

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.О. Гутаревич

**ДИНАМИКА ШАХТНЫХ
ПОДВЕСНЫХ
МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ**

Монография

Донецк
— *Видавництво*
ЛАНДОН-XXI

2014

УДК 622.625.6
ББК 33.16
Г 97

*Рекомендовано к печати ученым советом
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
(протокол № 9 от 21 ноября 2014 г.)*

Рецензенты:

Брюханов А.М., д-р техн. наук, директор Макеевского государственного научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ);

Шабаев О.Е., д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой горных машин ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Гутаревич В.О.

Г 97 Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог: монография [Текст] / В.О. Гутаревич. – Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. – 224 с.

ISBN 978-617-7049-81-3

Монография написана на основе исследований шахтных подвесных монорельсовых дорог. Рассмотрены динамические процессы, которые возникают во время движения подвижного состава по подвесному монорельсовому пути. Предложены решения для совершенствования подвески монорельсовой дороги, позволяющие снизить возникающие дополнительные динамические нагрузки.

Монография предназначена для специалистов, работающих в сфере шахтного монорельсового транспорта, сотрудников высших учебных заведений, научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, а также для студентов инженерных направлений.

Ил. 48. Библиогр.: 248 назв.

УДК 622.625.6
ББК 33.16

ISBN 978-617-7049-81-3

© Гутаревич В.О., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1. Общие сведения о монорельсовом транспорте для угольных шахт.....	9
1.2. Логистический анализ целесообразности применения шахтных подвесных монорельсовых дорог	21
1.3. Структурный синтез подвесных монорельсовых дорог: решенные и нерешенные задачи.....	30
1.4. Постановка задач исследования	44
РАЗДЕЛ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАХТНОГО ПОДВЕСНОГО МОНОРЕЛЬСОВОГО ПУТИ.....	47
2.1. Вступительные замечания.....	47
2.2. Продольные колебания монорельсового пути.	48
2.3. Поперечные колебания монорельсового пути.	61
2.4. Поперечные колебания монорельса при действии на него продольных сил	68
2.5. Колебания подвесного пути с подвижной нагрузкой.....	79
2.6. Выводы.....	95
РАЗДЕЛ 3. ДИНАМИКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ШАХТНОЙ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ.....	97
3.1. Вступительные замечания.....	97
3.2. Исследование колебаний подвесного состава, возникающих во время движения по подвесному монорельсу.....	99
3.3. Колебания подвесного экипажа в вертикальной плоскости	105

3.4. Боковые колебания экипажа подвесной монорельсовой дороги.....	114
3.5. Продольная динамика подвесной монорельсовой дороги.....	142
3.6. Выводы.....	157
РАЗДЕЛ 4. СИНТЕЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШАХТНОЙ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ.....	160
4.1. Вступительные замечания.....	160
4.2. Критерии оптимального синтеза шахтной подвесной монорельсовой дороги.....	161
4.3. Оптимальное управление подвеской монорельсового пути при детерминированных воздействиях	165
4.4. Синтез подвески монорельсового пути с оптимальными передаточными функциями	168
4.5. Синтез подвесной монорельсовой дороги при действии случайных и ударных нагрузок	173
4.6. Выводы.....	180
РАЗДЕЛ 5. СНИЖЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА КРЕПЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ	182
5.1. Вступительные замечания.....	182
5.2. Снижение колебаний подвижного состава и подвесного монорельсового пути.....	183
5.3. Разработка способов и устройств для уменьшения динамических нагрузок на и крепь горной выработки.	185
5.4. Снижение бокового раскачивания подвижного состава и монорельсового пути в горной выработке	191
5.5. Обоснование оптимального режима пуска и торможения шахтной подвесной монорельсовой дороги ..	192
5.6. Выводы.....	196
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	198
ЛИТЕРАТУРА	200

ВВЕДЕНИЕ

На угольных шахтах Донбасса основным видом транспорта вспомогательных грузов и людей по горизонтальным выработкам является локомотивная доставка, а по наклонным – канатная, что неизбежно связано с перецепками, перегрузками составов и применением многоступенчатой технологии перемещения. Особенно усложняется работа на шахтах, имеющих разветвленные и искривленные выработки со знакопеременным профилем. Опыт эксплуатации подвесного монорельсового транспорта за рубежом показывает о тенденциях перехода к бесперегрузочной технологии транспортирования с использованием подвесных монорельсовых дорог, позволяющим перевозить в пределах шахтного поля крупногабаритные грузы массой до 32 т.

Работа шахтной подвесной монорельсовой дороги, когда происходит движение состава по монорельсу, связана с силовыми действиями, обусловленными реализацией тягового и тормозного усилий, перемещением груза, изменчивостью ускорений, наличием стыков и неровностью пути. В результате этого наблюдаются колебания, приводящие к дополнительным затратам энергии, деформации самого пути и его подвески, включая крепь горной выработки. Вследствие чего ухудшаются эффективность, снижается надежность и повышается аварийность работы. С ростом скорости движения и массовой нагрузки на монорельс негативные последствия многократно усиливаются, что в значительной мере ограничивает возможность эксплуатации подвесных монорельсовых дорог на шахтах.

Таким образом, актуальная научная проблема состоит в установлении целесообразной области применения монорельсового транспорта, определении зависимостей формирования дополнительных динамических нагрузок на монорельс, его подвеску и крепь, а также оптимизации параметров для улучшения эксплуатационных качеств шахтных подвесных монорельсовых дорог.

В основу монографии положены результаты работ отечественных и зарубежных авторов, которые посвящены проблемам создания различных видов горно-добывающих и транспортных машин, а также логистики горных предприятий. Авторами таких работ являются: Берсенов В.С., Бережинский В.И., Блохин С.Е., Бойко Н.Г., Водяник Г.М., Говоруха В.В., Горбатов П.А., Гуляев В.Г., Дворников В.И., Кондрахин П.М., Корнеев С.В., Нечепав В.Г., Новиков Е.Е., Пенчук В.А., Процив В.В., Ренгевич А.А., Семенченко А.К., Сердюк А.А., Стадник Н.И., Таран И.А., Франчук Л.А., Хазанович Г.Ш., Шабаев О.Е., Шахтарь П.С., Шевченко Ф.Л., Ширин Л.Н., Штокман И.Г.

В зарубежной литературе проблема представлена в работах Arnold M., Becker F., Besa B., Chanda E.K., Kalker J.J., Koffman I.L., Muller P.C., Pasejka H.B., Pater A.D. de, Popp K., Schiehlen W., Sladkowski A., Slibar A., Tadao Ohyama, Trahair N.S., Valasek M., Willumeit H.-P., Ziegler F.

Объектом исследования являются динамические процессы, возникающие во время движения подвесной монорельсовой дороги в результате взаимодействия подвижного состава с монорельсом.

Предметом исследования является функциональная связь между конструктивными элементами подвесной монорельсовой дороги и динамическими нагрузками, воздействующими на подвижной состав, монорельс и крепь горной выработки.

Идея работы заключается в снижении амплитуд колебаний и динамических нагрузок, возникающих во время движения шахтной подвесной монорельсовой дороги, за счет оптимизации ее структуры и параметров.

В первом разделе «Состояние вопроса и постановка задач исследования» приведены результаты логистического анализа

целесообразности применения подвесных монорельсовых дорог на горных предприятиях. Выполнен структурный синтез и установлены современные научные подходы в исследовании шахтных подвесных монорельсовых дорог. В первом разделе приведены решенные и нерешенные задачи.

Во втором разделе монографии «Исследование динамических характеристик шахтного подвесного монорельсового пути» рассмотрены продольные и поперечные колебания монорельса с учетом закрепления его в горной выработке. В этом разделе исследованы колебательные процессы, возникающие при действии на монорельс продольных и поперечных подвижных сил.

Третий раздел монографии «Динамика подвижного состава шахтной подвесной монорельсовой дороги» посвящен исследованию колебаний подвижного состава с учетом упругости монорельсового пути. Здесь рассмотрены возникающие во время движения колебания экипажа в вертикальной, поперечной и продольной плоскостях.

В четвертом разделе монографии «Синтез динамических процессов шахтной подвесной монорельсовой дороги» произведен выбор критериев оптимального синтеза подвески монорельсового пути. В этом разделе исследован процесс оптимального управления подвеской монорельсового пути и проведен синтез монорельсовой дороги при действии случайных и ударных нагрузок.

В пятом разделе монографии «Снижение дополнительных нагрузок на крепь горных выработок, возникающих при движении подвесной монорельсовой дороги» разработаны способы и средства для уменьшения колебаний подвижного состава и подвесного монорельсового пути, что позволяет снизить дополнительные динамические нагрузки на подвеску монорельса и крепь горной выработки. Кроме того в этом разделе найдены параметры оптимального торможения подвижного состава подвесной монорельсовой дороги.

Монография подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы в соответствии с научным проектом «Теоретические и экспериментальные основы создания шахтных подвесных монорельсовых дорог». Исследования по теме

монографии проводились на кафедре горнозаводского транспорта и логистики Донецкого национального технического университета. Автор выражает благодарность научному консультанту доктору технических наук, профессору В.П. Кондрахину за помощь по методологии проведения аналитического исследования и предложения для усовершенствования математических моделей, описывающих динамические процессы колебаний шахтных подвесных монорельсовых дорог. Большая благодарность автора доктору технических наук, профессору В.И. Дворникову, кандидату технических наук, профессору А.Я. Грудачеву и кандидату технических наук, доценту В.Ф. Шавлаку за ценные и своевременные советы по структуре и содержанию книги.

Автор выражает глубокую признательность рецензентам монографии доктору технических наук, директору МакНИИ А.М. Брюханову и доктору технических наук, профессору О.Е. Шабаету за критические замечания и пожелания, которые были сделаны во время апробации монографии, что позволило значительно повысить ее научный уровень и практическую значимость.