УДК: 621.665.6-62-752

С.С.МЕНЬШИКОВ, *аспирант, flach2003@list.ru*
М.А.ВАСИЛЬЕВА, *канд. техн. наук, ассистент, saturn.sun@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.S.MENSHIKOV, *post-graduate student, flach2003@list.ru*
M.A.VASILYEVA, *PhD in tech. sc., assistant lecturer, saturn.sun@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ГИДРОТРАНСПОРТА ХВОСТОВЫХ ПУЛЬП

Рассмотрен вопрос организации единой службы диагностирования грунтовых насосов, применяемых в системах гидротранспорта минерального сырья. Предложены варианты контроля технического состояния оборудования различными методами, включая методы неразрушающего контроля и параметрической диагностики, в том числе с использованием опыта, накопленного в газодобывающей отрасли при диагностике.

***Ключевые слова*:** грунтовый насос, диагностика, надежность, оперативный контроль, коэффициент технического состояния

COEFFICIENT OF TECHNICAL CONDITION OF THE SLURRY PUMPS IN HYDROTRANSPORT OF ORE TAILS

In paper the question organization of service and diagnosing for the pumps applied in hydrotransport systems of mineral materials is considered. Variants of technical condition control of the equipment by various methods including methods of nondestructive control and methods of parametrical diagnostics, including with use of the experience which has been saved up in gas branch at Compressors diagnostics on Compressors Station are offered.

***Key words*:** ground pump, diagnosis, reliability, compulsory checking, technical factor

В горно-рудной промышленности неотъемлемой частью обогатительного производства является гидротранспорт концентратов, пульп и хвостов обогащения. Из-за выраженных абразивных свойств транспортирование таких сред вызывает интенсивный износ оборудования гидротранспортных систем, в результате чего значительно снижаются экономически показатели горно-обогатительных предприятий из-за низкой эксплуатационной надежности насосов и трубопроводов.

Продолжительность простоев вследствие отказов гидротранспортного оборудования по перекачке пульп и хвостов обогащения в горно-обогатительном производстве составляет десятки тысяч часов, а экономический ущерб исчисляется сотнями миллионов рублей [2]. Актуальность проблемы подтверждается аварией 17 августа 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС. По итогам расследования чрезвычайной ситуации парламентской комиссией, одной из причин аварии признано отсутствие должным образом организованного постоянного контроля технического состояния гидроагрегатов.

В настоящее время в системах станций гидротранспорта не организована комплексная оценка технического состояния грунтовых насосов, поэтому при определении ре-

жимов работы насосов техническое состояние их элементов не учитывается. В связи с этим особое значение приобретают усилия, направленные на разработку надежных и достоверных методов определения режимов работы, и, в первую очередь, диагностирования и оперативного контроля технического состояния насосного оборудования.

Технически возможной представляется организация службы диагностики грунтовых насосов, осуществляющая контроль по двум направлениям:

• Механическая надежность насосов (методы вибрационной диагностики, трибодиагностики, неразрушающего контроля).

• Эффективность транспортировки среды (методы параметрической диагностики).

Методы оценки механической надежности грунтовых насосов. Одним из весьма эффективных методов неразрушающего контроля является визуальный с использованием бороскопов. При помощи бороскопов можно провести быстрое и высокоточное визуальное диагностирование и исследование труднодоступных полостей насосного оборудования без разборки и вскрытия насоса: следов коррозии, трещин, эрозии и инородных предметов в проточной части агрегата. Недостатком метода является необходимость остановки оборудования, что в определенной степени ограничивает его использование.

Методы акустической диагностики, использующие в качестве информации шум работающего грунтового насоса и его элементов, позволяют при регистрации общего спектра определять вновь появившиеся в процессе эксплуатации из-за каких-либо неисправностей новые источники шума и по ним оценивать изменения состояния рабочего колеса, подшипников, корпуса и т.п. [1].

Большое внимание на практике всегда уделяется вибрационному обследованию агрегата, так как вибрационное состояние насосного оборудования является одним из основных показателей, характеризующих состояние элементов грунтового насоса.

Спектр вибрации работающего агрегата имеет весьма широкий диапазон, зависящий от множества факторов: частоты вращения узла, зубчатых колес, подвижных элементов двигателя, турбулентных характеристик потока рабочего тела и т.п. В зависимости от конструктивного исполнения грунтового насоса, его сборки и монтажа, условий эксплуатации, вибрация элементов установки может быть самой различной. В некоторых случаях вибрация может стать такой значительной, что заставит пойти на вынужденную остановку агрегата. В противном случае повышенная вибрация может привести к быстрому износу и разрушению узлов агрегата, прежде всего тех, которые в наибольшей степени подвержены вибрации – подшипники, рабочее колесо, корпус насоса.

Методы параметрической диагностики грунтовых насосов. Оценку технического состояния насосного оборудования целесообразно проводить при помощи параметрических методов, основанных на измерении гидродинамических параметров рабочего цикла грунтового насоса. Параметрическая диагностика достаточно широко используется в задачах оперативного контроля ротационных машин в различных производствах и, в частности, на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Однако, к настоящему времени не организована система комплексной оценки состояния агрегатов, прежде всего из-за сложности достоверного определения расхода рабочего тела.

Коэффициент технического состояния грунтового насоса. Большинство методов параметрической диагностики опираются на паспортные характеристики соответствующих агрегатов, которые получают при заводских испытаниях насосов на воде. Следовательно, при включении насосов в работу по перекачке гидросмеси проявляется отклонение основных гидравлических параметров от заводских показателей. В процессе эксплуатации характеристики агрегатов также изменяются. Это может быть обусловлено многими факторами, основным из которых является гидроабразивный износ элементов проточной части грунтового насоса. Оценку фактического состояния насосного агрегата можно производить по величине коэффициента технического состояния.

Фактором, характеризующим состояние грунтового насоса, является относительный напор, равный отношению напора при ра-

боте насоса на гидросмеси к напору, развиваемому насосом при работе на воде:

$$\overline{H} = \frac{H_h}{H_w},$$

где H_h – напор грунтового насоса при работе на гидросмеси (пульпе); H_w – напор грунтового насоса при работе на воде.

Относительный напор $\overline{H}$ фактически характеризует состояние грунтового насоса, и его величину можно рассматривать как гидромеханический коэффициент технического состояния проточной части грунтового насоса $k_{\text{тег}}$, учитывающий гидромеханические потери в рабочем колесе и отводе.

Данное отношение можно представить в виде

$$\frac{H_h}{H_w} = 1 - \frac{\rho_h - \rho_w}{\rho_h} \lambda \frac{\pi\psi}{\eta_\text{г}^2} \frac{R_2^2}{rD_\text{г}} \times$$

$$\times \left[\frac{\rho_w}{\rho_h - \rho_w} a \left(\frac{R_3^3}{D_\text{г} r^2} \right)^m - 1 \right], \qquad (1)$$

где ρ_h – плотность гидросмеси; ρ_w – плотность воды; λ – коэффициент гидравлического трения; ψ – коэффициент напора; $\eta_\text{г}$ – гидромеханический КПД грунтового насоса; R_2 – радиус рабочего колеса по выходным кромкам лопаток; $D_\text{г}$ – гидравлический диаметр; r – средний радиус отвода грунтового насоса; a – относительная плотность твердой фазы гидросмеси, $a = (\rho_s - \rho_w)/\rho_w$; R_3 – наружный радиус отвода насоса.

Преобразуем выражение (1), введя следующие коэффициенты:

$$\alpha = \frac{R_2^2}{rD_\text{г}} \left[\frac{\rho_w}{\rho_h - \rho_w} a \left(\frac{R_3^3}{D_\text{г} r^2} \right)^m - 1 \right]; \qquad (2)$$

$$\beta = \lambda \frac{\pi\psi}{\eta_\text{г}^2}; \qquad (3)$$

$$k_{\text{тсг}} = 1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_h} \beta\alpha\,. \qquad (4)$$

Формула (1) показывает, что при измерении напора насоса в метрах столба гидросмеси коэффициент технического состояния изменяется от единицы до нуля. С увеличением относительной плотности коэффициент $k_{\text{тсг}}$ линейно уменьшается. На величину $k_{\text{тсг}}$ основное влияние оказывают коэффициенты β и α.

При известном напоре, развиваемом грунтовым насосом, можно определить потребляемую мощность при работе на гидросмеси

$$N_h = N_w \frac{\rho_h}{\rho_w}, \qquad (5)$$

где N_h – мощность, потребляемая грунтовым насосом при работе на гидросмеси; N_w – мощность, потребляемая грунтовым насосом при работе на чистой жидкости (воде).

Мощности N_h и N_w можно записать в следующем виде:

$$N_h = \frac{\rho_h g H_h Q_h}{\eta_{h.\text{м}}}; \qquad (6)$$

$$N_w = \frac{\rho_w g H_w Q_w}{\eta_{w.\text{м}}}, \qquad (7)$$

где $\eta_{h.\text{м}}$ и $\eta_{w.\text{м}}$ – механический КПД грунтового насоса при работе на гидросмеси и на воде, соответственно; Q_h и Q_w – подача грунтового насоса, соответственно, гидросмеси и воды.

Тогда выражение (5) будет иметь вид

$$\frac{\rho_h g H_h Q_h}{\eta_{h.\text{м}}} = \frac{\rho_w g H_w Q_h}{\eta_{w.\text{м}}} \frac{\rho_h}{\rho_w} \Rightarrow$$

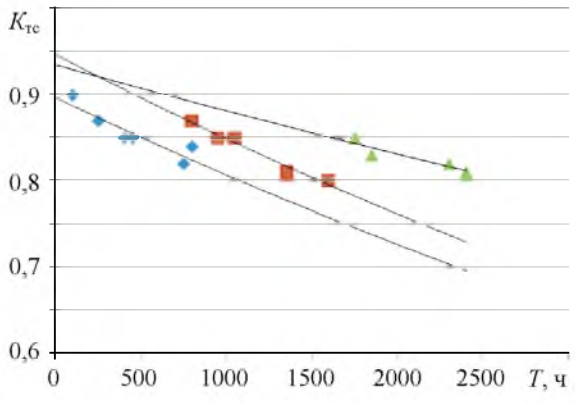
$$\Rightarrow \frac{H_h Q_h}{\eta_{h.\text{м}}} = \frac{H_w Q_w}{\eta_{w.\text{м}}}, \qquad (8)$$

откуда получаем

$$\frac{H_h}{H_w} = \frac{Q_w}{Q_h} \frac{\eta_{h.\text{м}}}{\eta_{w.\text{м}}} = k_{\text{тсм}}, \qquad (9)$$

где $k_{\text{тсм}}$ – механический коэффициент технического состояния грунтового насоса.

Общая величина коэффициента технического состояния грунтового насоса будет равна произведению гидромеханического коэффициента технического состояния (4) и механического коэффициента технического состояния (9), т.е.



Графики изменения коэффициента технического состояния грунтового насоса $K_{тс}$ от времени наработки T в межремонтные периоды

$$K_{тс} = k_{тсм} k_{тсг} = \frac{Q_w}{Q_h} \frac{\eta_{h.м}}{\eta_{w.м}} \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_h}\beta\alpha\right). \quad (10)$$

Если учесть влияние гидроабразивного износа рабочих поверхностей грунтового насоса на величину коэффициента технического состояния, то формулу (10) следует записать как:

$$K_{тс} = \frac{1}{\chi} \frac{Q_w}{Q_h} \frac{\eta_{h.м}}{\eta_{w.м}} \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_h}\beta\alpha\right), \quad (11)$$

где χ – допустимая величина уменьшения массы деталей проточной части грунтового насоса (степень износа).

Коэффициент технического состояния является обобщенной характеристикой грунтового насоса и может быть принят в качестве критерия периода нормальной эксплуатации гидротранспортной системы. Значительное снижение величины $K_{тс}$ свидетельствует о механическом износе рабочих элементов грунтового насоса и увеличении гидромеханических потерь в рабочих каналах проточной части.

На рисунке приведена характерная зависимость коэффициента технического состояния $K_{тс}$ грунтового насоса ГрТ 8000/71 Качканарского ГОК от времени наработки T с учетом проводимых ремонтов. Предельно допустимое значение коэффициента технического состояния грунтового насоса перед выводом его в ремонт принято равным 0,8.

Как видно из рисунка, зависимость $K_{тс}(T)$ явно не монотонная. После проведения очередного ремонта коэффициент технического состояния скачкообразно увеличивается. Однако, полного восстановления не происходит [1]. Следует отметить, что зависимость $K_{тс}(T)$ может быть получена только на основании постоянного контроля параметров работы конкретного грунтового насоса.

Выводы

Отсутствие единой методики комплексной диагностики технического состояния грунтовых насосов приводит к многочасовым простоям горно-обогатительных фабрик, ежегодно являясь причиной многомиллионных убытков. В статье рассмотрен вопрос организации единой службы диагностирования грунтовых насосов и предложены варианты осуществления контроля технического состояния оборудования различными методами, включая методы неразрушающего контроля и методами параметрической диагностики.

Рассмотрена возможность контроля технического состояния насосного агрегата посредством мониторинга его коэффициента технического состояния – обобщенной характеристики грунтового насоса, которая может быть принята в качестве критерия за период нормальной эксплуатации гидротранспортной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калинин А.Ф.* Повышение эффективности работы газотурбинного энергопривода на магистральных газопроводах // Известия вузов. Нефть и газ. 2002. № 6. С.86-92.

2. *Микаэлян Э.А.* Располагаемая мощность газотурбинного привода газоперекачивающих агрегатов / Э.А.Микаэлян, В.Ю.Подмарков // Газовая промышленность. 2000. С.68-71.

3. Обеспечение надежности магистральных трубопроводов / А.А.Коршак, Г.Е.Коробков, В.А.Душин, Р.Р.Набиев. Уфа, 2000. 170 с.

REFERENCES

1. *Kalinin A.F.* Improving the efficiency of the gas turbine drive energy on gas pipelines // Proceedings of the universities. Oil and Gas. 2002. N 6. P.86-92.

2. *Mikaelian E.A.*, *Podmarkov V.Y.* Available capacity turbine drive gas compressor units // Gas industry. 2000. P.68-71.

3. *Korshak A.A.*, *Korobkov G.E.*, *Dushyn V.A.*, *Nabiyev P.P.* Ensuring the reliability of pipelines. Ufa, 2000. 170 p.