивной среды с крупностью частиц свыше 5 мм, следует применять ферромагнитный материал различной крупности с расчетом, чтобы внешний ударный импульс был меньше, чем сила сцепления между частями.

5. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ

Наблюдения и проведенные исследования, а также обработка обширного статистического материала показывают, что различные детали грунтовых насосов имеют значительные разбросы величин наработки на отказ. Такое положение приводит к разноресурсным срокам службы деталей и требует от эксплуатационников преждевременной замены насоса в цепи обогащения. Наши предложения и рекомендации позволяют несколько увеличить стойкость к износу отдельных деталей и уменьшить дисперсию величины наработки на отказ.

Для защиты корпусов грунтовых насосов от гидроабразивного изнашивания рекомендуется применять корундирование магнетитовыми частицами. Способ заключается в нанесении на изнашиваемые поверхности методом футерования специальных смесей, состоящих из абразивных порошков и связующего материала. Обычно в качестве связующего порошка используется электрокорунд, а в качестве связки — фенолформальдегидную смолу. Прочность абразивных смесей зависит от связующего материала: для пудрвербакелита — 6,2 МПа, для анилиноформальдегидной смолы — 3,8 МПа, эпоксиэпидной смолы — 1,85 МПа.

Проведенные испытания корпусов насосов, покрытых вместо электрокорундового порошка магнетитовыми частицами, показали удовлетворительные результаты (рис. 4).

Таким образом, весьма важным моментом при футеровании корпусов насосов является знание условий эксплуатации и технологии приготовления абразивного покрытия с учетом крупности транспортируемой среды.

В зависимости от размера твердых частиц в гидроабразивном потоке в составе футеровочной массы должны присутствовать материалы и соответствующей крупности.

Для подачи гидроабразивной смеси с частицами крупностью 1–5 мм необходимо применять массы, содержащую не менее 50% зерен крупностью 3–5 мм и 50% зерен 1–2 мм. Массу готовят с расчета 100 кг, включающей также до 2 кг жидкого бакелита и 1 кг алебаstra или портландцемента.

При транспортировании гидроабразивной смеси крупностью до 1 мм, можно рекомендовать футеровочную массу: 50% зерен крупностью 0,5–1 мм и 50% – 0,1–0,5 мм, 10 кг жидкого бакелита и 1 кг алебаstra.

В зависимости от условий эксплуатации, крупности и консистенции транспортируемой среды целесообразно изменять крупность футеровочной массы.

Долговечность корпуса грунтового насоса футерованного магнетитовыми частицами, повышается в 1,5 раза по сравнению с износостойкими дорогостоящими чугунами, при этом стоимость деталей не изменяется.

Нами разработана и внедрена новая конструкция рабочего колеса [4]. Рабочее колесо отличается из углеродистой стали, а диски и лопасти покрываются магнитовластом (рис. 5). Между передним 1 и задним 2 дисками расположены лопасти 3, на поверхность которых наносится слой магнитовласта 4 (рис. 5а и б), который и образует с твердыми абразивными частицами защитный самофутерующий слой 5. При транспортировании абразивных гидросмесей с магнитными свойствами, например, минерала магнетита, твердые частицы за счет магнитных сил образуют на внешней поверхности дисков и лопастей, защитный слой 5, который и предохраняет поверхность от абразивного износа.

Применение магнитовластов позволяет повысить долговечность грунтовых насосов в 1,7 раза, сократить число ремонтов и уменьшить в 2,5 раза расход дорогостоящих материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кухарь А.С., Зимокос Г.Н.: Пути повышения надежности и долговечности насосов. Сб. ЦНИИТЭИТяжмаш, № 2–82–20, М., 1982, стр. 29.
- [2] Кухарь А.С., Савицкий В.Е.: Гидроабразивный износ пульпопроводов и его влияние на режим работы грунтовых насосов. Тезисы докл. научно-практ. конференции "Опыт и основные достижения технологии трубопроводного транспорта", Свердловск, 1984, стр. 22–23.
- [3] Harvey R.: Metal Treatment Drop Forging, 1961, 28, N143, p. 421.

[4] Кухарь А.С., Мецераков В.Г., Тимофеевко А.Ф. и др.: Рабочее колесо насоса для перекачивания абразивных гидросмесей с магнитными свойствами. - А.С. 1121504. Бюлл. изобр. № 40, 1984.

Recenzent: Doc. dr inż. Jan DEBIEC

Wpłynęło do Reakcji: marzec 1986 r.

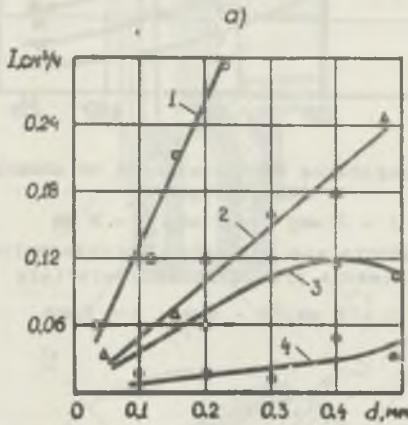


Рис. 1. Зависимость интенсивности изнашивания материалов от крупности абразивных частиц

1 - сталь Ст.3; 2 - чугун НЧХ28Н3; 3 - резина СКС - 30; 4 - магнитоэласт
 Rys. 1. Zależność intensywności zużycia się materiałów od wielkości cząstek ściernych

1 - stal St.3; 2 - żeliwo NCz H28N3; 3 - guma SKS-30; 4 - polimer z dodatkiem cząstek ferromagnetycznych

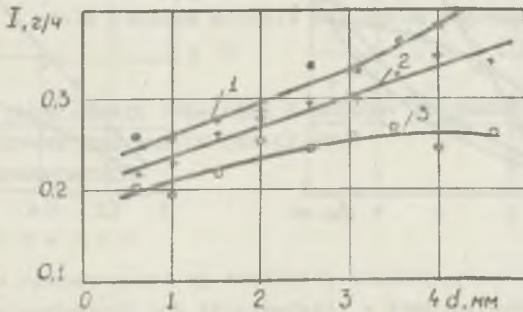


Рис. 2. Зависимость изнашивания магнитоэластов от содержания ферромагнитных частиц размером

1 - 0,1 мм; 2 - 0,3 мм; 3 - 0,6 мм

Rys. 2. Zależność zużycia się polimerów ferromagnetycznych od zawartości cząstek ferromagnetycznych o wymiarach:

1 - 0,1 mm; 2 - 0,3 mm; 3 - 0,6 mm

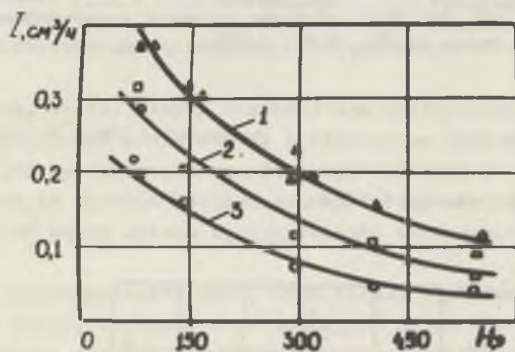


Рис. 3. Зависимость изнашивания магнитовластов от намагниченности при толщине материала

1 - 3 мм; 2 - 4 мм; 3 - 5 мм

Rys. 3. Zależność zużycia się polimerów ferromagnetycznych od namagnesowania przy grubości materiału

1 - 3 mm, 2 - 4 mm; 3 - 5 mm

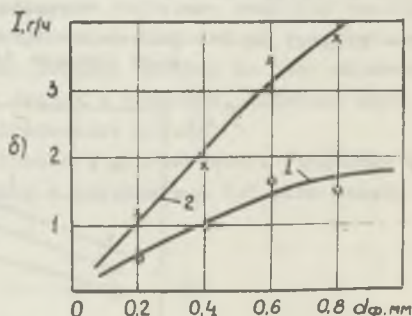
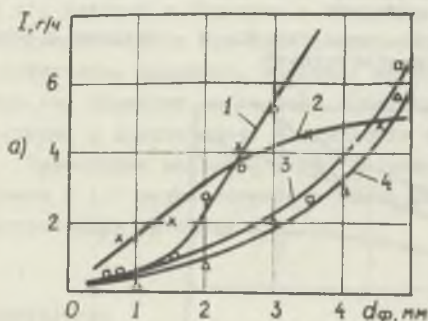


Рис. 4. Зависимость изнашивания корпусов грунтовых насосов от крупности фугерующей массы d_ϕ и крупности перемещаемой среды d_c

1 и 2 - $d_c = 0,5$ и 3 мм; 3 - магнетитовый материал; 4 - электрокорунд

Rys. 4. Zależność zużycia się корпусów pomp do zawieszin erodujących od wielkości masy wykładziny d_ϕ i granulacji przemieszczanego materiału d_c

1 i 2 - $d_c = 0,5$ i 3 mm; 3 - materiał magnetytowy, 4 - elektrokorund

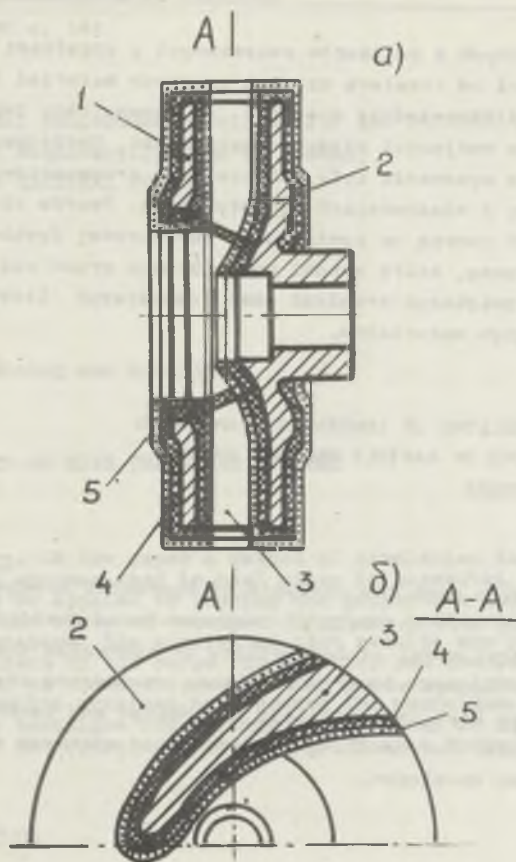


Рис. 5. Рабочее колесо, покрытое магнитовластом

Rys. 5. Koło robocze pokryte polimerem ferromagnetycznym

MATEMATYCZNE MODELOWANIE TRWAŁOŚCI I SPOSOBY ZWIĘKSZENIA
 CZASU PRACY SZYBKO ZUŻYWANYCH DETALI POMP
 DO ZAWIESIN ERODUJĄCYCH

S t r e s z c z e n i e

W artykule rozpatrywane są rezultaty analizy pracy pomp do zawieszin erodujących w warunkach ich eksploatacji w kombinatach górniczo-wz bogacających. Opierając się na dużym zakresie materiału statystycznego z wykorzystaniem techniki komputerowej otrzymano równanie modelu matematycznego trwałości detali pomp. Jak pokazuje analiza otrzymanego równania, największy wpływ na intensywność zużycia mają prędkość i gęstość ściernego wodnego strumienia. Badano wpływ różnych czynników na charakterystyki zużycia

materiałów wykonanych z polimerów zmieszanych z cząstkami ferromagnetycznymi. W zależności od rozmiaru cząstek twardych materiał ferromagnetyczny powinien posiadać odpowiednią wielkość, aby zewnętrzny impuls uderowy był mniejszy niż siła spójności między cząsteczkami. Opracowano nową konstrukcję i technologię wykonania koła roboczego do transportowania ściernalnej wodnej mieszanki o własnościach magnetycznych. Twarde cząsteczki kosztem sił magnetycznych tworzą na powierzchni zewnętrznej dysków (tarcz) i łopatek warstwę ochronną, która chroni powierzchnię przed zużyciem na ściernie. Pozwala to zwiększyć trwałość pomp, zmniejszyć liczbę remontów i wykorzystanie drogich materiałów.

MATHEMATICAL MODELLING OF LONGEVITY AND WAYS
OF INCREASING LIFE OF RAPIDLY WEARING PARTS
IN HYDRAULIC DREDGES

S u m m a r y

This paper deals with the analysis of hydraulic dredge operation under field conditions; with the help of computer-based statistical data processing a mathematical model of longevity of hydraulic dredge parts has been obtained; the influence of various factors on wearing characteristics of magnetoelasts has been investigated; the design and technology of manufacturing an impeller for handling hydroabrasive mixtures with magnetic properties have been developed.