

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

*С.М. Ванев, А.А. Евтушенко, С.В. Сапожников, В.А. Соляник
Сумский государственный университет, г. Сумы*

В статье проведен анализ причин малого ресурса работы насосов технологических линий Ковдорского горно-обогательного комбината, разработаны рекомендации по согласованию режимных параметров гидравлических сетей и насосов, мероприятия по увеличению межремонтного ресурса работы, а также снижению энергетических затрат и затрат на технологическое обслуживание и ремонт насосов.

ВВЕДЕНИЕ

В технологических схемах обогащения руд на горно-обогажительных комбинатах (ГОКах) насосы являются одним из основных элементов системы гидротранспортирования. От их надежности работы и ресурса службы в большой степени зависит не только функционирование оборудования, работающего в технологической цепочке, но и количество и качество получаемого продукта [1, 2].

Возможность снижения энергетических и материальных затрат при гидравлическом транспортировании продуктов обогащения рудных материалов является важнейшей задачей горнодобывающей отрасли, так как эта статья расходов средств - одна из самых высоких среди экономических затрат горных предприятий.

Основным типом насосов, установленным на технологических линиях горно-металлургических предприятий и составляющим свыше 90% насосного парка, являются центробежные насосы, причем грунтовые и песковые насосы применяются наиболее часто [3].

По статистическим данным на 32 предприятиях черной металлургии бывшего СССР использовалось 85 типоразмеров различных видов насосов, из них грунтовые насосы составляли 72,8 %, песковые - 12,5 % от общего количества насосного парка. Насосы химические, шламовые, фекальные, типа Д, секционные и другие составляли 14,7 %.

Подобная "картина" характерна и для ОАО "Ковдорский ГОК", где используется 255 грунтовых и 16 песковых насосов 13 типоразмеров. Средняя наработка на отказ насосов составляет 690-1880 часов.

В статье представлены результаты научно-исследовательской работы, выполняемой по контракту № 80.13.68.06 между Сумским государственным университетом, Украина, г. Сумы и ОАО "Ковдорский ГОК", Россия, г. Ковдор, по повышению энергоэффективности гидротранспортных систем в технологических линиях обогащения рудных материалов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Поскольку насосное оборудование является дорогостоящим и энергоемким, то повышение его межремонтного ресурса и снижение энергопотребления является актуальной задачей.

Поэтому необходимо провести анализ причин малого ресурса работы пульповых насосов технологических линий Ковдорского ГОКа, разработать рекомендации по согласованию режимных параметров гидравлических сетей и насосов, мероприятия по увеличению межремонтного ресурса работы, а также снижению энергозатрат и затрат на технологическое обслуживание и ремонт насосов.

ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА

Одной из особенностей динамических центробежных насосов является то, что их режим работы по подаче и напору определяется гидравлическим сопротивлением сети, в составе которой они работают, и физико-химическими свойствами перекачиваемой среды, поэтому анализировать работу гидротранспортной системы нужно только в комплексе со всем и оборудованием, ее составляющим, и во взаимосвязи.

Эффективность и ресурс работы гидротранспортной системы зависят от расходно-напорных характеристик входящего в нее оборудования (приемных зумпфов, задвижек, трубопроводов, гидроциклонов) и насоса.

Как показывает практика, самым существенным фактором, вызывающим повышенный износ проточной части насоса и оборудования гидросистемы, а также излишние затраты электроэнергии, является несогласованность режимов работы насоса и остальных элементов гидросистем по производительности и напору (рис. 1).

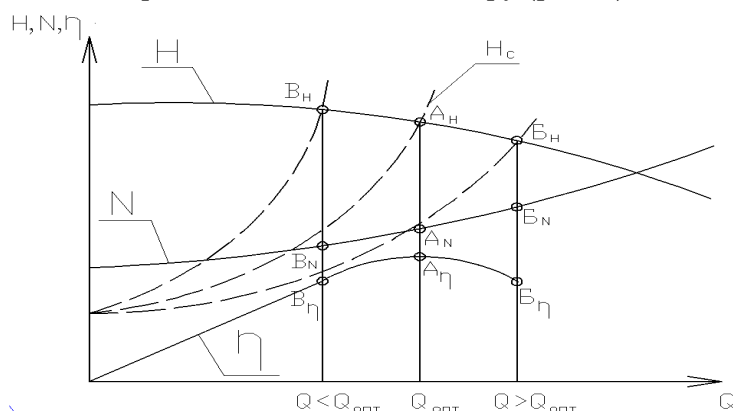


Рисунок 1 – Возможные варианты совместной работы насоса и гидросистемы: Q – подача насоса; H – напорная характеристика насоса; H_C – характеристика сети; N – мощность, потребляемая насосом; η – КПД насоса

Опыт обследования некоторых горно-обогатительных комбинатов показывает, что большинство из них строились в 50-70-х годах и более чем в 90% случаев при проектировании гидротрасс ГОКов насосное оборудование выбиралось с "запасом" по напору. При эксплуатации это приводит к таким негативным факторам:

- установленные по этим техническим требованиям насосы работают в режиме с подачами $Q > Q_{\text{опт}}$, т.е. в так называемом режиме перегрузки (рис.1 точка B);
- резким колебаниям уровня пульпы в зумпфе и захвату воздуха насосом;
- завышенному расходу электроэнергии;
- интенсивному износу и снижению ресурса работы узлов и деталей насоса.

Также недопустима работа насоса в гидросети в режимах "недогруза", когда подача насоса составляет $Q < 0,7Q_{\text{опт}}$ и рабочая точка (B) находится далеко в левой части характеристики.

При отклонении рабочего режима от точки оптимальной нагрузки насоса снижается КПД насоса. Это приводит к росту затрат электроэнергии на транспортирование гидросмеси. Следует иметь в виду, что электродвигатель для насоса подбирается так, чтобы его номинальные параметры соответствовали оптимальным параметрам электродвигателя. Таким образом, при работе насоса в неоптимальном режиме электродвигатель также эксплуатируется не в оптимальном режиме, что

приводит к уменьшению его КПД и коэффициента мощности и вызывает дополнительные потери электроэнергии в электродвигателе и элементах электроснабжения.

При работе на гидросмеси характеристики насоса и системы могут существенно отличаться от паспортных характеристик, получаемых на воде. Для анализа работы гидротранспортной системы необходимо произвести пересчет характеристик насоса с воды на гидросмесь и расчет потерь напора в гидротрассе проводить с учетом плотности гидросмеси, плотности твердых частиц, объемной (или массовой) концентрации твердых частиц в гидросмеси, гранулометрического состава [4, 5].

Игнорирование этих факторов на практике приводит к несогласованным режимам работы насоса и гидротранспортной системы, а требуемые технологические подачи обеспечиваются ухудшением условий работы насосов.

На рис. 2 показано отличие характеристик грунтового насоса и гидросистемы при работе на чистой воде и пульпе.

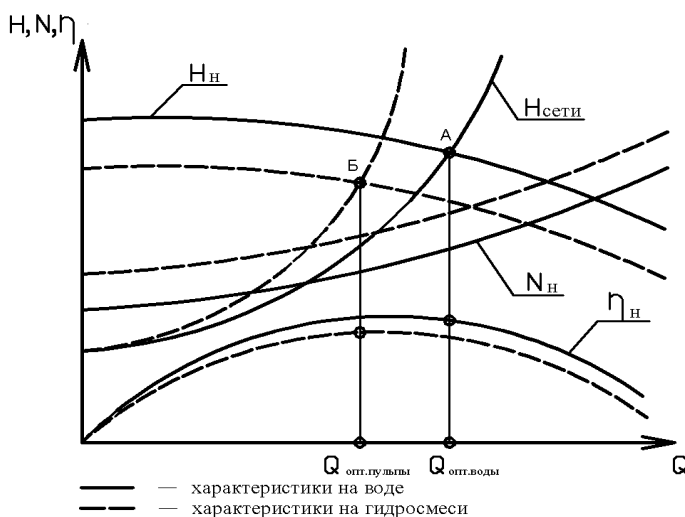


Рисунок 2 – Режимы работы насоса при работе на гидросистему на воде и гидросмеси: А, Б – рабочие точки системы на чистой воде и гидросмеси соответственно

При несоответствии параметров насосной установки и сети трубопроводов создается режим работы, при котором или не обеспечивается подача необходимого объема гидросмеси к потребителю, или она происходит с повышенными потерями электроэнергии.

Одной из особенностей технологических процессов обогащения рудных материалов является классификация в гидроциклонах. Работа этого типа оборудования, качество разделения продукта, процентное содержание частиц требуемого размера в сливе тесно взаимосвязаны с режимом работы насоса. Согласование режимов работы системы "насос-гидроциклон" при неизменных остальных параметрах гидротрассы можно производить также подбором диаметров сливного и пескового патрубков. Изменение геометрии входной насадки в условиях ремонтных служб ГОКа, как правило, связано с большими трудностями.

Для качественного разделения технологического продукта гидроциклоном, как показывает опыт, необходимо обеспечить перед ним постоянное давление в пределах 0,08 - 0,11 МПа и стабильный расход по питанию в зависимости от типа гидроциклона [2]. На практике чаще всего технологические режимы обогащения носят нестабильный,

нестационарный процесс по подачам, что существенно затрудняет решение задачи оптимизации гидротранспортных систем.

Как уже отмечалось, насосы гидротранспортных систем подвержены интенсивному воздействию абразивных частиц в потоке и, следовательно, износу.

Опытные данные, полученные при испытаниях, центробежных насосов на гидросмеськах показывают, что зона рабочих режимов работы насосов, при которых износ элементов проточной части (рабочего колеса и отвода) минимален, расположена ниже значений оптимальной подачи [6]. По данным исследований, эта зависимость имеет вид, показанный на рис. 3.

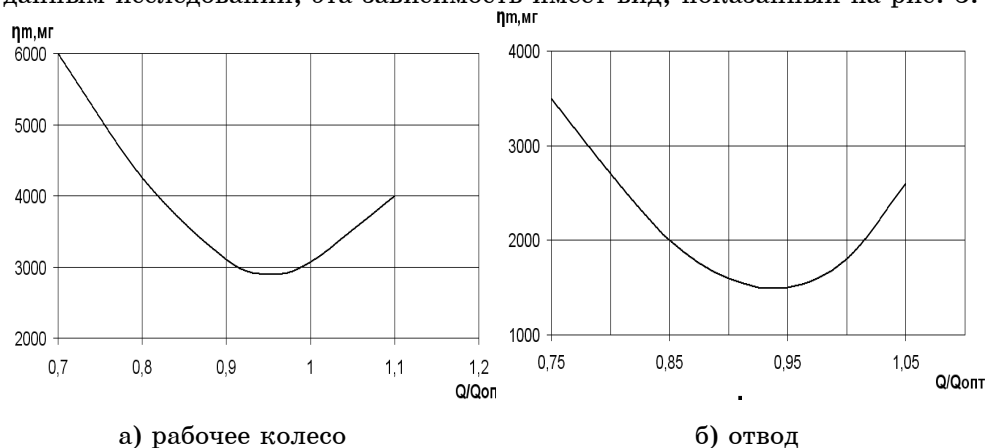


Рисунок 3 – Зависимость износа рабочего колеса и отвода грунтового насоса от подачи: η_m – массовый износ, мг; Q_{opt} – паспортная подача насоса в номинальном режиме

Интенсивный износ проточной части насосов при работе на неоптимальных режимах объясняется появлением вторичных вихревых зон, изменением углов атаки и скорости удара твердых частиц. Скорости вращения потока во вторичных вихрях (и увлекаемых абразивных частиц) существенно выше скорости протекающего основного потока, что обуславливает неравномерность износа и появление зон сквозного износа. Характерный износ рабочего колеса грунтового насоса показан на рис. 4.

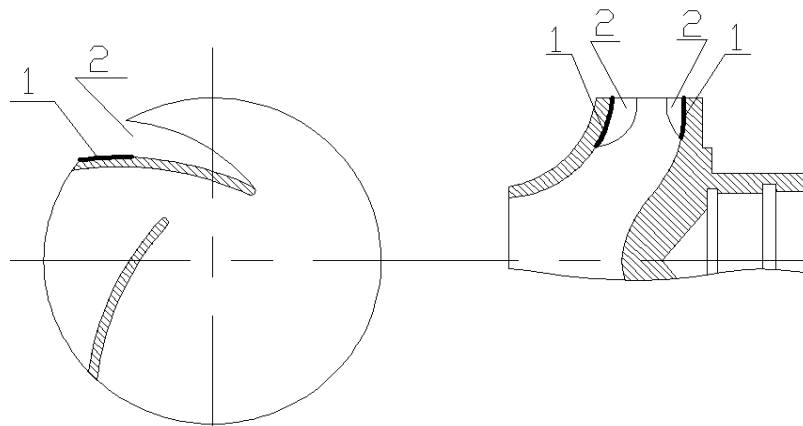


Рисунок 4 – Распределение износа в рабочем колесе: 1 – общий износ; 2 – места сквозного износа

Практика эксплуатации грунтовых насосов на Норильском горно-металлургическом комбинате, ГОКах объединения "Енисейзолото" и др. показывает, что насосы, работающие в режиме 10-15% недогруза до

оптимальной подачи, имеют наибольший ресурс проточной части. В среднем это увеличение составляет 1,1-1,4 раза.

Аналогичные рекомендации предложены научно-исследовательскими организациями ВНИИГидромаш (г. Москва) и СКБ "Механобр" (г. Санкт-Петербург), которые были получены на практике при техническом перевооружении насосных парков ряда ГОКов и ГМК в конце 80-х - начале 90-х годов.

Оптимизация режимов работы рассматриваемых систем усложняется необходимостью правильного поддержания режимов транспортирования продуктов по скоростям потоков в трубопроводах для того, чтобы избежать:

- заиливания трубопроводов гидротрасс (скорость потока гидросмеси равна или меньше рекомендуемой критической);
- лишних энергозатрат и повышенного износа трубопроводов (при скоростях потока гидросмеси более чем в 1,2-1,4 раза выше критической).

Большинство гидротрасс Ковдорского ГОКа имеют скорости потоков в трубопроводе в пределах 1,2-3,0 м/с. Установлено, что транспортирование гидросмеси может осуществляться при скорости движения гидросмеси не менее критической, ниже которой происходит выпадение твердых частиц на дно потока (заиливание трубопроводов). Минимальную скорость движения потока в зависимости от диаметра трубы и размера твердых частиц определяют с учетом плотности твердых частиц. Для вертикальных или круто поднимающихся трубопроводов эта скорость лежит в пределах 1,1-1,3 м/с.

Согласование режимов работы (оптимизация) систем гидротрасса-насос на практике осуществляется следующими способами:

1) воздействием на сеть, т.е. изменением величины сопротивления гидротрассы:

- регулированием подачи задвижками на трубопроводах (дросселирование) (наиболее распространенный способ на ГОКах);
- изменением геометрических параметров трубопроводов (диаметров, длин, углов поворота и т.д.) и оборудования, например, изменением диаметров патрубков гидроциклонов;
- очисткой трубопроводов;

2) Воздействием на насос (изменение его характеристики и подстройка под сеть):

- изменением частоты вращения (наиболее экономически выгодный метод);
- изменением диаметра рабочего колеса (обточкой или установкой нового рабочего колеса с меньшим диаметром);
- заменой на новый насос с более высоким КПД или с другой характеристикой.

Выбор того или иного метода согласования режимов работы гидротранспортной системы зависит от технических и экономических возможностей предприятия.

Также существуют методы уменьшения потребления электроэнергии насосным агрегатом, не касающиеся изменений характеристики насоса и сети.

Рассмотрим более подробно перечисленные выше методы оптимизации работы гидротранспортных систем.

При регулировании задвижкой (дросселирование) с уменьшением подачи гидросмеси величина КПД насоса уменьшается, а напор - возрастает. Такой режим регулирования приводит к тому, что с уменьшением подачи гидросмеси удельные затраты электроэнергии быстро возрастают.

Изменение геометрических параметров трубопроводов и оборудования с целью изменения их гидравлического сопротивления. Причинами увеличения сопротивления трубопроводов и повышенных удельных затрат электроэнергии при транспортировании гидросмеси являются: неправильная конфигурация трубопровода, неисправность задвижек, плохое состояние и засоренность всасывающих устройств, заиливание трубопроводов и т.п.

Ликвидировав в трубопроводе излишнюю арматуру и ненужные повороты или снизив их сопротивление сглаживанием острых углов, можно уменьшить затраты энергии на подачу гидросмеси. Изменением геометрических параметров оборудования, например, диаметров патрубков гидроциклонов, также можно изменять сопротивление гидросистемы.

Очистка трубопроводов. К росту гидравлического сопротивления системы приводит также внутреннее заиливание труб, так как уменьшается пропускная способность трубопроводов и возникает потребность в большем напоре. Источником дополнительного гидравлического сопротивления может быть низкое качество труб, сварных швов и некачественный монтаж трубопроводов, низкий уровень эксплуатации оборудования насосных агрегатов и сети трубопроводов. Так, по невнимательности обслуживающего персонала случается, что задвижки открыты неполностью.

Регулирование изменением частоты вращения вала насоса (рис. 5).

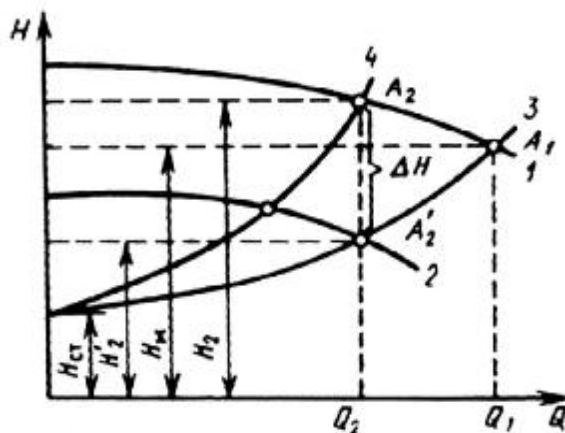


Рисунок 5 - Характеристики регулирования насоса: 1 – характеристика нерегулируемого насоса; 2 – характеристика насоса при регулировании скоростью (частотой вращения) или уменьшением диаметра рабочего колеса; 3 – характеристика трубопровода при открытой задвижке на напорном трубопроводе; 4 – характеристика трубопровода при регулировании задвижкой на напорном трубопроводе

Точка A_1 на рис. 5 является точкой пересечения напорной характеристики нерегулируемого по частоте вращения насоса и характеристики сети при полностью открытой задвижке 3. При этом обеспечиваемая подача Q_1 будет больше необходимой по технологии Q_2 . Обеспечить технологическую подачу Q_2 можно уменьшением частоты вращения вала насоса (воздействие на насос) или прикрытием задвижки во всасывающем или напорном патрубке (воздействия на сеть).

При уменьшении частоты вращения вала насоса подача и напор, создаваемые насосом, уменьшаются. Причем подача уменьшается на величину отношения частот вращения, а напор – на величину квадрата

отношений частот вращения. Соответственно напорная характеристика насоса сдвигается вниз по параболам подобия. Изложенное объясняет рис. 5 (новая напорная характеристика насоса при снижении частоты вращения занимает положение кривой 2). Точка пересечения новой характеристики насоса 2 и характеристики сети 3 при полностью открытой задвижке на рис. 5 обозначается точкой A_2' .

При регулировании задвижкой (ее прикрытии) характеристика сети занимает положение 4. При этом безвозвратно теряется напор $\Delta H = H_2 - H_2'$.

При регулировании частотой вращения потребляемая насосом мощность снижается пропорционально отношению скоростей вращения в третьей степени. Например, при уменьшении подачи насоса в два раза необходимая мощность составит только 12,5 % от мощности, потребляемой насосом при полной подаче. Так как при регулировании частотой вращения абсолютное значение КПД не уменьшается, то подбором новой частоты вращения насоса можно обеспечить работу насоса с максимальным КПД. Такая работа благоприятна и для электродвигателя. Вследствие регулирования частотой вращения снижаются и удельные затраты электроэнергии на перекачивание гидросмеси и создание напора.

Экономически наиболее выгодным способом регулирования является регулирование частотой вращения насоса. Наименее экономически выгодное регулирование - с помощью задвижки и которое в основном применяется на Ковдорском ГОКе.

На рис. 6 можно видеть, что, например, при 50% нагрузке насоса от номинальной экономия электроэнергии при регулировании скоростью (воздействием на насос) по сравнению с дросселированием (воздействием на сеть) дает экономию примерно в 60 %.

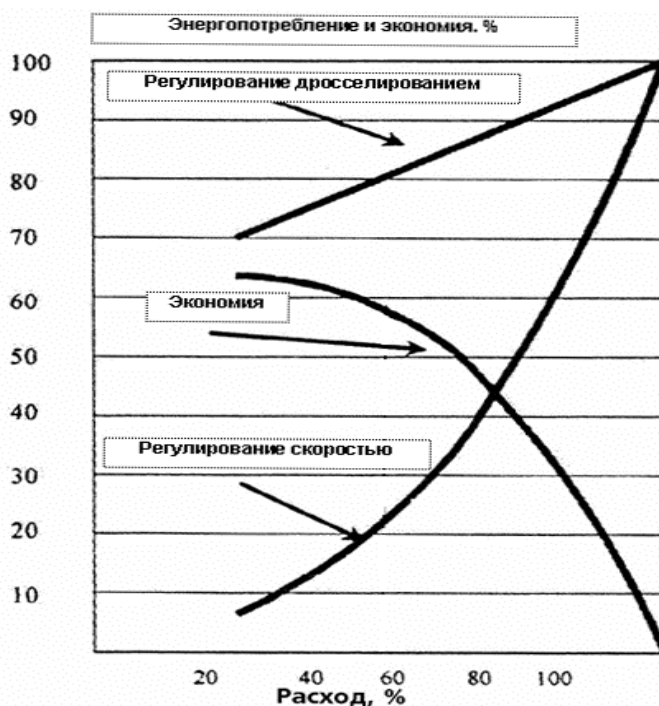


Рисунок 6 – Сравнение методов регулирования скоростью (изменением частоты вращения) и дросселированием

Изменение диаметра рабочего колеса. Если насос выбирался с "запасом" на напор, фактические подача и напор будут больше расчетных значений. Такая же ситуация возникает, если уменьшаются технологические расходы. Привести фактические параметры такого насоса в соответствие с расчетными параметрами можно путем обточки рабочего колеса.

ВЫВОДЫ

Используя вышеприведенный инструментарий, был проведен анализ режимов работы гидросистем Ковдорского ГОКа, который показал, что часто режимы работы насосного оборудования и гидросетей не согласованы (требуемые технологические расходы не соответствуют номинальным подачам насосов, а иногда находятся вне рабочей зоны характеристик насосов). Кроме того, в некоторых случаях при требуемых технологических расходах скорости движения гидросмеси в трубопроводе ниже критических, что может приводить к заиливанию трубопроводов, или, наоборот, выше критических, что может приводить к преждевременному износу трубопроводов, к дополнительным потерям энергии.

Предложенный ряд рекомендаций и мероприятий по согласованию режимных параметров гидравлических сетей и насосов в соответствии с действующими технологическими регламентами позволит увеличить межремонтный ресурс работы насосного оборудования, снизить энергозатраты в гидротранспортных системах комбината.

Таким образом, научный подход к анализу режимов работы гидротранспортных систем и правильное согласование элементов технологических сетей Ковдорского ГОКа еще раз показывают возможность и необходимость проведения энергосберегающих мероприятий на таких энергоемких предприятиях, как ГОК и ГМК Украины.

Экономия электрической энергии от предложенных рекомендаций и мероприятий только для 11 наиболее проблемных технологических позиций Ковдорского ГОКа составляет 3,47 млн кВт·ч, или 2,43 млн руб. в год. При этом ресурс работы насосного оборудования увеличится на 10-30 % за счет оптимизации и согласования режимов работы насосов и гидросетей.

Мероприятия, связанные с заменой и подрезкой рабочих колес по трудоемкости, незначительны и срок окупаемости таких мероприятий обычно составляет не более месяца, а экономия за счет стоимости электрической энергии – 3,12 млн кВт·ч, или 2,18 млн руб. в год.

Проведенный анализ и разработанные рекомендации могут быть использованы для горнорудных и других предприятий Украины, использующих насосное оборудование.

SUMMARY

INCREASE OF POWER EFFICIENCY OF THE PUMP EQUIPMENT OF ORE DRESSING COMBINES

*Vaneyev S.M., Yevtushenko A.A., Sapozhnikov S.V., Solyanik V.A.
Sumy State University*

In article the analysis of the reasons of a small resource of work pumps of technological lines Kovdor of ore dressing combine is lead, recommendations as agreed regime parameters of hydraulic networks and pumps, action on increase in a between-repairs resource of work, and also decrease of power expenses and expenses for technological service and repair of pumps are developed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смолдырев А.Е., Сафонов Ю.К. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
2. Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. – М.: Надра, 1986. – 462 с.
3. Насосы для абразивных гидросмесей: Альбом-справочник / Сост. Е.А.Алексеева, О.В.Голик, Л.С.Евко, О.А.Киян, В.А.Соляник, А.В.Чечеткин. – Сумы: Сумский филиал ХПИ, 1988. – 159 с.
4. Животовский Л.С., Смойловская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
5. Басов А.И. Механическое оборудование обогатительных фабрик и заводов тяжелых цветных металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 352 с.
6. Брагин Б.Ф., Коломиец А.С., Кондратьев А.С., и др. Трубопроводный транспорт твердых материалов / Под ред. Б.Ф. Брагина. - К.:СДО, 1993. - . Ч.1. - 400 с.

Ванеев С.М., канд. техн. наук, доцент;

Евтушенко А.А., канд. техн. наук, профессор;

Сапожников С.В., канд. техн. наук, доцент;

Соляник В.А., канд. техн. наук, доцент

Поступила в редакцию 8 февраля 2008 г.