

ГОРНОЕ ДЕЛО

DOI: 10.15593/2224-9923/2014.13.7

УДК 622.625.28

© Зиборов К.А., Процив В.В., Шляхов Э.М., 2014

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ СЕМЕЙСТВА СЕКЦИОННЫХ ШАХТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

К.А. Зиборов, В.В. Процив, Э.М. Шляхов

Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

Качество проектирования локомотива определяется широтой и глубиной знания процессов, протекающих в различных его звеньях, умением рассчитывать эти процессы, выбирать параметры шахтного локомотива. Применение модульного принципа построения локомотивов позволяет создавать локомотивы различной сцепной массы с разными видами энергоснабжения и требует соответствующего научного обоснования. Поэтому важно до проектирования установить основные закономерности изменения динамических свойств системы «экипаж – тяговый привод – путь». Задача исследования колебаний звеньев привода шахтного локомотива, а также характера и условий реализации тяговых и тормозных усилий сводится к проведению многовариантных расчетов многомассовой системы при изменяющихся исходных численных значениях ее параметров. Определение области устойчивого движения локомотива, транспортирующего состав вагонеток, выполнялось решением системы дифференциальных уравнений. Параметры математической модели определялись расчетом, выполненным с помощью современных CAD-CAL-программ для созданных 3D-моделей, отображающих реальные инерционные, геометрические и кинематические параметры горной транспортной машины.

Спроектированная и изготовленная при участии авторов статьи базовая конструкция шарнирно-сочлененного локомотива Э10 подтвердила экономическую эффективность полученных технических решений. Факторами экономической эффективности стали следующие показатели: сокращение аккумуляторного хозяйства; сокращение капитальных и эксплуатационных затрат; повышение коэффициента готовности электровоза; повышение безопасности на уклонах 30–50 ‰.

Ключевые слова: секционный шахтный локомотив, привод, механизация, тяга, торможение, тяговая секция, безопасность, выработка, грузопоток, взаимозаменяемость, математическая модель, экономическая эффективность.

EXPERIENCE OF DESIGNING AND CONSTRUCTING A LINE OF SECTIONAL MINE LOCOMOTIVES

K.A. Ziborov, V.V. Protsiv, E.M. Shliakhov

National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine

The quality of designing locomotives for mine railway is conditioned by extensive and in-depth knowledge of the processes occurring in different units and components parts, by ability to make the calculations required and select proper parameters of the locomotive. A modular approach to locomotive design allows constructing locomotives of the different adhesive weight and with different motive power arrangements, requiring fundamental scientific justification. Hence the need to explore the main regularities in evolution of dynamic properties of the system 'underframe – drive – track'. The task to investigate fluctuations of drive segments of a mine locomotive, as well as nature and conditions of the tractive and breaking effort realisation comes to multivariate calculations of a multimass system under variable numeric input values of its parameters. Finding a range of stable motion of the locomotive hauling a cart set was performed by solving a differential equation system. Mathematical model parameters were found by calculations made in modern CAD-CAL applications for the built 3D-models that represent actual inertia, geometric and kinematic parameters of the mine haulage vehicle.

The basic construction of the E10 articulated locomotive designed and manufactured with the participation of the authors has proven cost effectiveness of the technical solutions suggested. Among the factors of cost effectiveness there were reduction of battery supply, decrease of capital and operational costs, increase of locomotive availability factor, improved safety on grades of 30–50 ‰.

Keywords: sectional mine locomotive, drive, mechanical operations, traction, breaking, tractive section, safety, output, traffic, interchangeability, mathematical model, cost effectiveness.

Введение

Важное место в комплексной механизации и автоматизации производственных процессов в горной промышленности занимают транспортирующие машины. Наряду с совершенствованием добычных, проходческих, подъемно-транспортных машин возросли требования к шахтному транспорту, входящему в общий технологический комплекс.

До сегодняшнего дня основным видом транспортных средств горизонтальных выработок шахт остается локомотивная откатка, осуществляемая контактными, аккумуляторными и другими типами шахтных локомотивов. Около 70 % всего грузопотока угольных шахт и почти 90 % грузопотока на рудниках Украины приходится на локомотивную откатку. В последние годы изменение структуры средств локомотивного транспорта происходило за счет увеличения количества электровозов среднего и тяжелого сцепного веса, а также большегрузных вагонеток с кузовом вместимостью от 2,0 до 3,5 м³ для шахт угольной промышленности и от 2 до 10 м³ – в рудной промышленности. При этом в угольной промышленности средние и тяжелые электровозы составляют около 80 %, а вагонетки вместимостью свыше 2 м³ – более 40 % от их общего количества. В рудной промышленности в основном применяются тяжелые электровозы со сцепной массой 10 и 14 (28) т, а также вагонетки вышеуказанной вместимости [1].

Статическая осевая нагрузка на составные элементы путевой структуры (рельсовый путь, стрелочные переводы, съезды и т.д.) при таких изменениях возросла для локомотивов в 1,5–2,5 раза, а для подвижного состава – от двух до семи раз. Однако при столь значительном увеличении массы подвижного состава, осевых нагрузок, скорости движения и грузопотока необходимые изменения в конструкциях локомотивов не произво-

дились. Разные заводы-изготовители создают собственные модели локомотивов, не заботясь об унификации узлов. По-прежнему существуют значительные различия в механической и гидравлической частях локомотивов для горнодобывающих предприятий, хотя объяснимыми могут быть только отличия в электрооборудовании (взрывобезопасность).

В этих условиях локомотивы модульной компоновки, которые состоят из нескольких секций, в рамках одного технического решения позволяют создать транспортные средства с разной сцепной массой, видом энергоснабжения, необходимыми эксплуатационными характеристиками. К тому же данная схема компоновки позволит в большей степени упорядочить объекты проектирования, установить и контролировать требования по совместимости (конструктивной, электрической, гидравлической, электромагнитной, программной и т.д.), а также взаимозаменяемости выпускаемой продукции.

Сегодня в большей степени проявляется необходимость глубокого понимания специалистами в области горного машиностроения особенностей работы, характера и режима нагружения, причин выхода из строя основных звеньев, овладения современными методами их расчета. Применение при решении поставленных задач методов компьютерного прогнозирования позволяет значительно сократить трудозатраты при проектировании новых конструкций систем шахтного рельсового транспорта, избежав длительных стадий производства дорогостоящих моделей, опытных образцов и их испытаний, особенно для шахтных условий [2, 3]. Поэтому выбор структуры и параметров горной транспортной машины, основанный на детальном анализе протекающих в ее звеньях динамических процессов, должен быть неотъемлемой частью синтеза сложной энергомеханической системы и разработки ее схемы на стадии проектирования [4–9].

Цель работы – обоснование модульной компоновки и основных принципов построения семейства шахтных локомотивов с учетом закономерностей между конструктивными параметрами и тягово-тормозными характеристиками шахтных локомотивов.

Материал и результаты исследований

Любая компоновочная схема горной транспортной машины имеет как положительные, так и отрицательные качества, поэтому при решении проблемы повышения эффективности использования мощности задача сравнения тяговых свойств локомотивов с различными схемами и результаты указанного сравнения актуальны и имеют важное научно-практическое значение.

На сегодняшний день в мировом шахтном локомотивостроении (фирмы Clayton, Ferrit) разрабатываются и активно внедряются новые тенденции компоновки и технических решений отдельных узлов и машины в целом, в том числе и модульного (секционного) построения локомотивов различного сцепного веса CBF18, CRT18, CBF21, CRT21, CBF30. Локомотивы имеют групповой привод, фрикционные поверхности выходных звеньев на некоторых из них (CRT18, CRT21) футеруются низко модульными материалами. Всё это позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты на проведение горных выработок и повысить энергоэффективность транспортных операций.

В 90-е гг. прошлого столетия на постсоветском пространстве Национальным горным университетом (Днепропетровск) и Луганским тепловозостроительным заводом также была предпринята попытка создания модульного локомотива. Изготовлена и прошла испытания опытная партия шарнирно-сочлененных кабельных электровозов Э10, предназначенных для обслуживания тупиковых выработок при проходке главных и вспомогательных выработок (рис. 1). Модульная ком-

поновка включает две тяговые 1 и одну промежуточную 2 секции, что позволяет создавать локомотивы различной сцепной массы с разными видами энергоснабжения. Сама же тяговая секция спроектирована таким образом, что позволяет:

- вписываться в кривые малого радиуса (до 15 м для рельсовой колеи шириной 900 мм), поскольку имеет жесткую базу длиной 1150 мм;

- устойчиво двигаться по шахтному рельсовому пути с существенными неровностями (большие ступеньки рельсовых стыков, уширения кривизны, локальные прогибы в профиле и изгибы рельсовых нитей в плане) – за счет балансирной подвески колесных пар;

- развивать высокий коэффициент сцепления колес с рельсами (до 0,21 на сухих чистых рельсах), что достигается использованием группового привода (обе колесные пары приводятся в движение одним тяговым двигателем);

- иметь существенные тормозные возможности, поскольку на локомотиве установлены не только тормоза, реализующие тормозную силу в точке контакта колес с рельсами (дисковые трансмиссионные и осевые, а также колесно-колодочные тормоза), но и рельсовые. Последние состоят из магниторельсовых (тормозные башмаки которых трутся о головки рельсов под действием сил магнитного притяжения) и гравитационных (срабатывающих при опускании рамы тяговой секции за счет стравливания жидкости из гидроцилиндров подвески) в случае необходимости экстренного торможения или для стоянки поезда.

Внедрение модульного принципа построения локомотивов требует соответствующего научного обоснования. Необходимо установить закономерности между конструктивными параметрами и динамическими характеристиками шахтных локомотивов. Эти закономерности могут быть установлены на соответствующих динамических и математических моделях

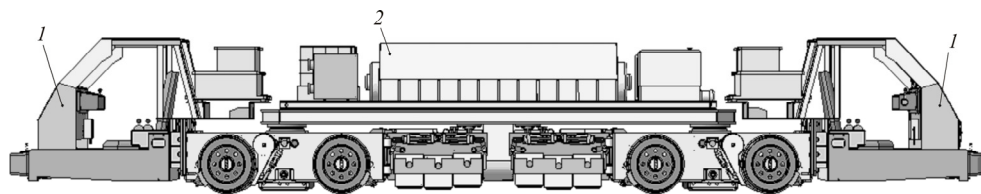


Рис. 1. Компьютерная 3D-модель модульной (шарнирно-сочлененной) компоновки локомотива:
1 – тяговая секция; 2 – промежуточная секция

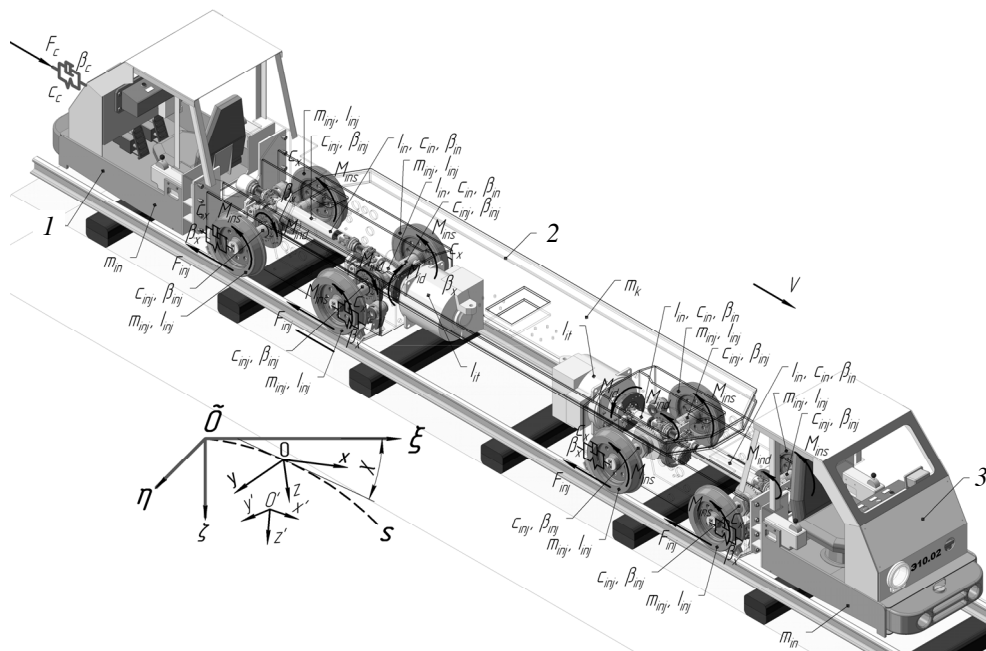


Рис. 2. Расчетная схема для составления уравнений движения: 1, 3 – тяговые секции; 2 – промежуточная секция

с использованием современных компьютерных технологий (рис. 2). При решении задач прогнозирования динамических свойств и выбора рациональных параметров схем реализации тягово-тормозных усилий авторами применялись различные математические модели, которые в общем случае учитывали влияние трех основных взаимосвязанных подсистем:

а) источник энергоснабжения – тяговый двигатель – передаточный механизм – ходовая часть локомотива;

б) колесная пара – рельсовый путь при наличии геометрических, кинематических и физических несовершенств;

в) тип и схема передаточного механизма, что влияет на переходные процессы в приводе.

Определение области устойчивого движения локомотива, транспортирующего состав вагонеток, выполнялось решением системы дифференциальных уравнений [9]. При этом учитывался режим реализации предельных тягово-тормозных усилий в зоне фрикционного взаимодействия колесо – рельс на участке пути, имеющем переменные по величине и знаку кривизну в плане, а также продольный и поперечный уклоны.

В математической модели электроваза были учтены следующие объекты: колесные пары, упругие и демпфирующие элементы подвески, колесно-колодочный тормоз, дисковые тормоза на оси колесной пары и в трансмиссии, тяговые двигатели, рельсовый путь. Многие параметры математической модели известны или поддаются определению расчетом, выполненным с помощью современных CAD-CAL-программ для созданных 3D-моделей, отображающих реальные инерционные, геометрические и кинематические параметры горной транспортной машины. Другие же, например зависимость, характеризующая взаимодействие колеса с рельсовым путем, в большинстве случаев определяются только экспериментально [10–13]. Это обстоятельство оказывает существенное влияние на корректность результатов моделирования и ограничивает возможности применения методов математического моделирования на стадии создания новых шахтных локомотивов [9, 14]. Поэтому важно до проектирования установить основные закономерности изменения функции сцепления пары колесо – рельс шахтного локомотива с учетом энергетических затрат в зависимости от фрикционных свойств контактирующих звеньев [15].

На основе решения составленных систем дифференциальных уравнений исследованы колебания звеньев привода шахтного локомотива, а также характер и условия реализации тяговых и тормозных усилий. Задача сводится к проведению многовариантных расчетов многомассовой системы при изменяющихся исходных численных значениях ее параметров. Прогнозирование динамических свойств системы «экипаж – тяговый привод – путь» для шахтного локомотива может быть выполнено с помощью различных функционалов качества в зависимости от характера решаемой задачи [16].

Как известно, к основным параметрам шахтных локомотивов относят сцепную массу, силу тяги, скорость движения и

коэффициент тяги, который нельзя считать независимым. Сцепная масса регламентирована типовым рядом, а сила и скорость определяются характеристикой двигателя, сцепной массой и коэффициентом тяги. Ограниченные габариты конструкции существенно уменьшают область поиска рациональных параметров звеньев и компоновочных схем шахтных локомотивов.

Спроектированная и изготовленная при участии авторов базовая конструкция локомотива Э10 (рис. 3) из семейства секционных шахтных локомотивов имеет шарнирно-сочлененную схему и состоит из двух тяговых секций, соединенных промежуточной секцией, на которой установлен кабельный барабан.



Рис. 3. Шахтный локомотив Э10

На промежуточной секции могут устанавливаться аккумуляторы, контактное оборудование, маховик гирозова или дизель (дизель-генератор). Тяговая секция может быть оборудована устройством контроля юза и боксования, позволяющим машинисту локомотива прикладывать к тормозным устройствам максимально большой для конкретной дорожной ситуации тормозной момент без опаски блокирования или срыва сцепления на колесах, а также останавливать шахтный поезд при экстренном торможении на установленном правилами безопасности тормозном пути.

Локомотивы малой сцепной массы создаются на базе одной тяговой секции (рис. 4) как однокабинные машины, ориен-

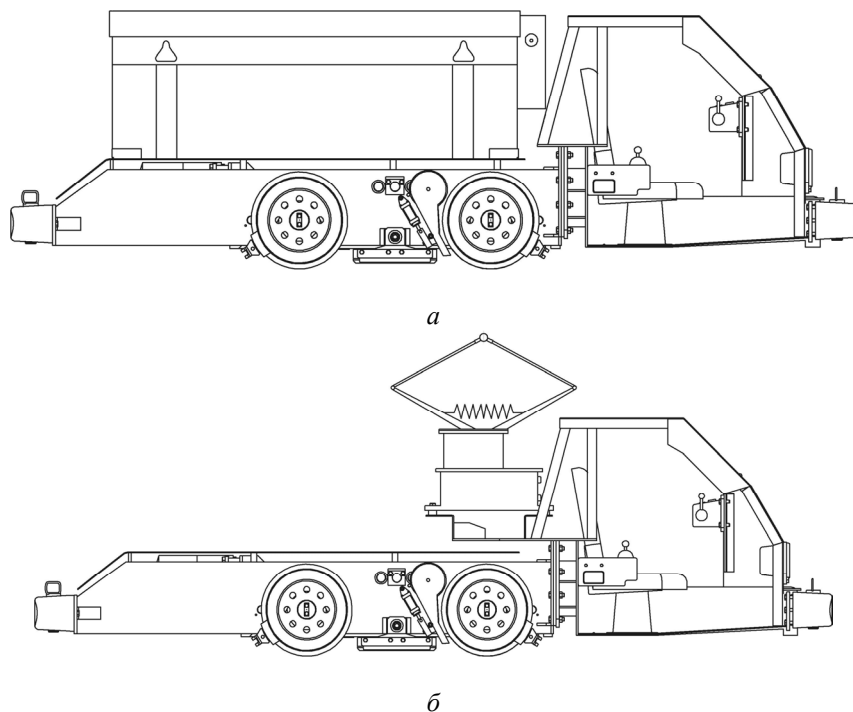


Рис. 4. Варианты локомотивов малой сцепной массы на базе тяговой секции шарнирно-сочлененного локомотива Э10: *а* – аккумуляторный; *б* – контактный

тированные на определенный тип энергоснабжения.

Такая компоновка создает предпосылки для увеличения тягово-тормозных возможностей локомотива. Это достигается за счет эффективного распределения сцепной массы на колеса, балансирной подвески, использования группового привода внутри каждой тяговой секции. Кроме того, появляется возможность установки двигателей различной мощности, уменьшения базы ходовой части, улучшения условий вписывания и др.

Конструкция локомотива Э10 имеет в своем составе также множество защищенных авторскими правами технических решений, таких как: оснащение его динамическими песочницами барабанного типа, колесно-колодочными тормозами с замыканием тормозного усилия через резинометаллический шарнир, дисковыми осевыми и трансмиссионными тормозами; использование уста-

новленных вне жесткой базы локомотива секционных магниторельсовых тормозов и гравитационных рельсовых тормозов с подпружиненной тормозной колодкой.

Расчетная экономическая эффективность полученных технических решений подтверждается при сравнении шахтного шарнирно-сочлененного аккумуляторного локомотива Э10 и серийно выпускаемого аккумуляторного электровоза АРВ10ГЭ примерно той же сцепной массы. Расчет произведен на примере участка внутришахтного транспорта шахты «Самарская» Западно-Донбасского угольного бассейна для продольного уклона рельсового пути 30–50‰ и составляет в ценах 2010 г. 514 тыс. грн. Указанная сумма экономического эффекта была подтверждена расчетами в ГОАО «Институт «Днепрогипрошахт»». Технические характеристики сравниваемых объектов приведены в таблице.

Технические характеристики
локомотивов для колеи 900 мм

| Наименование параметров | Базовая техника АРВ10ГЭ-900 | Новая техника Э10-900 |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Масса, кг | 11 500 | 11 300 |
| Сила тяги в часовом режиме, кН | 12,3 | 19,2 |
| Сила торможения, кН | 9,2 | 25,1* |

* – при возможном одновременном использовании всех тормозов локомотива.

Факторы экономической эффективности следующие:

- сокращение аккумуляторного хозяйства;
- сокращение капитальных и эксплуатационных затрат;
- повышение коэффициента готовности электровоза;
- повышение безопасности на уклонах 30–50 ‰.

Предложенные принципы модульного построения и конструктивные решения (реализованные в опытной партии локомотивов Э10) позволили удешевить затраты на разработку и изготовление всего типоразмерного ряда шахтных локомотивов, поскольку все машины комплектуются из одной тяговой секции, снабженной типовой аппаратурой для различных видов энергоснабжения. Добавление средних секций для тяжелых локомотивов разного функционального назначения расширяет возможности использования такой техники и предоставляет эксплуатационникам дополнительные преимуще-

ства, связанные со снижением затрат на обслуживание, обучение персонала и формирование ремонтной базы горнодобывающих предприятий.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. По результатам компьютерного моделирования и промышленных испытаний опытной партии электровозов Э10 можно сделать вывод о том, что модульное построение конструкции дает возможность создания семейства шахтных локомотивов, обладающего следующими достоинствами:

- унификация конструкций локомотивов с различным энергоснабжением и различной сцепной массой;
- снижение затрат на производство и эксплуатацию;
- улучшенная ремонтпригодность и взаимозаменяемость;
- повышение надежности и безопасности движения.

2. Главным принципом построения семейства секционных шахтных локомотивов следует считать модульность, основанную на унифицированной по механической части и тягово-тормозным механизмам тяговой секции. Дополнительные средние секции позволяют создавать тяжелые специализированные локомотивы, что дает возможность существенно снизить капитальные затраты на проектирование и производство всего типоразмерного ряда машин, а также уменьшить эксплуатационные расходы добывающих предприятий.

Список литературы

1. Транспорт на гірничих підприємствах: Підручник для вузів. – 3-є вид / М.Я. Біліченко, Г.Г. Півняк, О.О. Ренгевич [та ін.]. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 636 с.
2. Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Симонов В.А. Совершенствование динамических качеств подвижного состава железных дорог средствами компьютерного моделирования // Тяжелое машиностроение. – 2003. – № 12. – С. 2–6.
3. Погорелов Д.Ю. Компьютерное моделирование динамики рельсовых экипажей // Механика и трибология транспортных систем – 2003: сб. докл. междунар. конгресса: в 2 т. – Ростов н/Д, 2003. – Т. 2. – С. 226–232.
4. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: пер. с англ. / У.Дж. Харрис, С.М. Захаров, Дж. Ландгрэн, Х. Торне, В. Эберсен. – М.: Интекст, 2002. – 408 с.
5. Шахтарь П.С. Рудничные локомотивы. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
6. Павленко А.П. Динамика тяговых приводов магистральных локомотивов. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
7. Дерюгин О.В. Обоснование рациональных параметров упруго-диссипативных связей системы подвешивания шахтного локомотива: дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 2000. – 173 с.
8. Коптовец А.Н., Шибалов С.Ф., Новицкий А.В. Исследование тормозной эффективности шахтных поездов // Гірничі електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2004. – Вып. 203. – С. 56–61.
9. Процив В.В. Научное обоснование новых технических решений по совершенствованию тормозной системы шахтного шарнирно-сочлененного локомотива: дис. ... д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 2011. – 387 с.

10. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
11. Лузнов Ю.М., Попов В.А., Седов Г.М. Модель трения контакта колеса с рельсом и возможности управления его свойствами // Вестник ВНИИЖТ. – 2009. – № 1. – С. 30–32.
12. Марков Д.П. Коэффициенты трения и сцепления при взаимодействии колес с рельсами // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 4.
13. Коган А.Я. Взаимодействие колеса и рельса при качении // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 5.
14. Application of computer simulation while designing mechanical systems of mining rolling stock / К.А. Зиборов, В.В. Процив, С.Е. Блохин, С.А. Федоряченко // Научный Вестник НГУ. – Днепропетровск, 2013. – № 6. – С. 55–59.
15. Зиборов К.А. Характеристики фрикционной пары колесо – рельс шахтного локомотива при кинематических и силовых несовершенствах // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 3(100). – С. 26–32.
16. Зиборов К.А., Шляхов Э.М., Мацюк И.Н. О критериях оптимизации при проектировании шахтных локомотивов с различными компоновочными схемами привода // Современное машиностроение, наука и образование: материалы междунар. науч.-практ. конф., 14–15 июня 2011 года, Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 260–268.

References

1. Білченко М.Я., Півняк Г.Г., Ренгевич О.О. [та ін.]. Транспорт на гірничих підприємствах. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. 636 с.
2. Mikhalchenko G.S., Pogorelov D.Iu., Simonov V.A. Sovershenstvovanie dinamicheskikh kachestv podvzhnogo sostava zheleznykh dorog sredstvami kompiuternogo modelirovaniia [Improvement of dynamic parameters of railway rolling stock by computer simulation]. *Tiazheloe mashinostroenie*, 2003, no. 12, pp. 2–6.
3. Pogorelov D.Iu. Komp'uternoe modelirovanie dinamiki rel'sovoykh ekipazhei [Computer simulation of underframe dynamics]. *Sbornik dokladov mezhdunarodnogo kongressa "Mekhanika i tribologiya transportnykh sistem – 2003"*. Rostov-na-Donu, 2003, vol. 2, pp. 226–232.
4. Kharris U.Dzh., Zakharov S.M., Landgen Dzh., Torne Kh., Ebersen V. Obobshchenie peredovogo opyta tiazhelovesnogo dvizheniia: voprosy vzaimodeistviia koleasa i rel'sa [Summary of advanced experience in heavy transport: issues of wheel-rail interaction]. Moscow: Intekst, 2002. 408 p.
5. Shakhtar P.S. Rudnichnye lokomotivy. Moscow: Nedra, 1982. 296 p.
6. Pavlenko A.P. Dinamika tiagovykh privodov magistral'nykh lokomotivov [Dynamics of traction drives of road engines]. Moscow: Mashinostroenie, 1991. 192 p.
7. Deriugin O.V. Obosnovanie ratsional'nykh parametrov uprugoo-dissipativnykh svyazi sistema podveshivaniia shakhtnogo lokomotiva [Justification of balanced parameters of elastic-dissipative relations in mine locomotive suspension]. Thesis of the candidate of technical sciences. Dnepropetrovsk, 2000. 173 p.
8. Koptovets A.N., Shibalov S.F., Novitskii A.V. Issledovanie tormoznoi effektivnosti shakhtnykh poezdov [Research on braking efficiency of mine locomotives]. *Girnichia elektromekhanika ta avtomatika*, 2004, no. 203, pp. 56–61.
9. Protsiv V.V. Nauchnoe obosnovanie novykh tekhnicheskikh reshenii po sovershenstvovaniiu tormoznoi sistema shakhtnogo sharnirosochlenennogo lokomotiva [Scientific justification of the novel technical solutions to improve brake system of articulated locomotives]. Doctor's degree dissertation. Dnepropetrovsk, 2011. – 387 с.
10. Verigo M.F., Kogan A.A. Vzaimodeistvie puti i podvzhnogo sostava [Interaction between railway and rolling stock]. Moscow: Transport, 1986. 559 p.
11. Luzhnov Iu.M., Popov V.A., Sedov G.M. Model' friktsionnogo kontakta koleasa s rel'som i vozmozhnosti upravleniia ego svoystvami [The model of friction contact between wheel and rail and possibility of its properties control]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2009, no. 1, pp. 30–32.
12. Markov D.P. Koeffitsienty treniia i stepeniia pri vzaimodeistvii koleasa s rel'sami [Friction and adhesion factors in wheel-rail interaction]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2005, no. 4.
13. Kogan A.A. Vzaimodeistvie koleasa i rel'sa pri kachenii [Wheel-rail interaction in rolling]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2004, no. 5.
14. Ziборов K.A., Protsiv V.V., Blokhin S.E., Fedoriachenko S.A. Application of computer simulation while designing mechanical systems of mining rolling stock. *Nauchnyi vestnik Natsional'nogo gornogo universiteta*. Dnepropetrovsk, 2013, no. 6, pp. 55–59.
15. Ziборов K.A. Kharakteristiki friktsionnoi pary koleaso – rel'sa shakhtnogo lokomotiva pri kinematicheskikh i silovykh nesovershenstvakh [Parameters of the wheel-rail friction couple of mine locomotives in the case of kinematic and force imperfections]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2014, no. 3(100), pp. 26–32.
16. Ziборов K.A., Shliakhov E.M., Matsiuk I.N. O kriteriiakh optimizatsii pri proektirovanii shakhtnykh lokomotivov s razlichnymi komponovochnymi skhemami privoda [On optimization criteria in designing mine locomotives with different drive layout schemes]. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennoe mashinostroenie, nauka i obrazovanie"*. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet, 2011, pp. 260–268.

Об авторах

Зиборов Кирилл Альбертович (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, заведующий кафедрой основ конструирования механизмов и машин Национального горного университета (49600, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: ziborov@nmu.org.ua).

Процив Владимир Васильевич (Днепропетровск, Украина) – доктор технических наук, профессор кафедры основ конструирования механизмов и машин Национального горного университета (49600, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: ziborov@nmu.org.ua).

Шляхов Эдуард Михайлович (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин Национального горного университета (49600, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: ziborov@nmu.org.ua).

About the authors

Kirill A. Ziborov (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Ph. D. in Technical Sciences, Head of Department of Machinery Design Bases, National Mining University (49600, Dnepropetrovsk, K. Marksa av., 19; e-mail: ziborov@nmu.org.ua).

Vladimir V. Protsiv (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Machinery Design Bases, National Mining University (49600, Dnepropetrovsk, K. Marksa av., 19; e-mail: ziborov@nmu.org.ua).

Eduard M. Shliakhov (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Associate Professor, Department of Machinery Design Bases, National Mining University (49600, Dnepropetrovsk, K. Marksa av., 19; e-mail: ziborov@nmu.org.ua).

Получено 11.09.2014

Просьба сослаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Зиборов К.А., Процив В.В., Шляхов Э.М. Опыт создания и построения семейства секционных шахтных локомотивов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 13. – С. 69–76. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.13.7

Please cite this article in English as:

Ziborov K.A., Protsiv V.V., Shliakhov E.M. Experience of designing and constructing a line of sectional mine locomotives. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2014, no. 13, pp. 69–76. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.13.7