

УДК 622.87:613.644

В.Г. Гуляев, д-р техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет,
С.А. Китаева, научный сотрудник, аспирант, МакНИИ

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований вибрационных процессов при работе насосных станций вскрыты причины их повышенной виброактивности и обоснованы способы и средства достижения безопасных уровней их виброакустических характеристик.

Ключевые слова: насосная станция, виброакустические характеристики, механизированные крепи, привод силового насоса, клапанный распределитель.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В современных условиях проблема энергоснабжения Украины может решаться на основе эффективной разработки собственных запасов угля путем резкого снижения себестоимости его добычи. Поэтому важной научно-технической проблемой горного машиностроения является создание для угольной отрасли очистных механизированных комплексов высокого технического уровня, обеспечивающих эффективную отработку угольных пластов на основе значительного повышения эксплуатационной надежности и безопасности оборудования, а также снижения эксплуатационных затрат.

Анализ исследований и публикаций. В работе [1] впервые выполнены анализ и систематизация источников вибрации в составе современных высоконапорных насосных агрегатов (ВНА), а также рассмотрены возможные пути снижения их виброактивности.

В исследованиях [2, 3] установлены крутильные колебания резонансного характера в приводах ВНА насосных станций СНТ 32 и СНТ40, показана необходимость учета динамических свойств электропривода ВНА, при определении амплитуд крутильных колебаний, неравномерности угловой скорости приводных двигателей и характеристик динамичности при силовом и кинематическом возбуждении в системе.

В работе [4] рассмотрены, вопросы влияния динамических свойств ВНА и вибрационных процессов на безопасность, надежность и ресурс насосных агрегатов СНТ и СНД.

В работе [5] установлены закономерностей формирования вибрационных спектров ВНА при совместном действии инерционных и полезных (технологических) нагрузок с учетом динамических свойств нагнетательных клапанов.

Постановка задач исследования. Задачами данной работы являются обоснования способов и средств радикального снижения уровней вибрации и шума, генерируемых ВНА, с целью повышения технического уровня насосных станций очистных комплексов и обеспечения безопасных условий труда.

Изложение материала и результаты.

По данным Минуглепрома Украины по состоянию на 30.06.2011 г. на шахтах, отрабатывающих полого-наклонные пласты, находилось в эксплуатации 157 очистных комплексов, которыми за 6 месяцев добыто свыше 40 млн. т. угля.

Базой современных очистных комплексов являются, как известно, щитовые механизированные крепи, агрегатированные с конвейером и системы их гидропривода с насосными станциями (НС).

Объективная необходимость повышения эксплуатационных качеств механизированных крепей (МК) обусловила мировые тенденции создания энергонасыщенных НС с высокими значениями рабочих параметров давления (до 40 МПа) и расхода рабочей жидкости (до 200 л/мин), обеспечиваемых одним насосным агрегатом с электродвигателем мощностью от 60 до 230 кВт. Эти тенденции нашли отражение в современных НС типа СНТ и СНД конструкции ГП «Донгипроуглемаш», типа СНЛ и СНЕ совместного производства ОАО «Людиновский агрегатный завод» (РФ) и фирмы «Хаухинко» (Германия), а также других зарубежных фирм [6].

В большинстве отечественных и зарубежных типов НС нашли применение ВНА, структура которых основана на использовании нерегулируемых асинхронных двигателей с $n_c = 1500$ об/мин, понижающей зубчатой передачи с передаточным числом $U = 2 \div 2,5$ на главный приводной вал насоса и кривошипно-шатунных механизмов, сообщающих возвратно-поступательное движение ползунам-толкателям и плунжерам. Силовые трех- (пяти-) плунжерные насосы выполнены с клапанным распределением рабочей жидкости, регули-

рование подачи осуществляется дискретным способом по давлению в напорной магистрали.

Проектные значения показателей надежности НС типа СНД согласно техническим условиям: средняя наработка на отказ 80...100 ч, средний ресурс до капитального ремонта 10...15 тыс. ч, уровень звукового давления 110 дБА. Режимы работы НС очень напряженные: до 20÷24 ч/сутки с числом включений до 1687 раз [7].

Опытом эксплуатации НС типа СНД 100/32, СНД 150/40 (с одним ВНА) и исполнений СНД 200/32, СНД 300/40 (с двумя ВНА) установлено, что фактические показатели среднего ресурса значительно ниже проектных. Имеют место опасные отказы: разрушения корпусов гидроблоков насоса и силовых деталей в приводе с кривошипно-шатунными механизмами, разрушение заделок на трубопроводах с выбросом струи рабочей жидкости (РЖ) под высоким давлением, травмирования струями высокого давления операторов НС и рабочих очистных забоев.

Высоки эксплуатационные затраты. Так, по данным ПАО ШУ «Покровское» для девяти добычных участков за 8 месяцев (январь-август 2010 г.) на замену силовых агрегатов и подпиточных баков НС СНЛ(10 ед.) и СНТ (11 ед.) затрачено свыше 800 тыс. грн.

Одной из основных причин отмеченных недостатков являются высокие уровни вибрации и шума, генерируемые ВНА указанных НС. Доля мощности приводов указанных НС, преобразуемая в вибрацию и шум (звуковая мощность) составляет от 5 до 8 кВт, а акустический КПД от $5,3 \cdot 10^{-2}$ до $9,1 \cdot 10^{-2}$. Эти значения КПД на 7 порядков отстают от требований к малозумным машинам, для которых мощность излучаемая в виде воздушного шума и вибраций не должна превышать $10^{-10} \dots 10^{-9}$ части номинальной мощности привода [8]. Высокий уровень их виброакустических характеристик (ВАХ) существенно снижает надежность и безопасность функционирования ВНА, НС и системы гидропривода МК в целом.

Таким образом, исследование динамики рабочих процессов НС, с целью установления основных источников и закономерностей формирования вибрации и шума, является актуальной научной задачей. Ее решение позволяет обосновать эффективные способы и средства радикального улучшения виброакустических характеристик НС и на этой основе повысить их технический уровень и, прежде всего, надежность и безопасность эксплуатации МК очистных комплексов.

В соответствии с поставленными в работе задачами были выполнены:

- анализ и систематизация источников вибрации в составе ВНА с учетом различия их физической природы [1];
- разработки и обоснования динамических и математических моделей ВНА для исследования вибрационных процессов [9, 10].
- теоретические [2,3,10] и экспериментальные [12] исследования, формируемых спектров вибраций с учетом динамических свойств ВНА, особенностей их структуры и параметров приводных двигателей, а также способа регулирования подачи;
- разработки и обоснования способов и средств радикального повышения технического уровня современных насосных станций [11, 13,14,15].

На основе выполненных исследований получены следующие результаты.

1) Выявлены закономерности формирования ВАХ ВНА и установлено, что основными и постоянно действующими факторами, возбуждающими вибрации и шум при работе насосных агрегатов с традиционной структурой и параметрами являются:

- инерционные силы и моменты, формируемые в приводе с кривошипно-шатунными механизмами (КШМ), вследствие органически присущих этим механизмам свойствам внутренней и внешней виброактивности;
- полезные (технологические) нагрузки и обусловленные ими гидродинамические процессы (высокие пульсации давления) в силовом плунжерном насосе и динамические нагрузки при механических колебаниях в клапанных распределителях рабочей жидкости;
- динамические нагрузки в приводе с зубчатой передачей (перекладка зазоров в зацеплении), вызываемые переходными процессами при дискретном способе регулирования подачи насоса по давлению в напорном трубопроводе;
- динамические нагрузки в электроприводе, обусловленные взаимодействием электромагнитных полей статора и ротора, центробежные силы от остаточной динамической неуравновешенности вращающихся масс ротора и муфты.

2) Установлено, что динамические свойства рассматриваемых насосных агрегатов не оптимальны, так как под действием силовых и кинематических возмущений в приводе силового насоса формируют-

ся резонансные явления и высокой интенсивности вибрации и шум, что снижает надежность и безопасность функционирования НС.

3) Впервые установлено, что, при использовании для ВНА НС типа СНТ и СНД электродвигателей мощностью $60 \div 120$ кВт с синхронной частотой вращения $n_c = 1500$ об/мин, в приводе агрегата формируются под действием силовых и кинематических возмущений крутильные колебания резонансного характера; крутильные колебания ротора двигателя, зубчатых колес и эксцентрикового вала усиливают вибрации звеньев КШМ и продольные вибрации ползунов-толкателей плунжеров.

4) Установленные экспериментально в эксплуатационных условиях значения виброскорости на агрегатах НС типа СНТ 32 (до 27 мм/с), подтверждают полученные расчетом значения акустического КПД и звуковой мощности (5...8 кВт). Они характеризуют техническое состояние исследуемых ВНА как неудовлетворительное, что свидетельствует о необходимости совершенствования систем диагностики НС в целях повышения их технического уровня (надежности и безопасности эксплуатации).

5) Впервые установлены теоретически и подтверждены экспериментальными исследованиями параметры амплитудно-частотных спектров полигармонических вибраций ВНА НС типа СНТ и СНД; максимальные значения виброскорости двигателя и гидроблоков насоса зарегистрированы на резонансной частоте 10 Гц (от 14 до 27 мм/с), высокие значения виброскорости установлены также на частотах 20; 31,5; 40; 50 и 60 Гц, спектр виброскорости и виброперемещений – дискретный, спектр виброускорений – смешанный [12].

Выводы и направления дальнейших исследований.

Современные энергонасыщенные НС с ВНА традиционной структуры являются потенциально опасными объектами, так как генерируемые ими высокие уровни вибрации и шума снижают эксплуатационную надежность и безопасность системы гидропривода механизированной крепи очистного комплекса.

Радикальным способом повышения технического уровня НС, на основе устранения причин их повышенной виброактивности, является оптимизация структуры ВНА и параметров его привода.

Это может быть достигнуто путем реализации следующих технических решений:

а) применением для привода силового насоса с заданными значениями рабочего давления и подачи асинхронных электродвигате-

лей необходимой мощности с $n_c = 600$ или 750 об/мин с повышенным моментом инерции ротора; при этом устраняется возможность формирования резонансных явлений в приводе агрегата и исключается из его состава зубчатая передача – активный источник вибрации и шума;

б) применением в клапанном распределителе малоинерционных нагнетательных клапанов, что позволит снизить высокие забросы давления в гидроблоках при открытии напорных клапанов и шум при их закрывании;

в) заменой дискретного способа регулирования подачи насоса на плавный, например, с частотно-регулируемым асинхронным двигателем, что позволит устранить вибрацию и шум, формируемые при переходных процессах в системе, обусловленных частым чередованием режимов «нагрузка-разгрузка» силового насоса.

Реализация предложенных рекомендаций позволит снизить скорректированный уровень звукового давления не менее, чем на 20 дБА, тем самым повысятся эксплуатационные надежность и безопасность НС и всей системы гидропривода механизированных крепей очистных комплексов.

Список литературы

1. Анохина С.А., Гуляев В.Г. Анализ и систематизация источников вибрации высоконапорных насосных агрегатов и некоторые пути снижения их виброактивности. // «Механика жидкости и газа»/ Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – С. 5-11.
2. Гуляев В.Г., Гуляев К.В., Анохина С.А. Крутильные колебания в электромеханическом приводе насосного агрегата и некоторые способы их устранения // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. – № 1. – С. 34-43.
3. Гуляев В.Г., Анохина С.А. Влияние характеристик электродвигателей на крутильные колебания и виброактивность привода насосных агрегатов для механизированных крепей // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 16(142). Серія: ”Гірничо-електромеханічна”. Донецьк – 2008. – С.84-96.
4. Гуляев В.Г., Китаева С. А. Динамические свойства насосных агрегатов и их влияние на надежность гидропривода механизированных крепей // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2010. – № 1 – С. 210-218.
5. Гуляев В.Г., Китаева С.А. Причины повышенной виброактивности насосных станций для механизированных крепей и некоторые пути их устранения // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 18(172), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – С. 53-68.
6. Гуляев В.Г., Бойко Н.Г. Требования к гидроэнергетическим установкам для механизированных крепей нового технического уровня //Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля.- Донецк, ДонНТУ, 2000, №2- С.47-51.

7. Аппаратура управления режимами работы насосных станций типа СНД для механизированных крепей / В.В.Косарев, Н.И.Стадник, Ю.И.Варшавский и др. Сб. научных трудов ГП «Донгипроуглемаш», Донецк, Астро, 2008. – С.493-507.
8. Артоболовский И.И., Бобровницкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин // М.: Наука, 1976 – 296 с.
9. Гуляев В.Г., Гуляев К.В., Анохина С.А. Динамические модели для исследования виброактивности насосных агрегатов в системах гидропривода механизированных крепей // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 14(127), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2007. – С.81-92.
10. Гуляев В.Г., Анохина С.А. Математические модели для исследования вибраций насосных агрегатов с кривошипно-ползунными механизмами в приводе // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. – № 2 – С. 56-63.
11. Китаева С.А., Гуляев В.Г. Теория виброактивности насосных агрегатов с кривошипно-шатунными механизмами в приводе силового насоса // Збірник наукових праць. Вісник Криворізького технічного інституту. Випуск 23. – Кривий Ріг, 2009. – С. 105-109.
12. Гуляев В.Г., Яценко В.А., Анохина С.А. Экспериментальный метод определения вибрационных параметров высоконапорных насосных агрегатов для механизированных крепей // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 16(142), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – С. 97-105.
13. Гуляев В. Г., Гуляев К. В., Китаева С. А., Эренбург В.И. Высоконапорный насосный агрегат с пониженными уровнями вибрации и шума // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 17(157), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2009. – С. 97-105.
14. Патент на корисну модель № 45449. Насосна станція. / Гуляев В. Г., Гуляев К. В., Еренбург В.И., Китаева С.А.; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21, 2009 р.
15. Гуляев В.Г., Китаева С.А. Повышение технического уровня насосных агрегатов для систем гидропривода механизированных крепей // М.: Новые технологии, «Горное оборудование и электромеханика», №4, 2011.- С.2-7.

Стаття надійшла до редколегії 26.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кондрахін В.П.

В.Г. Гуляєв, С.А. Китаєва. Способи підвищення технічного рівня насосних станцій для механізованих кріплень очисних комплексів. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень вібраційних процесів при функціонуванні насосних станцій встановлено причини їх підвищеної виброактивності, обґрунтовано способи та засоби досягнення безпечних рівнів їх віброакустичних характеристик.

Ключові слова: насосна станція, віброакустичні характеристики, механізовані кріплення, привід силового насосу, клапаний розподільник.

V. Gulyaev, S. Kitaeva. Rise of the Technological Level of the Pumping Plants for the Powered Supports of the Cleaning Complexes. The regularities of forming of the vibration processes of the pump units and the reasons of their hyperactivity have been stated; the ways and methods to achieve the allowed levels of the vibroacoustic characteristics of the pumping plants were grounded.

Keywords: pumping plant, vibroacoustic characteristics, powered supports, power pump drive, valve actuating gear.