

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ

О.М. Брусова

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

Грунтовые насосы применяются для перекачки гидросмесей. Основной недостаток, снижающий производительность данного вида насосов, – это износ рабочих элементов вследствие перекачивания абразивных пульп. На Соколовско-Сарбайском горно-обогатительном производственном объединении для повышения срока службы грунтовых насосов применяют метод корундирования. Описывается технология нанесения абразивных смесей на улиту и рабочее колесо грунтового насоса, применяемая непосредственно на данном предприятии. Недостатком данного метода является грубая, неровная поверхность изделия, которая приводит к неравномерности износа, снижению коэффициента полезного действия и дисбалансу рабочего колеса насоса.

Сделан анализ существующей методики расчета прогиба и дисбаланса вала, и применен автоматизированный расчет нагрузок на вал. Предложен метод вибрационной диагностики для качественного анализа нанесения абразивной смеси, выявления дисбалансов рабочего колеса насоса, прогнозирования остаточного ресурса работы.

Диагностика оборудования по возбуждаемой в нем вибрации относится к наиболее эффективным способам предупреждения серьезных инцидентов, так как более чем в 80 % случаев появления необратимых изменений состояния отдельных узлов изменяются различные параметры вибрации машины. Было предложено установить вибрационные датчики на подшипники качения, которые будут подавать сигнал на пульт машиниста насосной установке и сигнализировать о предстоящей поломке и выходе из строя элементов насоса. Данный метод был применен на Соколовско-Сарбайском горно-обогатительном производственном объединении и показал, что простои оборудования в ремонте уменьшились на 20 % в связи со своевременным техническим обслуживанием.

Внедрение автоматизированных систем управления гидротранспортных систем и автоматизированных методов неразрушающего контроля в совокупности с вибрационными методами диагностики насосных агрегатов повысит общую эффективность процесса гидравлического транспорта, будет способствовать рациональному расходу электроэнергии, что в конечном итоге отразится на себестоимости конечных продуктов (концентратов, металла и др.).

**Ключевые слова:** грунтовой насос, абразивный износ, корунд, бакелитовый лак, улита, рабочее колесо, вал, вибрация, подшипники, диагностика, частотный сектор.

## THE PROBLEM OF INCREASING SOIL PUMPS LIFETIME

O.M. Brusova

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Soil pumps are used for pumping hydromixtures. The main drawback that reduces the performance of this type of pump – is the abrasive wear of components due to pumping abrasive slurries. On Sokolovsko-Sarbaisky mining field and processing production association to enhance soil pumps lifespan are used corundum method is used. A technique for covering unit and soil pump impeller with abrasive mixtures, used directly in the enterprise, is described. The disadvantage of this method is rough, uneven surface of the product, which leads to uneven warning contact, efficiency reducing and imbalance impeller.

The analysis of existing methods of deflection and shaft imbalance calculation was performed, and automated calculation of loads to the shaft was applied. A method of vibration diagnostics for applying abrasive mixtures qualitative analysis, identify imbalances of impeller, residual life prediction work is proposed.

Equipment diagnostics according to vibration excited in it belongs to the most effective ways to prevent serious incidents since more than 80% of irreversible changes occurrences in the status of individual nodes change various settings of machine vibration. It was suggested that vibration sensors on the bearings, which will provide a signal to the remote driver installation pumping and a signal about impending failure and failure of the pump elements. This method was applied to the Sokolovsko-Sarbaisky mining and processing production association and showed that equipment downtime repairs decreased by 20% due to timely maintenance.

Implementation of automated control systems of hydrotransport systems and automated nondestructive testing in conjunction with vibration diagnostic methods of pumping units will improve the overall efficiency of the process of hydraulic transport, promote rational energy consumption, that eventually affect the cost of the final products (concentrates, metal, etc.).

**Keywords:** soil pump, abrasive wear, corundum, bakelite varnish, ulita, impeller, shaft, vibration, bearings, diagnostics, frequency sector.

## Введение

Эффективность любого предприятия находится в прямой зависимости от производительности труда и надежной работы оборудования. Постоянный анализ процессов, происходящих в работающих машинах, является одним из самых эффективных способов контроля состояния промышленного оборудования. Долговечность деталей и узлов оборудования, связанного с переработкой и транспортированием абразивных материалов на горнообогатительных предприятиях, цветной и черной металлургии, определяется в первую очередь износостойкостью их рабочих поверхностей. Анализ опыта эксплуатации показывает, что срок службы большой группы деталей машин в этих условиях очень мал и составляет одну или несколько рабочих смен.

При решении большинства диагностических задач обеспечивается не только обнаружение любого из потенциально опасных дефектов в начальной стадии развития, но и определение величины и вида дефекта. Только в этом случае и при заведомо известных скоростях развития каждого дефекта может быть получен долгосрочный прогноз состояния или остаточный ресурс машины или ее узла.

## Основная часть

Одним из основных видов оборудования на фабриках мокрой магнитной сепарации являются грунтовые насосы [1].

Грунтовые насосы (рис. 1) применяют для перекачивания песочно-гравийных, гравийных, шлаковых, золошлаковых и других гидросмесей. Показатели гидросмеси должны быть следующими: водородный показатель  $pH = 6 \dots 8$ , плотность не более  $1300 \text{ кг/м}^3$ , температура не более  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Грунтовые насосы выполняются различных типоразмеров с производительностью от 20 до  $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напором от 10 до 80 м вод. ст. Мощность двигателя колеблется от 20 до 2000 кВт [2].

Работа с абразивным грунтом приводит к быстрому истиранию рабочего колеса и защитных бронедисков насосов [3, 4]. На фабриках обогащения Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного производственного объединения (АО ССПЮ) в Казахстане для восстановления бронедисков и рабочих колес применяется метод корундирования. При этом методе защиты деталей металлические корпуса насосов могут быть использованы несколько раз. Изношенные поверхности деталей восстанавливаются до первоначальных размеров при помощи нанесения слоя абразивной массы [5]. Абразивный слой можно наносить без термического упрочнения. В связи с этим большое значение приобретает возможность реставрировать на месте изношенные металлические детали: корпуса улит и колеса насосов. Нанесение абразивных покрытий на реставрируемые поверхности производят вручную при нормальных температурах [6].

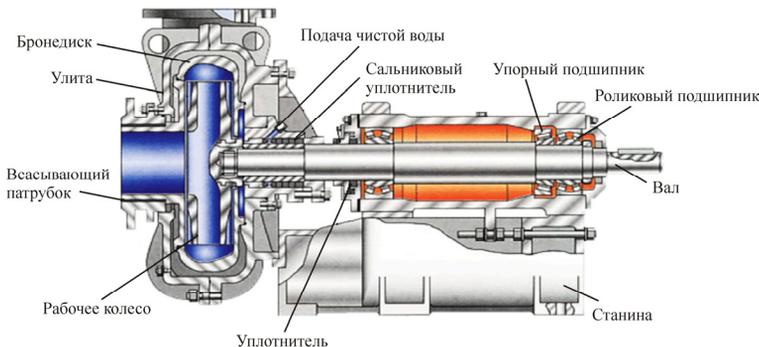


Рис. 1. Внешний вид грунтового насоса

Технология изготовления деталей из абразивных смесей сводится к приготовлению смеси, ее прессованию, пропитыванию и полимеризации. В качестве заполнителей абразивной смеси служат электрокорунд. Для склеивания зерен абразивного материала применяется бакелит марок А и Б. Абразивной смесью заполняют пресс-форму. Для повышения прочности изделий применяют металлический каркас. Формовку и прессование рабочих колес песковых и грунтовых насосов производят в несколько приемов: на поддоне со ступицей, окруженной двумя полубоймами, – формовка диска; с вкладыванием сухарей и установкой крыльчатки – формовка крыльчатки. Первое и второе прессование производится при усилие пресса 100 т, третье – 400 т. Для придания необходимой прочности изделию деталь на поддоне или в пресс-форме подвергается полимеризации при температуре 100–180 °С в течение 8 ч. Затем деталь пропитывается бакелитом и снова полимеризуется. Отформованную деталь можно хранить до полимеризации не больше 20–30 ч. Улиты насосов вначале покрывают абразивной смесью по торцу затем прессуют в пресс-форме. Далее абразивная смесь наносится на поверхность улиты. После прессования при давлении 3–5 МПа деталь подвергают полимеризации. После снижения температуры до 60–70 °С улита извлекается, и с помощью кисти на ее поверхность наносится бакелит марки В до полного насыщения, затем процесс полимеризации повторяется [7].

На АО ССГПО технология корундирования следующая [8]:

1. Поверхность, подлежащая корундированию, должна быть сухой, очищенной от литейной земли, окалины, масел и т.д.

2. Перед наложением смеси поверхность нужно покрыть слоем бакелита с помощью волосяной кисти. Крышку насоса перед корундированием установить на подставку, закрепить болтами, установить заглушку на патрубок. Смазать

тонким слоем солидола поверхности, соприкасающиеся с абразивной смесью.

3. Заполнить смесью пространство между оправкой и корпусом насоса, утрамбовать до большей плотности пневматической трамбовкой, выдерживая толщину слоя корпуса по шаблону в соответствии с чертежом.

4. Установить и закрепить пуансон, покрытый тонким слоем солидола. Наполнить смесью боковое пространство между пуансоном и стенкой крышки и утрамбовать. Установить и закрепить болтами фигурный фланец, смазав его тонким слоем солидола. Чем лучше уплотнение смеси, тем выше качество корундирования.

5. Загрузить корундированные крышки насосов в контейнер с помощью крана. Первую крышку установить на дно контейнера, последующие укладывать одну на другую поэтажно на стальные прутки, вставляемые в боковые отверстия контейнера. Заполненный контейнер краном загрузить в электропечь.

6. Произвести термообработку (поликонденсацию) корундированных крышек в печи по режимам, указанным в таблице. Время после утрамбовки корундированной смеси до термообработки не более 30 ч.

7. После термообработки крышек отключить электропечь, открыть камеру и охладить ее до температуры 60 °С. Разгрузить контейнер.

8. Выбить оправку из крышки, снять фланец, отвинчивая крепежные болты.

9. Пропитать абразивный слой жидким бакелитом. После пропитки произвести повторную термообработку.

10. Образовавшуюся твердую пленку на абразиве удалить металлическим скребком с применением защитных средств для рук и глаз. Предъявить крышки отделу технического контроля.

Основным недостатком абразивных деталей является грубая, неровная поверхность изделия [7]. После непродолжительной работы поверхность становится

Режимы электропечи

Насос 12ГрК-8		Насос 8ГрК-8		Насос 5ГрК-8	
Температура печи, °С	Время выдержки, ч	Температура печи, °С	Время выдержки, ч	Температура печи, °С	Время выдержки, ч
80	1	80	1	80	1
100	1	100	1	120	1
120	1	120	1	140	1
140	1	140	1	160	2
160	1	160	1	180	3
180	11	180	6	–	–

еще более бугристой из-за неравномерного износа абразивных покрытий. Это приводит к снижению коэффициента полезного действия машин. Кроме того, на вращающихся деталях (колеса насосов) резко нарушается балансировка, что может привести к разрушению механических частей машины: разрыву, изгибу вала, повреждением подшипников и других деталей [8, 9].

На вал и подшипники грунтового насоса действуют следующие нагрузки [10]:

- крутящий момент, передаваемый от двигателя рабочему колесу;
- поперечные, нормальные к оси насоса силы, возникающие от собственного веса рабочего колеса;
- поперечные силы, возникающие при нарушении осевой симметрии потока вне рабочего колеса;
- осевые силы, возникающие в результате протекания пульпы через рабочее колесо и полости грунтового насоса.

Изгибающий момент, возникающий от собственного веса колеса и центробежной силы массы колеса (рис. 2), появляется при вращении вала от несовпа-

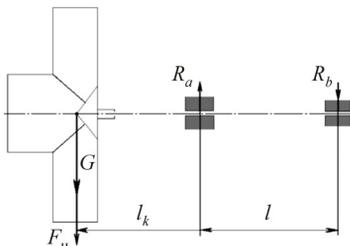


Рис. 2. Расчет прогиба вала

дения центра тяжести колеса с геометрической осью вала.

Величина массового эксцентриситета, возникающего в результате неравномерного износа рабочего колеса,

$$e_m \approx (0,005...0,01)D_2.$$

Допустимую величину прогиба конца вала, несущего на себе рабочее колесо, можно определить по неравенству

$$y \leq 0,001l_k,$$

где  $l_k$  – длина консоли вала, т.е. расстояние от центра тяжести рабочего колеса до центра 1-го подшипника.

Суммарный эксцентриситет

$$e = e_m + y.$$

Центробежная сила

$$F_{ц} = \frac{Gen^2}{900},$$

где  $G$  – вес рабочего колеса, Н.

Прогиб конца вала, работающего по схеме, представленной на рис. 2, определится выражением [10]

$$y = \frac{(G + F_{ц}) \cdot (l + l_k) l_k^2}{3EI},$$

где  $E$  – модуль упругости материала вала, Па;  $I$  – момент инерции вала, кг·м<sup>2</sup>.

Расчет по этим формулам дает несколько преувеличенное значение прогиба. Данная методика позволяет приблизительно оценить предварительный дисбаланс, возникающий в вале при износе рабочих элементов [11].

С помощью компьютерной программы APM WinMachine, используемой для автоматизированного расчета и проектирования машин, механизмов и конструкций, можно более детально просчитать параметры вала. Для этой цели был использован модуль APM WinShaft [12]. С помощью данного модуля можно рассчитать и построить: реакции в опорах валов; эпюры моментов изгиба и углов изгиба; эпюры моментов кручения и углов закручивания; деформированное состояние вала; напряженное состояние при статическом нагружении; коэффициент запаса по усталостной прочности; эпюры распределения поперечных сил; собственные частоты и собственные формы вала. На основании приложенных к валу нагрузок были определены эквивалентные напряжения, возникающие при работе вала (рис. 3).

Как видно из рис. 3, наибольшее напряжение возникает под подшипниковыми опорами, поэтому необходимо разработать диагностические мероприятия для выявления остаточного ресурса и предотвращения работы при повышенных колебаниях на валу насоса.

При колебательном вращении происходит интенсивный износ подшипников,

поэтому для выявления внутреннего состояния насоса необходимо использовать один из методов неразрушающего контроля [13].

Известными методами контроля являются следующие:

- механический метод (заключается в измерении геометрических размеров деталей машин);

- электрический (заключается в непосредственном измерении электрических величин и позволяет по косвенным параметрам устанавливать состояние частей машин;

- вибрационный (заключается в измерении параметров различных вибрационных процессов, выбираемых в зависимости от типа диагностируемых механизмов, амплитудного и частотного диапазонов измеряемых колебаний. В качестве параметров чаще всего используются: виброперемещение, виброскорость, виброускорение);

- акустический (заключается в измерении упругих колебаний, распространяющихся в движущихся составных частях машин в результате их соударения и называемых структурным шумом, характер которого изменяется по мере изнашивания составных частей);

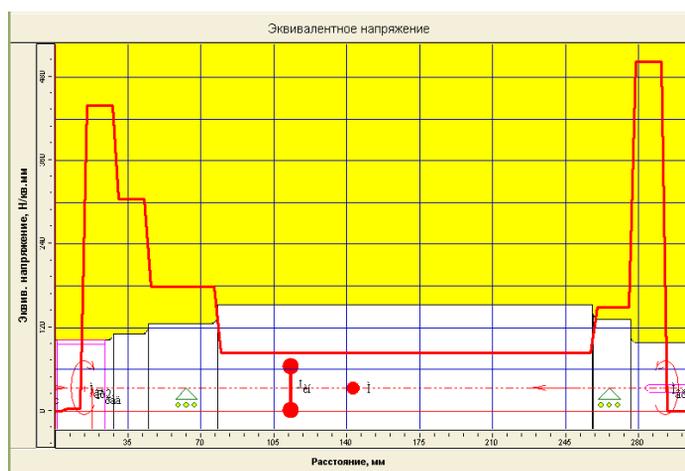


Рис. 3. Исследование вала грунтового насоса 12Гр-8

– ультразвуковой (заключается в регистрации отраженных от границ раздела двух сред направленных ультразвуковых колебаний);

– метод ударных импульсов (заключается в измерении и регистрации механических ударных волн, возникающих при соударении твердых тел);

– тепловой (заключается в измерении температуры неподвижных и движущихся диагностируемых объектов);

– электромагнитные методы (заключаются в регистрации магнитных полей рассеивания, возникающих над дефектом, в определении магнитных свойств диагностируемых объектов и в измерении магнитных сопротивлений, изменений магнитного потока и магнитной проницаемости);

– спектрографический и химический (используются для количественного определения продуктов изнашивания в масле и его химического состава);

– радиационный (заключается в регистрации изменения интенсивности излучения объекта диагностирования);

– фотоэлектрический (заключается в измерении освещенности).

Диагностика оборудования по возбуждаемой в нем вибрации – наиболее эффективный способ предупреждения серьезных инцидентов, поскольку более чем в 80 % случаев появления необратимых изменений состояния отдельных узлов изменяются различные параметры вибрации машины. Даже при скачкообразном изменении состояния отдельных узлов периодический контроль вибрации позволяет выявить необратимые изменения состояния до того, как возникает отказ данной машины или оборудования [14].

Сущность метода заключается в измерении параметров различных вибрационных процессов, выбираемых в зависимости от типа диагностируемых механизмов, амплитудного и частотного диапазонов измеряемых колебаний. В качестве параметров чаще всего использу-

ются виброперемещение, виброскорость, виброускорение [15].

Вибрация насосных агрегатов существенно возрастает с увеличением гидроабразивного износа. Для установления зависимости времени наработки насосных агрегатов от гидроабразивного износа предлагается на каждом насосе установить вибродатчики, передающие информацию о работе насоса на общий пульт машиниста насосной станции.

При исследовании частотного спектра можно обнаружить составляющие, относящиеся непосредственно к определенным возбуждающим силам. Почти все спектры механических колебаний содержат также важные составляющие с частотами, связанными с движениями отдельных узлов и деталей машин. Образование и развитие дефекта приводит к появлению в спектре таких составляющих амплитуды, которые растут по мере изменения параметров дефекта. Частоты, на которых наблюдаются эти составляющие, могут быть заранее рассчитаны по конструктивным параметрам объекта диагностирования и по частоте вращения, следовательно, при диагностировании наличие дефектов может быть обнаружено на идентификационных частотах [16]. Объектом диагностирования являются подшипники качения, и идентификационные частоты определяются частотой перекатывания тел качения по наружному кольцу:

$$f_n = 0,5 f_{вп} \left( 1 - \frac{d_{т.к}}{d_c} \cos \alpha \right) z, \quad (1)$$

где  $f_{вп}$  – частота вращения, об/мин;  $d_{т.к}$  – диаметр тела качения, мм;  $d_c$  – диаметр сепаратора,  $d_c \approx 0,5(d_n - d_b)$ , мм, где  $d_n$  – диаметр наружного кольца, мм;  $d_b$  – диаметр внутреннего кольца, мм;  $\alpha$  – угол контакта тел качения с дорожками качения;  $z$  – число тел качения.

Параметры подшипника определяются по ГОСТ 5721–75. Подставив данные в формулу (1), получаем идентификационную частоту, равную 50 Гц.

Появление на частотном спектре пика в определенной частотной полосе с супергармониками (кратные гармоники) говорит о наличии конкретного вида дефекта. Если на спектрограмме подшипника качения пиковая полоса совпадает с частотой вращения вала насоса, то это может быть связано с его дефектом (неуравновешенность), дефектом соединительной муфты, изгибом вала и т.п.<sup>1</sup>. Если пик со своими гармоническими составляющими совпадает с большинством из частотных значений элементов подшипника, это означает, что начинается сверхдопустимое колебание, при котором необходимо остановить насос.

На предприятии АО ССПЮ для определения степени вибрации была использована диагностическая система. Через каждые 300 ч производились измерения вибрации насоса на опорных подшипниках вала с помощью вибродатчиков, установленных на корпусах переднего и заднего подшипников. На рис. 4 виден скачок виброускорения при эксплуатации насоса в течение 30 дней. Это говорит о том, что произошел предельный износ рабочего колеса и элементы подшипника испытывают предельные вибрации, которые неизбежно приведут к его поломке<sup>2</sup>. При помощи методики расчета остаточного ресурса по данным вибрации можно спрогнозировать срок поломки оборудования и запланировать техническое обслуживание и ремонт.

Метод вибродиагностики позволяет оценить общее техническое состояние, при необходимости провести углубленный анализ технического состояния оборудования, определить причины роста вибрации, установить дефекты (неисправности) насосных установок и устра-

нить эти дефекты, т.е. повысить надежность эксплуатации и увеличить срок службы.

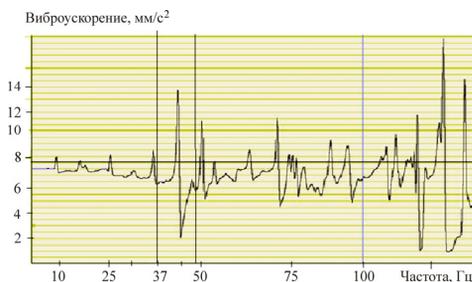


Рис. 4. Результат снятия показаний с регистрирующего прибора, установленного на подшипники качения № 3620 через 30 дней работы

### Заключение

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования по определению основных зависимостей рабочего ресурса грунтовых насосов дают возможность констатировать, что гидроабразивный износ рабочего колеса грунтового насоса является основной причиной его отказов. Он приводит к возникновению вибрации насосного агрегата при превышении стандартных и регламентированных параметров. Каждому моменту времени работы грунтового насоса соответствует определенный спектр частот колебаний вала насоса и соответствующие значения виброскорости, виброускорения и виброперемещения. Следовательно, параметры вибрации грунтового насоса могут быть приняты в качестве индикатора технического состояния и рабочего ресурса насосного агрегата.

Используемые на горно-обогатительных комбинатах автоматизированные системы управления технологическими процессами разработаны лишь для основных технологических процессов – обогащения минерального сырья, и не адаптированы к системам управления гидротранспортными системами. Благодаря внедрению автоматизированных систем управления гидротранспортных

<sup>1</sup> ISO 17359:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines.

<sup>2</sup> ISO/DIS 13373-2. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1. Processing, presentation and analysis of vibration data.

систем и автоматизированных методов неразрушающего контроля в сочетании с вибрационными методами диагностики насосных агрегатов позволит повысить общую эффективность процесса гидравлического транспорта, способствует рациональному расходу электроэнергии, что в результате отразится на себестоимости конечных продуктов (концентратов, металла и др.).

#### Список литературы

1. Шкудин Б.М. Землесосные снаряды: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1968. – 376 с.
2. Стариков А.С. Технологические процессы земснарядов. – М.: Транспорт, 1989. – 223 с.
3. Бессмертный К.С., Бритарев В.А. Машинист землесосной установки. – М.: Недра, 1989. – 279 с.
4. Karimi A., Verdon C., Barbezat G. Microstructure and Hydroabrasive wear behaviour of high-velocity oxy-fuel thermally sprayed Wc-Co (Cr) coatings // *Surface and Coating Technology*. – 1993. – Vol. 57, № 1. – P. 81–89.
5. Hoppel H.W., Mughrabi N., Sockel H.G. Hydroabrasive wear behaviour mechanisms of different hard coatings // *Wear*. – 1999. – April. – Vol. 225–229, part 2. – P. 1088–1099.
6. Заверткин П.С. Повышение эффективности процесса гидравлического транспорта хвостов обогащения минерального сырья // Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: междунар. науч. конф. – Вологда, 2006. – С. 78–84.
7. Пенкин Н.С. Повышение износостойкости горно-обогатительного оборудования. – М.: Недра, 1992. – 269 с.
8. Технология корундирования грунтовых насосов / АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатит. производств. объединение». – 2006. – 18 с.
9. Suchanek J., Smrkovsky J., Bias P. Erosive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials // *Wear*. – 1999. – April. – Vol. 233–235. – P. 229–236.
10. Леликов О.П. Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет: справ. – М.: Машиностроение, 2006. – 296 с.
11. Использование систем автоматизированного расчета при проведении инженерных расчетов / под ред. Е.П. Миронова. – Киев: Наука, 2007. – 277 с.
12. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде APM Structure3D. – М.: АПМ, 2004. – 318 с.
13. Пархоменко П.П., Сагомян Е.С. Основы технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
14. Башта Т.М., Алексеева Т.В., Бабанская В.Д. Техническая диагностика гидравлических приводов. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
15. Коллакот Р. Диагностика повреждений: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 519 с.
16. Епифанцев Ю.А., Полищук С.В. Мониторинг и диагностика механических объектов: учеб. пособие / Сибир. гос. индустриал. ун-т. – Новокузнецк, 2009. – 61 с.

#### References

1. Shkudin B.M. Zemlesosnye snariady [Suction dredger]. Moscow: Energiia, 1968. 376 p.
2. Starikov A.S. Tekhnologicheskie protsessy zemsniaridov [Technological processes dredgers]. Moscow: Transport, 1989. 223 p.
3. Bessmertnyi K.S., Britarev V.A. Mashinist zemlesosnoi ustanovki [Machinist suction dredger installation]. Moscow: Nedra, 1989. 279 p.
4. Karimi A., Verdon C., Barbezat G. Microstructure and Hydroabrasive wear behaviour of high-velocity oxy-fuel thermally sprayed Wc-Co (Cr) coatings. *Surface and Coating Technology*, 1993. vol. 57, no. 1, pp. 81–89.
5. Hoppel H.W., Mughrabi N., Sockel H.G. Hydroabrasive wear behaviour mechanisms of different hard coatings. *Wear*, 1999, vol. 225–229, part 2, pp. 1088–1099.
6. Zavertkin P.S. Povyshenie effektivnosti protsesssa gidravlicheskogo transporta khvostov obogashcheniia mineral'nogo syr'ia [Increased efficiency of hydraulic transport tailings minerals]. *Mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia "Avtomatizatsiia mashinostroitel'nogo proizvodstva, tekhnologiya i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniia"*. Volgda, 2006, pp. 78–84.

7. Penkin N.S. Povyshenie iznosostoikosti gorno-obogatitel'nogo oborudovaniia [Wear resistance of mining equipment]. Moscow: Nedra, 1992. 269 p.
8. Tekhnologiia korundirovaniia gruntovykh nasosov [Technology of using corundum method in soil pumps]. Aktsionernoe obshchestvo "Sokolovsko-Sarbaiskoe gorno-obogatitel'noe proizvodstvennoe ob"edinenie", 2006. 18 p.
9. Suchanek J., Smrkovsky J., Bias P. Erosive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials. *Wear*, 1999, vol. 233–235, pp. 229–236.
10. Lelikov O.P. Valy i opory s podshipnikami kachenii. Konstruirovaniie i raschet [Shafts and supports with rolling bearings. Construction and calculation]. Moscow: Mashinostroenie, 2006. 296 p.
11. Mironov E.P. Ispol'zovanie sistem avtomatizirovannogo rascheta pri provedenii inzhenernykh raschetov [The use of automated calculation systems when carrying out engineering calculations]. Kiev: Nauka, 2007. 277 p.
12. Zamrii A.A. Proektirovaniie i raschet metodom konechnykh elementov v srede ARM Structure3D [Designing and finite element calculation in a medium ARM Structure3D]. Moscow: APM, 2004. 318 p.
13. Parkhomenko P.P., Sagomonian E.S. Osnovy tekhnicheskoi diagnostiki [Basics of technical diagnostics]. Moscow: Energoizdat, 1981. 320 p.
14. Bashta T.M., Alekseeva T.V., Babanskaia V.D. Tekhnicheskaiia diagnostika gidravlicheskiikh privodov [Technical diagnostics of hydraulic actuators]. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 264 p.
15. Kollakot R. Diagnostika povrezhdenii [Diagnosis of damage]. Moscow: Mir, 1989. 519 p.
16. Epifantsev Iu.A., Polishchuk S.V. Monitoring i diagnostika mekhanicheskikh ob'ektov [Monitoring and diagnostics of mechanical objects]. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2009. 61 p.

#### Об авторе

**Брусова Ольга Михайловна** (Рудный, Казахстан) – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры транспорта и технологических машин Рудненского индустриального института (111500, Казахстан, Рудный, ул. Корчагина, 126–12; e-mail: info@rii.kz).

#### About the author

**Ol'ga M. Brusova** (Rudnyi, Kazakhstan) – Ph.D. in technical sciences, assistant professor of the department of transport and production machines of the Rudny Industrial Institute (111500, Kazakhstan, Rudnyi, Korchagina st., 126–12; e-mail: info@rii.kz).

Получено 05.02.2014