

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.Г. Гуляев, К.В. Гуляев, С.А. Китаева

**ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И НАДЕЖНОСТЬ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

М О Н О Г Р А Ф И Я

Под общей редакцией доктора технических наук, профессора,
лауреата Государственной премии Украины,
Заслуженного деятеля науки и техники Украины
В.Г. Гуляева

Рекомендовано к печати Ученым советом
Донецкого национального технического университета

Д о н е ц к
Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ»
2 0 1 2

УДК 621.22+622.236.2

ББК 31.5

Г 94

Р е ц е н з е н т ы:

Грядущий Б.А. – глава ОАО «Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М. Федорова», доктор технических наук, профессор;

Кондрахин В.П. – заведующий кафедрой горнозаводского транспорта и логистики Донецкого национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

Нечпаев В.Г. – заведующий кафедрой «Основы проектирования машин» Донецкого национального технического университета, доктор технических наук, профессор.

*Монография печатается по решению Ученого совета
Донецкого национального технического университета
протокол № 4 от 20 апреля 2012 г.*

Гуляев В.Г.

Г 94 Виброакустические процессы и надежность гидроэнергетических установок очистных комплексов: монография / В.Г. Гуляев, К.В. Гуляев, С.А. Китаева; под общ. ред. В.Г. Гуляева. – Донецк: Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2012. – 224 с.: ил., табл.

ISBN 978-966-8248-39-9

Выполнен анализ и систематизация источников вибрации и шума, разработаны теоретические основы анализа динамики насосных агрегатов гидроэнергетических установок. Исследованы динамические свойства насосных агрегатов, установлены закономерности формирования виброакустических процессов и причины повышенной виброактивности, обоснованы способы и средства достижения безопасных уровней виброакустических характеристик гидроэнергетических установок.

УДК 621.22+622.236.2

ББК 31.5

Виконано аналіз і систематизацію джерел вібрації та шуму, розроблено теоретичні основи аналізу динаміки насосних агрегатів гідроенергетичних установок. Досліджено динамічні властивості насосних агрегатів, встановлено закономірності формування віброакустичних процесів і причини підвищеної віброактивності, надано обґрунтування способів і засобів досягнення безпечних рівнів віброакустичних характеристик гідроенергетичних установок.

ISBN 978-966-8248-39-9

© Гуляев В.Г., Гуляев К.В., Китаева С.А., 2012
© ДонНТУ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1 АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ НАДЕЖНЫХ И МАЛО-ШУМНЫХ ГЭУ (НС) ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ	10
1.1 Виброакустические процессы и их влияние на оборудование и обслуживающий персонал	10
1.2 Краткий обзор работ по созданию и совершенствованию ГЭУ (НС) для систем гидропривода механизированных крепей	19
1.3 Анализ основных видов отказов и опасностей при эксплуатации ГЭУ (НС)	43
1.4 Актуальность повышения надежности и снижения виброактивности ГЭУ (НС)	51
1.5 Состояние вопроса и обоснование объектов исследований	61
1.6 Выводы, задачи и методы исследований	65
2 ТЕОРИЯ РАБОЧИХ И ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ	69
2.1 Анализ и систематизация источников вибрации ВНА и возможных путей снижения их виброактивности	69
2.2 Разработка динамических и математических моделей насосных агрегатов	75
2.2.1 Динамические модели ВНА и его элементов	75
2.2.2 Математическая модель привода агрегата	83
2.2.3 Математические модели механической части агрегата	91
2.3 Природа виброактивности ВНА с КШМ в приводе насосов при дискретном регулировании подачи	96
3 ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВИБРОАКТИВНОСТЬ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ	105
3.1 Кинематические и динамические свойства КШМ в приводе ВНА ГЭУ типа СНТ32	105
3.2 Динамические и технологические нагрузки в приводе ВНА	112

3.3	Исследование крутильных колебаний в приводе ВНА при силовых возмущениях	120
3.4	Влияние характеристик приводных двигателей на виброактивность и надежность ВНА ГЭУ типа СНТ40.....	128
3.5	Динамические свойства и надежность ВНА ГЭУ типа СНД 100/32	140
3.6	Пути снижения виброактивности и повышения надежности ВНА.....	149
3.7	Выводы по разделам 2 и 3	150
4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	153
4.1	Экспериментальный метод определения виброакустических параметров НС	153
4.2	Методика и результаты измерений вибрации и шума насосных станций СНТ и СНД.....	161
4.3	Определение ожидаемого уровня шума на рабочем месте оператора.....	169
4.4	Исследование ВАХ насосных станций в шахтных условиях.....	175
4.5	Выводы по разделу 4	179
5	ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ШУМА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	181
5.1	Динамические свойства и виброактивность ВНА с безредукторным приводом	181
5.2	Разработка ВНА с пониженными уровнями вибрации и шума	188
5.3	Исследование на динамическую устойчивость ВНА при параметрических возмущениях колебаний	197
5.4	Способы повышения технического уровня ВНА гидроэнергетических установок	209
5.5	Выводы по разделу 5	211
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	213
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	217

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ГЭУ – гидроэнергетические установки
ВНА – высоконапорный насосный агрегат
ПДШХ – предельно допустимые шумовые характеристики
ТДШХ – технически достижимые шумовые характеристики
КШМ – кривошипно-шатунный механизм
ГМК – гидрофицированная механизированная крепь
НС – насосные станции
ОПО – объект повышенной опасности
ЧМС – человеко-машинные системы
РЖ – рабочая жидкость
ОК – очистной комплекс
АР – автомат разгрузки
ПУ – подпиточная установка
ВАХ – виброакустические характеристики
ТЗ – техническое задание
ТУ – технические условия
КПД – коэффициент полезного действия
АД – асинхронный двигатель
ВАД – взрывозащищенный асинхронный двигатель
СМ – соединительная муфта
ЗМ – зубчатая муфта
ЗП – зубчатая передача
ПБ – поршневой блок
КР – клапанный распределитель
ТН – технологическая нагрузка
СУ – система управления
ММ – математическая модель
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика
 T_i – наработка на отказ, ч
 T_{ei} – время восстановления, мин

ВВЕДЕНИЕ

По состоянию на 30.06.2011г. на шахтах Украины работало 157 комбайновых очистных комплексов, которыми за 6 месяцев 2011г. добыто 41,3 млн. тонн угля.

Базой современных очистных комплексов служат гидрофицированные механизированные крепи (ГМК), агрегатированные с конвейером и система их гидропривода с гидроэнергетической установкой (ГЭУ) комплекса. В состав ГЭУ входят, как правило, два высоконапорных насосных агрегата (ВНА) и подпиточная установка (ПУ): бак с фильтрами для рабочей жидкости (РЖ), гидрокоммуникации, соединяющие ВНА с ПУ и система управления рабочими режимами (АУСН). ГЭУ называют также насосными станциями (НС) [9, 16 и др.], однако первый термин более точно определяет их функциональное назначение. В монографии используются эти термины как синонимы.

ГМК являются базовой структурой системы агрегатирования, они должны обеспечивать безопасное и эффективное управление кровлей в процессе выемки угля, ориентацию, направленное перемещение и своевременную коррекцию положения комплекса в целом и отдельных его машин в пространстве лавы. Управляющие воздействия на функционирующее оборудование комплекса осуществляются операторами в системе «человек – производственная среда».

Рабочие параметры и надежность ГЭУ должны обеспечивать эффективное и безопасное выполнение крепью всех ее функций. Выполнение эксплуатационных требований к крепи возможно при реализации проектных (заданных ТЗ) параметров давления в напорной магистрали (32 - 40 МПа) и расхода РЖ (до 300 - 400 л/мин), обеспечиваемых насосными агрегатами. Только при этих условиях реализуются нормативные значения коэффициента начального распора гидростоек (не менее 0,8), сопротивления крепи опусканию кровли, усилия передвижки секций крепи и конвейера, скорости крепления лавы.

В связи с постоянным усложнением горно-геологических условий применения очистных комплексов, резко возросли требования к эксплуатационным качествам механизированной крепи и ее ГЭУ.

Все функциональные движения выполняются линейными гидродвигателями (гидростойки, гидродомкраты, гидропатроны) секций крепи, соединенными посредством элементов управляющей гидрав-

лики и гидрокоммуникаций с гидроэнергетической установкой системы гидропривода механизированной крепи комплекса.

Особенностью системы гидропривода механизированных крепей является необходимость ее готовности в каждый момент времени обеспечить выполнение любой операции технологического цикла работы комплекса. Режимы работы ГЭУ механизированных крепей в лавах с высокой нагрузкой весьма напряженные: в течение суток насосные агрегаты включены 20 - 22 часа, от 50 до 70 % этого времени они работают в режиме обеспечения номинальных значений давления и расхода РЖ в гидросистеме крепи.

Постоянно растущие эксплуатационные требования к ГЭУ обусловили необходимость создания (в виде единичных модулей) энергонасыщенных высоконапорных насосных агрегатов (ВНА): на давление 32 - 40 МПа, подачу 100 - 150 л/мин, с приводными двигателями мощностью 60 - 120 кВт. Известны также ГЭУ зарубежных фирм, комплектуемые ВНА с более высокими рабочими и энергетическими характеристиками (см. п.1.2).

Опыт эксплуатации ГЭУ первых поколений и современных типа СНД, оснащаемых двумя энергонасыщенными ВНА, показал, что их функционирование сопровождается генерированием высоких уровней вибрации и шума, превышающих предельно допустимые значения. При этом фактические показатели надежности (безотказности и ресурса) ГЭУ значительно ниже проектных.

Объясняется это тем, что задача создания насосных агрегатов высокого технического уровня (малозумных, надежных и безопасных) является весьма сложной и наукоемкой. Необходимость использования строгих аналитических и экспериментальных методов для решения этой задачи, отмечалась еще Ю.Ф. Пономаренко в книге «Насосы и насосные станции механизированных крепей», М.: Недра, 1983.

В настоящее время, для проектирования современных ВНА (сложных, нелинейных, виброактивных, динамических систем) – должны использоваться закономерности формирования виброакустических процессов, установленные на основе теоретических и экспериментальных методов исследования. Базой последних являются фундаментальные положения механики машин и науки «Виброакустика».

В основу содержания предлагаемой монографии положены материалы и результаты исследований вибрационных процессов ГЭУ (НС) очистных комплексов, с целью снижения их виброактивности,

повышения надежности и безопасности эксплуатации. Исследования были выполнены авторами данной работы под руководством доктора технических наук, профессора В.Г. Гуляева на кафедре «Горные машины» ДонНТУ и в лаборатории безопасности горных машин МакНИИ.

Содержание монографии ориентировано, главным образом, на развитие теории рабочих процессов высоконапорных насосных агрегатов ГЭУ, раскрытие закономерностей формирования ими вибрационных процессов, выявление и устранение причин повышенной виброактивности, с целью создания научных основ проектирования энергонасыщенных ВНА для ГЭУ высокого технического уровня.

Монография состоит из введения, пяти разделов и заключения, содержит список цитированных источников из 70 наименований.

В первом разделе рассмотрены основные понятия виброакустики, приведены сведения по характеристикам известных насосных станций, видам отказов и опасностей при их эксплуатации, показана актуальность разработки теоретической базы для проектирования надежных и малошумных ГЭУ очистных комплексов. Первый раздел написан авторами совместно.

Во втором разделе разработаны математические основы анализа динамики рабочих процессов насосных агрегатов ГЭУ и формирования ими вибрации и шума. Для анализа вибрационных процессов современных ВНА, с КШМ в приводе силовых насосов, предложены и реализованы динамические и математические модели на основе развития методов исследования динамики машин с механизмами циклового действия, разработанных проф. И.И. Вульфсоном [34, 35]. Второй раздел монографии разработан В.Г. Гуляевым с участием К.В. Гуляева и С.А. Китаевой.

Третий раздел посвящен исследованиям динамических свойств и виброактивности насосных агрегатов с электромеханическим приводом с учетом: особенностей структуры агрегата, динамической характеристики двигателя, нелинейных характеристик КШМ, конструкции силового насоса, технологической нагрузки и способа регулирования подачи РЖ в гидросистему ГМК. С учетом сложности рассматриваемых задач, изложение теоретического материала выполнено с примерами расчета исходных характеристик и численных значений исследуемых вибропараметров применительно к конкретным типам ВНА. Третий раздел разработан авторами совместно, п. 3.4 – с участием магистра И.А. Квитковского.

В четвертом разделе изложены основы экспериментальных методов исследований виброакустических параметров, методики и результаты измерений вибрации и шума ГЭУ (НС) в стендовых и шахтных условиях. Четвертый раздел написан авторами совместно. В стендовых и шахтных исследованиях ВАХ ГЭУ принимали участие научный сотрудник НИИГМ им. М.М. Федорова, к.т.н. В.А. Яценко и научный сотрудник МакНИИ, аспирант – С.А. Китаева.

В пятом разделе выполнены: исследования динамических свойств и виброактивности новых (виртуальных) ВНА с безредукторным приводом, разработка технических решений по оптимизации его структуры и параметров, проверка на динамическую устойчивость в отношении параметрического резонанса, обоснованы способы и средства радикального снижения вибрации и шума насосных агрегатов, с целью повышения их надежности и безопасности. Пятый раздел разработан авторами совместно.

Введение и заключение написаны д.т.н., профессором В.Г. Гуляевым, им же выполнено общее редактирование монографии.

Результаты выполненных исследований, выводы и рекомендации целесообразно использовать при разработке совместно с ГП «Донгипроуглемаш» и ГП «МакНИИ» нормативного документа по проектированию и расчетам малошумных, надежных и безопасных ГЭУ (НС) высокого технического уровня для систем гидропривода механизированных крепей очистных комплексов.

Монография предназначена для научных работников, аспирантов и инженеров-конструкторов, занятых в сферах исследования, проектирования и эксплуатации современных ГЭУ для систем гидропривода механизированных крепей очистных комплексов.

Книга будет полезной для студентов вузов направления подготовки «Машиностроение», специальности «Горные машины и комплексы» (КПМО), а также для студентов других специальностей направлений подготовки «Инженерная механика» и «Горное дело».

Авторы выражают искреннюю признательность рецензентам докторам технических наук, профессорам: Б.А. Грядущему, В.П. Кондрахину, В.Г. Нечепаеву, а также – благодарность И.А. Квитковскому за помощь, оказанную при подготовке монографии к изданию.

Особую благодарность авторы монографии выражают Ю.А. Федотову за помощь в ее издании.

Все замечания и советы по монографии, направленные на ее улучшение, будут приняты авторами с благодарностью.