

Е.П. Терехин, И.С. Булгаков

РАЗВИТИЕ ГИДРОТРАНСПОРТА МЕЛО-ГЛИНИСТОГО ШЛАМА ДЛЯ МОКРОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА

Аннотация. При транспортировании высококонцентрированных гидросмесей значительно расширяется область использования насосов объемного типа, параметры которых удовлетворяют условиям эксплуатации в системах гидравлического транспорта. В ОАО «НИИКМА» была разработана и испытана на стенде конструкция разделительного устройства для поршневых насосов, повышающих ресурс работы цилиндро-поршневой группы серийных буровых насосов до капитального ремонта в 2,5—3 раза, а длительность безостановочной работы (наработку на отказ) — в 8—10 раз. Переход от центробежных насосов к более эффективным поршневым с разделительными устройствами для транспортирования мело-глинистой суспензии при мокром способе производства цемента на ЗАО «Осколцемент» позволит снизить эксплуатационные затраты более чем в 2 раза.

Ключевые слова: гидротранспорт мело-глинистого шлама, поршневые насосы, разделительные устройства.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-163-168

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что для тяжелых условий эксплуатации (перекачка на большие расстояния высококонцентрированных шламов мела, глины, нагнетание глинистых растворов в скважины при бурении и пр.) наиболее пригодны поршневые насосы. Однако применение их для перекачки высококонцентрированных шламов сдерживается из-за большого абразивного износа цилиндро-поршневой группы.

В мировой практике известны поршневые насосы «ХСП» германской фирмы «Путцмайстер» и насосы «Марс» японской фирмы «Мицубиси», мембранно-поршневые насосы голландской фирмы «Гехо» и германской фирмы «Вирт». Шламовые насосы фирмы «Путцмайстер» для перекачки сред с высоким содержанием твердого состоят главным образом из двух гидравлических цилиндров, двух подающих цилиндров, а также рас-

пределительной головки с тарельчатыми клапанами с гидравлическим приводом. Фирма «Путцмайстер» специально применяет крупные элементы в подающей системе (большие диаметры подающих цилиндров и клапанов с большим ходом) с целью снижения скорости материала, а также минимизации износа поршней, гильз цилиндров, клапанных седел и тарелок. В случае работы с абразивными пульпами может применяться керамика для повышения износостойкости и сопротивления к коррозионному истиранию.

Другим направлением борьбы с износом является изоляция цилиндров от перекачиваемой абразивной жидкости с помощью устройств, расположенных между цилиндрами и клапанами.

В насосах «Марс» в разделительных устройствах рабочей жидкостью, передающей энергию от поршня к перекачиваемой жидкости, является масло, ко-

торым заполнены цилиндры и верхняя часть разделительных камер. Проникновение абразивных частиц в цилиндры предотвращается благодаря разности удельных весов и несмешиваемости масла и жидкости. Такие насосы с «жидким поршнем» достаточно надежны, однако использование в качестве промежуточной среды минерального масла может оказаться недопустимым для технологической обработки некоторых материалов [1].

В насосах «Гехо» и «Вирт» защита цилиндров от абразивных частиц осуществляется резиновыми мембранами, расположенными в разделительных камерах. Срок службы клапанов, работающих в абразивной среде, не превышает 2000 часов, гарантированный срок службы насосов — 5–8 лет. Эти насосы широко применяются в стационарных условиях при перекачке абразивных гидросмесей рудных концентратов, различных шламов и отходов обогащения на большие расстояния.

В ОАО «НИИКМА» была разработана и испытана на стенде конструкция разделительного устройства [2] (авторские свидетельства № 775879 и № 1543916, патент РФ № 2079710), отличающаяся простотой и небольшими размерами. Устройство [3] выполнено в виде приставки к гидрокоробке буровых поршневых насосов и состоит из вертикальных цилиндрических камер с разделителями специальной конструкции, размещенных между цилиндрами насоса и клапанами. Функцию жидкого поршня, передающего энергию поршня насоса шламу через разделитель, выполняет чистая вода или водомасляная эмульсия, которой заполнены цилиндры насоса, верхние части камер и разделители. При применении воды в качестве рабочей жидкости диаметр разделительных камер равен 1,5 диаметра цилиндра поршневого насоса, а высота камер составляет

3–4 длины хода поршня. Использование предлагаемого устройства позволяет увеличить ресурс работы цилиндро-поршневой группы серийных буровых насосов до капитального ремонта в 2,5–3 раза, а длительность безостановочной работы (наработку на отказ) — в 8–10 раз.

Предварительные стендовые испытания насосного оборудования показали его эффективность при работе с тяжелыми суспензиями. Их результаты могут оказать помощь при проектировании систем магистрального гидротранспорта с применением поршневых насосов и разделительных устройств.

Высоконасыщенные гидросмеси по трубопроводам транспортируются на всех цементно-горных предприятиях, работающих по мокрому способу производства. На крупных заводах, работающих по мокрому способу производства, наряду с внутривзаводскими системами, гидротранспорт применяется для транспортирования сырья от горного участка карьера на завод [4]. По трубопроводам с карьеров до заводов транспортируются как отдельные компоненты гидросмеси, так и цементное сырье.

В зависимости от средней скорости потока, существует четыре принципиально различных режимов движения гидросмесей [5–7]: режим стационарного слоя (с неподвижным слоем заиления); режим сальтации (с подвижным слоем заиления); гетерогенный режим (гетерогенное течение); гомогенный режим (гомогенное течение с равномерным распределением твердой фазы по сечению потока гидросмеси). После одностадийного измельчения мелкодисперсные гидросмеси как правило образуют твердые частицы [8]. Эти гидросмеси статически и динамически нестабильны и при влажности 70% движутся в гомогенном режиме, а при увеличении концентрации твердого — в гетерогенном режиме.

Известно [12], что транспортирование гидросмесей с высоким содержанием твердого материала неизбежно приводит к некоторому увеличению потерь напора и в большинстве случаев применение широко используемых грунтовых насосов становится неэффективным. Это объясняется недостаточностью создаваемого ими давления нагнетания и зависимостью рабочих характеристик этих насосов от параметров гидросмеси, в результате чего центробежные насосы работают в системах гидротранспорта с изменяющимися расходами и напорами. При транспортировании высококонцентрированных гидросмесей значительно расширяется область использования насосов объемного типа, параметры которых удовлетворяют условиям эксплуатации в системах гидравлического транспорта.

Одной из актуальных проблем для горной промышленности является переход на транспортирование гидросмесей с высокими концентрациями твердой фазы, так как при этом повышается эффективность гидротранспортных комплексов за счет снижения энергопотребления, удельной энергоемкости и металлоемкости процесса.

При мокром способе производства цемента на ЗАО «Осколцемент» измельченные мел и глину распускают в воде, после чего перекачивают шлам влажностью 38% посредством центробежных насосов 12У10-М (аналог углесоса У900-90[9]) из шламбассейна до завода по трубопроводам диаметром 400 мм. Для перехода от центробежных насосов к более эффективным поршневым можно использовать серийный УБН-600, оборудовав его разделительным устройством. Буровой поршневой насос УБН-600, выпускаемый Уралмашем, имеет производительность 180 м³/ч, КПД 80% и создает давление 10 МПа (100 кг/см²). Использование насосов УБН-600 на пер-

вом этапе может производиться без изменения конструкции гидрокоробки. Простая модернизация возможна в условиях ремонтных заводов или мастерских и включает в себя изготовление разделительного устройства в виде приставки, прифланцеванной к гидрокоробке с заглушенными всасывающими и удаленными нагнетательными клапанами. Испытание и опытную эксплуатацию целесообразно осуществить путем перекачки шлама модернизированным насосом по резервному трубопроводу от горного цеха до завода.

Расчет гидравлических систем производят из условия совместной работы насоса и трубопровода, как правило по методикам, согласно которых полученные на воде характеристики грунтовых насосов пересчитываются на гидросмесь различной консистенции с учетом абразивного износа проточной части насоса и трубопровода.

При гидротранспортировании вскрышных пород карьеров было отмечено, что гидравлические сопротивления в стальных трубопроводах вследствие шлифовки их внутренних поверхностей частицами породы близки к сопротивлениям в гидравлически гладких трубах. Это в том случае, если пульпопроводы смонтированы из новых стальных труб. Зачастую для перекачки вскрышных пород используются бывшие в употреблении трубы с водопроводных магистралей, однако при гидравлическом транспорте эти трубы не отшлифовываются до гидравлически гладких, и при движении в них чистой воды их следует рассчитывать как шероховатые трубы.

Оптимизация совместной работы насоса и трубопровода производится по критерию оптимальности удельных энергозатрат для данной гидротранспортной системы в зависимости консистенции и расхода гидросмеси. Одновременно должно быть выдержано условие устой-

чивой работы системы без опасности закупорки трубопровода.

Руководство по определению гидроабразивного износа и сроков службы насосов и напорных пульпопроводов, разработанное Институтом горной механики им. Г.А. Цулукидзе Академии наук Грузинской ССР на основе большого эмпирического материала, остается до настоящего времени актуальным при проведении инженерных расчетов, в отличие от современных сложных методик. Руководство не распространяется на трубопроводы, по которым транспортируются пульпы, содержащие только тонкодисперсные классы твердых материалов, образующих структурированные жидкости, а также на режим работы со слоем заиливания твердых материалов в нижней части сечения трубы. Не изменились и рекомендуемые методы повышения сроков службы гидротранспортных систем:

- выбор оптимальных режимов транспортирования пульпы;
- выбор износостойких материалов;
- контроль состояния оборудования и своевременное проведение ремонтно-профилактических работ;
- усовершенствование конструкции насосов и фасонных частей трубопроводов, а так же запорно-регулирующей арматуры с целью ликвидации мест повышенного износа;
- разработка принципиально новых конструкций рабочих машин (например, поршневых насосов, питателей различных конструкций и т.д.) повышенной долговечности.

Параметры модернизированного насоса позволяют перекачивать шлам с влажностью 35% без промежуточной насосной станции. Расчет потерь напора произведен на основании исследований [10, 11] и данных по растекаемости шлама, выполненных исследовательской группой ЦЗЛ АО «Осколцемент», в соответствии с которыми при снижении влаж-

ности шлама с 38% до 35% потери напора увеличиваются для низкого титра с 5,8% до 13,9% (в 2,4 раза), а для высокого титра – с 5,1 до 12% (в 2,35 раза). Следовательно, при перекачке шлама с влажностью 35% на расстояние 5 км потребуется напор около 700 м.в.с. (7 МПа или 70 кг/см²). Предлагаемый насос обеспечивает напор 1000 м.в.с. (10 МПа или 100 кг/см²), то есть имеется запас напора 30%, что обеспечит при имеющейся жесткой характеристике насоса высокую надежность работы системы гидротранспорта. В дальнейшем для обеспечения полной потребности завода в шламе необходимо будет включить в параллельную работу на тот же трубопровод несколько насосов УБН-600 или модернизировать более мощный насос УНБ-1180 производительностью 500 м³/ч.

В настоящее время глина для приготовления шлама в горном цехе доставляется автотранспортом из Монаковского месторождения, расположенного в 14 км от предприятия. В случае установки дробилок и фрезерно-струйных мельниц непосредственно на месторождении глины, поршневые насосы могут быть также весьма перспективны для перекачки глинистой суспензии до горного цеха предприятия.

В соответствие с проведенным анализом для условий ЗАО «Осколцемент» целесообразна следующая технологическая схема: разработка глины в карьере одноковшовым экскаватором и транспортирование автосамосвалами до карьерного пункта шлагоприготовления; дробление и измельчение во фрезерно-струйных мельницах ФСМ с применением низконапорных шламовых насосов; транспортирование глинистой суспензии из карьерного шлагбассейна поршневыми насосами по шлагопроводу в накопительные бассейны шлагоприготовительного отделения цементного завода.

По сравнению с насосами с трубным загрузочным аппаратом применение поршневых насосов позволяет снизить влажность глинистой суспензии с 55 до 45%, что уменьшает объем перекачиваемой суспензии на 34% и воды на 60%. Кроме того это дает возможность применения трубопроводов диаметром 450 мм вместо 500 мм и 325 мм вместо 402 мм для воды, а также снижения энергозатрат на 10%. Применение поршневых насосов существенно увеличивает надежность работы системы гидротранспорта в целом, так как поршневые насосы имеют более жесткую рабочую характеристику.

Для определения эффективности применения гидравлического транспорта с использованием поршневых насосов для транспортирования мело-глинистой суспензии вместо центробежных насосов (углесосов) и глинистой суспензии с перспективного Монаковского месторождения были выполнены укрупненные сравнительные расчеты по общепринятым методикам. Укрупненное технико-экономическое сравнение показало, что гидротранспорт с поршневыми насосами имеет значительные преимущества по сравнению с углесосами и автотранспортом, снижая эксплуатационные затраты более чем в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юнисов Р. М. Исследование и обоснование рабочих характеристик пульповых гидроприводных насосных агрегатов (ГНПА) для магистрального гидротранспорта: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: МГИ, 1984. — 24 с.
2. Терехин Е. П., Булгаков И. С., Чертова Е. П. Совершенствование оборудования по пульпоприготовлению, гидротранспорту и складированию хвостов обогащения железистых кварцитов на горнорудных предприятиях КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 6. — С. 99–105.
3. Терехин Е. П., Булгаков И. С. Совершенствование насосного оборудования для гидротранспорта железорудного концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 1. — С. 160–163.
4. Турабелидзе В. Г. Исследование режимов работы гидротранспортных систем, подающих структурированные гидросмеси, с целью повышения их эффективности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Тбилиси: Инст. горной механики акад. наук Груз. ССР, 1985. — 24 с.
5. Zhou L. Sediment transport. Aalborg University, 2001. — 71 p.
6. Baha P. E., Abulnaga P. E. Slurry system handbook. McGraw-Hill, 2002. — 800 p.
7. Thomas D. G. Transport characteristics of suspensions: // A.I.Ch.E. Journal 8, 1962. pp. 373–378.
8. Воробьев А. С. Снижение энергозатрат трубопроводной системы при перекачке густенных гидросмесей хвостов обогащения полиметаллических руд на закладочные комплексы. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: НМСУ «Горный», 2015. — 24 с.
9. Офенгенден Н. Е., Джваршеишвили А. Г. Технология гидродобычи и гидротранспортирования угля. — М.: Недра, 1980. — 204 с.
10. Семененко Е. В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей. — Киев: Наукова думка, 2011. 232 с.
11. Семененко Е. В., Никифорова Н. А., Татарко Л. Г. Расчет параметров гидротранспорта при существенном различии плотности транспортируемых частиц // Вісник Дніпр. універ. Серія «Механіка». — 2013. — Вип. 17. — Т. 1. — С. 105–112.
12. Александров В. И. Снижение энергоемкости гидравлического транспортирования гидросмесей при высоких концентрациях твердой фазы. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — СПб.: ГГИ, 2000. — 50 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Терехин Евгений Петрович¹ — кандидат технических наук, старший преподаватель, e-mail: 451222@sf-misis.ru,

Булгаков Иван Семенович¹ — кандидат технических наук, доцент;

¹ СТИ НИТУ «МИСиС».

Development of hydrotransport for chalk-and-clay slurry in wet process of cement manufacture

Teryekhin E.P.¹, Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer, e-mail: 451222@sf-misis.ru,

Bulgakov I.S.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov,
National University of Science and Technology «MISIS» branch,
309530, Stary Oskol, Russia.

Abstract. Transport of high-concentration hydromixtures extensively uses displacement pumps as their parameters meet service conditions in the hydraulic transport systems. NIIKMA plant has designed and tested a separation device for the displacement pumps, which expand the overhaul life of the cylinder-and-piston group in series-production mud pumps 2.5–3 times and the non-stop operation time (mean time between failures) 8–10 times. Transition from centrifugal pumps to more effective displacement pumps with the separation devices in the transport of chalk-and-clay slurry in the wet process of cement manufacture at Oskolcement works will reduce operating cost by more than 2 times.

Key words: chalk-and-clay slurry hydrotransport, displacement pumps, separation devices.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-163-168

REFERENCES

1. Yunisov R. M. *Issledovanie i obosnovanie rabochikh kharakteristik pul'povykh gidroprivodnykh nasosnykh agregatov (GNPA) dlya magistral'nogo gidrotransporta* [Research and substantiation of process parameters of hydraulic slurry pump units for main hydrotransport pipes], Candidate's thesis, Moscow, MGI, 1984, 24 p.
2. Terekhin E. P., Bulgakov I. S., Chertova E. P. *Sovershenstvovanie oborudovaniya po pul'poprigotovleniyu, gidrotransportu i skladirovaniyu khvostov obogashcheniya zhelezistykh kvartsitov na gornorudnykh predpriyatiyakh KMA* [Upgrading of equipment for slurry preparation, hydrotransport and storage in ferruginous quartzite processing at KMA mines]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 6, pp. 99–105. [In Russ].
3. Terekhin E. P., Bulgakov I. S. *Sovershenstvovanie nasosnogo oborudovaniya dlya gidrotransporta zhelezorudnogo kontsentrata* [Upgrading of pumping equipment for iron ore concentrate hydrotransport]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 1, pp. 160–163. [In Russ].
4. Turabelidze V. G. *Issledovanie rezhimov raboty gidrotransportnykh sistem, podayushchikh strukturirovannye gidrosmesi, s tsel'yu povysheniya ikh effektivnosti* [Analysis of operating modes of hydrotransport systems for structure hydromixtures towards performance efficiency improvement], Candidate's thesis, Tbilisi, Inst. gornoy mekhaniki akad. nauk Gruz. SSR, 1985, 24 p.
5. Zhou L. *Sediment transport*. Aalborg University, 2001. 71 p.
6. Baha P. E., Abulnaga P. E. *Slurry system handbook*. McGraw-Hill, 2002. 800 p.
7. Thomas D. G. *Transport characteristics of suspensions*. *A.I.Ch.E. Journal* 8, 1962, pp. 373–378.
8. Vorob'ev A. S. *Snizhenie energozatrat truboprovodnoy sistemy pri perekachke sgushchennykh gidrosmesey khvostov obogashcheniya polimetallicheskikh rud na zakladochnye komplekсы* [Reduction of pipeline power consumption in pumping of thickened hydromixtures of complex ore tailings to backfill plants], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, NMSU «Gornyy», 2015, 24 p.
9. Ofengenden N. E., Dzharvashchivili A. G. *Tekhnologiya gidrodobychi i gidrotransportirovaniya uglja* [Coal hydromining and hydrotransport technology], Moscow, Nedra, 1980, 204 p.
10. Semenenko E. V. *Nauchnye osnovy tekhnologii gidromekhanizatsii otkrytoy razrabotki titan-sirkonovykh rossyepye* [Scientific framework for hydromechanization technology for mining titanium–zircon placers by open pit method], Kiev, Naukova dumka, 2011, 232 p.
11. Semenenko E. V., Nikiforova N. A., Tatarko L. G. *Raschet parametrov gidrotransporta pri sushchestvennom razlichii plotnosti transportiruemykh chastits* [Hydrotransport design for particles of considerable different density]. *Вісник Дніпр. універ. Серія «Механіка»*. 2013. Вип. 17, vol. 1, pp. 105–112.
12. Aleksandrov V. I. *Snizhenie energoemkosti gidravlicheskogo transportirovaniya gidrosmesey pri vysokikh kontsentratsiyakh tverdogo fazy* [Decrease in energy content of hydraulic transport for hydromixtures with high concentration of solid phase], Doctor's thesis, Saint-Petersburg, GGI, 2000, 50 p.